

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

FELIPE EDUARDO DE SOUZA OLIVEIRA

ANÁLISE COMPARATIVA EM RELAÇÃO AO CUSTO E
CONSUMO DE MATERIAIS ENTRE ALVENARIA
ESTRUTURAL E ESTRUTURA DE CONCRETO
ARMADO PARA A ESTRUTURA DE UM EDIFÍCIO
RESIDENCIAL DE 8 PAVIMENTOS

SÃO CARLOS -SP
2023

FELIPE EDUARDO DE SOUZA OLIVEIRA

ANÁLISE COMPARATIVA EM RELAÇÃO AO CUSTO E CONSUMO DE MATERIAIS
ENTRE ALVENARIA ESTRUTURAL E ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO PARA A
ESTRUTURA DE UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL DE 8 PAVIMENTOS

Trabalho elaborado para o departamento de engenharia civil da Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, para a conclusão do curso de graduação e obtenção do grau de engenheiro civil.

Orientador: Prof^o. Dr. Guilherme Aris Parsekian

São Carlos-SP
2023

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Jean e Angélica, à minha irmã Mariana, minha noiva Gabriele e às minhas avós Aparecida e Salete

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado o dom da vida e me concedido a capacidade de aprender e reproduzir conhecimento, além de manter a perseverança para jamais desistir.

Aos meus pais, Jean e Angélica, por me fornecerem todo suporte, tanto para que eu conseguisse entrar em uma universidade pública, quanto para que eu pudesse concluir minha graduação.

A minha irmã, Mariana, por todo orgulho e amizade que demonstrou por mim em todos esses anos.

A minha noiva, Gabriele, que sempre esteve ao meu lado, desde os momentos felizes até os mais difíceis.

As minhas avós, que sempre me deram muita força para que eu continuasse e concluísse o curso.

A todos os professores da graduação, em especial ao meu orientador, Guilherme, por me auxiliar na realização deste trabalho, dividindo comigo seus conhecimentos e sempre propondo sugestões de melhorias.

Aos amigos que fiz na universidade, que compartilharam comigo os melhores e mais difíceis momentos desta jornada, pela amizade, companheirismo e ajuda.

Aos amigos de estágio, que fizeram parte de um momento muito importante da minha vida, que me proporcionou muitos conhecimentos e viver na prática tudo que aprendi na universidade.

E, por fim, a UFSCar, que me deu a oportunidade de aprender com professores muito capacitados e fornecer todo suporte para que eu pudesse me tornar um excelente profissional.

RESUMO

O mercado atual da construção civil busca constantemente novas tecnologias que atendam de forma eficiente sua crescente demanda, principalmente a habitacional. As empresas do setor buscam otimizar a construção, de modo a promover maior qualidade com menor preço. A escolha do sistema estrutural a ser adotado em um empreendimento interfere diretamente nisso. O principal objetivo deste trabalho foi realizar uma análise comparativa em relação ao custo e consumo de materiais entre dois sistemas estruturais: alvenaria estrutural e concreto armado. Para isso, foi analisado um edifício residencial modelo de 8 pavimentos concebido em alvenaria estrutural, redimensionado para concreto armado, de modo a obter informações de custo e consumo de materiais para cada sistema construtivo a fim de analisar comparativamente os dois sistemas, fornecendo indicativos para a escolha do sistema estrutural mais econômico. Foi obtido, a partir das análises realizadas, uma economia de 14% no emprego do sistema em alvenaria estrutural, em relação a estrutura do empreendimento.

Palavras-chave: Alvenaria Estrutural. Concreto Armado. Análise comparativa. Custo e consumo de materiais.

ABSTRACT

The current civil construction market is constantly looking for new technologies that efficiently meet its growing demand, especially housing. Companies in the sector seek to optimize construction in order to promote higher quality at a lower price. The choice of the structural system to be adopted in an enterprise is based directly on that. The main objective of this work was to carry out a comparative analysis in relation to the cost and consumption of materials between two structural systems: structural masonry and reinforced concrete. For this, an 8-story model residential building designed in structural masonry, resized for reinforced concrete, was analyzed in order to obtain information on cost and consumption of materials for each constructive system in order to comparatively analyze the two systems, providing indications for the choice of the most economical structural system. Based on the analyses, a saving of 14% was obtained in the use of the system in structural masonry, in relation to the structure of the enterprise.

Keywords: Structural masonry. Reinforced Concrete. Comparative analysis. Cost and expense of materials.

Índice – Tabelas

Tabela 1 - Recomendação para especificação dos materiais da alvenaria estrutural	28
Tabela 2 - Valores característicos da resistência ao cisalhamento em juntas horizontais de paredes	29
Tabela 3 - Valores característicos da resistência à tração na flexão	30
Tabela 4 - Consumos e índices de armadura	30
Tabela 5 - Consumos e índices de graute e concreto	31
Tabela 6 - Índices de armadura	31
Tabela 7 - Índices de concreto	31
Tabela 8 - Índices de fôrma	31
Tabela 9 - Resumo do quantitativo das estacas	46
Tabela 10 - Resumo do volume gasto de concreto para as estacas	46
Tabela 11 - Resumo da massa total de aço utilizada nas estacas	47
Tabela 12 - Resumo do metro linear a ser escavado para as estacas	47
Tabela 13 - Resumo quantitativo para estacas	48
Tabela 14 - Consumo de concreto para os blocos de coroamento	48
Tabela 15 - Resumo da massa total de aço utilizada nos blocos de coroamento	49
Tabela 16 - Resumo quantitativo para os blocos de coroamento	49
Tabela 17 - Consumo de concreto para as vigas baldrame	51
Tabela 18 - Resumo da massa total de aço utilizada nas vigas baldrame	52
Tabela 19 - Resumo quantitativo para as vigas baldrame	52
Tabela 20 - Resumo quantitativo da fundação do modelo em concreto armado	52
Tabela 21 - Esforço que cada pilar distribui para a fundação	53
Tabela 22 - Resultado do dimensionamento das estacas	54
Tabela 23 - Resumo do volume gasto de concreto para as estacas	55
Tabela 24 - Resumo da massa total de aço utilizada nas estacas	56
Tabela 25 - Resumo do metro linear a ser escavado para as estacas	56
Tabela 26 - Resumo quantitativo para estacas	56
Tabela 27 - Consumo de concreto para os blocos de coroamento	58
Tabela 28 - Resumo do consumo de formas para os blocos de coroamento	58
Tabela 29 - Resumo da massa total de aço utilizada nos blocos de coroamento	58
Tabela 30 - Resumo quantitativo para os blocos de coroamento	59
Tabela 31 - Resumo da massa total de aço utilizada nas vigas baldrame	59
Tabela 32 - Resumo quantitativo para as vigas baldrame	60
Tabela 33 - Resumo quantitativo da fundação do modelo em concreto armado	60
Tabela 34 - Blocos estruturais de concreto para 1 pavimento	61
Tabela 35 - Blocos estruturais de concreto para todo o edifício	63
Tabela 36 - Custo dos blocos estruturais de concreto para todo o edifício	63
Tabela 37 - Quantitativo do aço	64
Tabela 38 - Quantitativo do graute	64
Tabela 39 - Quantitativo da argamassa de assentamento	65
Tabela 40 - Resumo quantitativo da estrutura do modelo em alvenaria estrutural	65
Tabela 41 - Resumo do custo do concreto	67
Tabela 42 - Resumo do custo das formas	67
Tabela 43 - Quantitativo aço dos pilares	68
Tabela 44 - Quantitativo aço das vigas	68
Tabela 45 - Resumo do custo do aço	68
Tabela 46 - Resumo do custo da alvenaria de vedação	69
Tabela 47 - Resumo quantitativo da estrutura do modelo em concreto armado	69
Tabela 48 - Consumo e índices de armadura (paredes)	70
Tabela 49 - Consumo e índices de graute (paredes)	70
Tabela 50 - Consumo e índices de armadura	70
Tabela 51 - Consumo e índices de concreto	71
Tabela 52 - Consumo e índices de forma	71

Índice – Figuras

Figura 1 - Estruturas de concreto armado	13
Figura 2 - Adesão.....	14
Figura 3 - Atrito	14
Figura 4 - Aderência.....	15
Figura 5 - Ilustração de fôrma e cimbramento para vigas e lajes.....	16
Figura 6 - Elementos estruturais	17
Figura 7 - Modelo esquemático de alvenaria estrutural.....	20
Figura 8 - Exemplo de amarração direta de paredes	21
Figura 9 - Exemplo de juntas amarradas com representação da distribuição dos esforços	22
Figura 10 - Exemplo de área bruta (vista em planta)	22
Figura 11 - Exemplo de área líquida (vista em planta)	22
Figura 12 - Exemplo de área efetiva (vista em planta)	23
Figura 13 - Exemplo de bloco	23
Figura 14 - Graute. a) cruzamento em L; b) cruzamento em T	23
Figura 15 - Exemplos de flanges	24
Figura 16 - Junta a prumo.....	24
Figura 17 - Exemplo de parede	25
Figura 18 - Trecho não considerado pilar.....	25
Figura 19 - Cinta de amarração	26
Figura 20 - Prisma oco e cheio	26
Figura 21 - Esquema estrutural	27
Figura 22 - Fachada frontal do edifício modelo escolhido	36
Figura 23 - Planta baixa do pavimento tipo do edifício modelo escolhido.....	37
Figura 24 - Planta baixa da primeira fiada.....	40
Figura 25 - Elevação de uma parede modelo com abertura de janela.....	41
Figura 26 - Relatório de sondagem	44
Figura 27 - Planta de locação de estacas.....	45
Figura 28 - Dimensionamento do bloco de coroamento.....	49
Figura 29 - Planta de locação de estacas.....	50
Figura 30 - Locação de estacas do modelo em concreto armado.....	57
Figura 32 - Corte esquemático da estrutura da edificação.....	62
Figura 33 - Elevação esquemática de uma das paredes dos apartamentos	63
Figura 34 - Planta de pilares.....	66

Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 OBJETIVOS.....	11
2.1 OBJETIVO GERAL.....	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
3 JUSTIFICATIVA.....	11
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
4.1 CONCRETO ARMADO	12
4.1.1 Concepção Estrutural.....	16
4.2 ALVENARIA ESTRUTURAL.....	19
4.2.1 Concepção Estrutural.....	26
4.3 ÍNDICES MÉDIOS DE REFERÊNCIA	30
4.4 ESTUDOS COMPARATIVOS ENTRE OS DOIS SISTEMAS	32
5 METODOLOGIA	35
5.1 ESTUDO DE CASO	35
5.2 DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL	37
5.2.1 Dimensionamento Estrutural em Concreto Armado.....	39
5.2.2 Informações do Dimensionamento em Alvenaria Estrutural	39
5.3 LEVANTAMENTO DE QUANTITATIVOS.....	42
5.3.1 Consumo de Materiais	42
5.3.2 Custos.....	43
6 RESULTADOS.....	43
6.1 FUNDAÇÃO	43
6.1.1 Fundação do Modelo em Alvenaria Estrutural.....	45
6.1.2 Fundação do Modelo em Concreto Armado.....	53
6.2 ESTRUTURA	60
6.2.1 Estrutura em Alvenaria Estrutural.....	61
6.2.2 Estrutura em Concreto Armado.....	66
6.3 ANÁLISE COMPARATIVA	69
6.3.1 Comparativo dos índices médios de referência	70
6.3.2 Comparativo entre os dois sistemas estruturais	71
6.3.3 Comparativo com outros trabalhos de pesquisa.....	77
7 CONCLUSÕES.....	78
REFERÊNCIAS	79

1 INTRODUÇÃO

A construção civil está em constante desenvolvimento e busca continuamente novas tecnologias, com a finalidade de promover e atender a sua crescente demanda, principalmente a habitacional. Em função desta realidade, a concorrência entre as empresas do setor tem aumentado significativamente, de forma a impulsionar o interesse e a busca pela otimização da construção, isto é, analisar soluções eficientes em qualidade, rapidez e, principalmente, em economia.

Diante disso, a escolha do sistema estrutural a ser adotado em um empreendimento deve ser feita de forma criteriosa, visto que interfere diretamente nos quesitos mencionados anteriormente. Dentre os sistemas construtivos existentes, será realizada neste presente trabalho a comparação entre as soluções estruturais em concreto armado e em alvenaria estrutural.

A alvenaria estrutural tem se destacado como um sistema eficiente e econômico, competindo com o concreto armado como um dos sistemas mais empregados na execução de edifícios residenciais de pequeno e médio porte. Apresenta inúmeras vantagens técnicas, tais como agilidade na execução, redução no consumo e desperdício de materiais, como formas, aço, concreto, entre outros, permitindo, na grande parte dos casos, uma redução no custo da edificação. Estas vantagens econômicas dependem de alguns fatores, dentre eles a altura e a esbeltez da edificação, a incidência e a magnitude das ações do vento e a dimensão dos vãos em suas dependências.

O concreto armado, por sua vez, é um sistema construtivo que possui boa aceitação e confiabilidade junto ao mercado consumidor, sendo por conta disso, um dos materiais mais utilizados como solução estrutural. É considerado o sistema mais indicado na execução de estruturas de maior porte, uma vez que permite facilmente a construção de edifícios mais altos, e com vãos, balanços e carregamentos maiores. Além de possibilitar alterações na arquitetura, diferente da alvenaria estrutural, onde as paredes atuam como elemento portante e, conseqüentemente, não são passíveis de remoção.

Perante o exposto, pode-se constatar que cada sistema possui características e aplicações distintas, de forma que a escolha é algo particular de cada empreendimento, devendo ser muito bem analisada e estudada. Com a finalidade de

auxiliar essa decisão, o presente trabalho propõe uma análise comparativa entre os dois sistemas citados a partir do dimensionamento estrutural de um edifício residencial modelo com variadas alturas e posterior levantamento de custos e consumo de materiais para cada sistema.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar de forma comparativa os custos e gastos de materiais dos sistemas de alvenaria estrutural e concreto armado.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar comparativamente o custo e de consumo de materiais entre dois sistemas construtivos, alvenaria estrutural e concreto armado;
- Aferir custo e gasto de materiais para cada sistema construtivo, de forma a auxiliar e servir de referência aos profissionais da área na escolha do sistema construtivo a ser adotado;
- Indicar vantagens e desvantagens da escolha de cada tipologia em função dos custos e gastos de materiais.

3 JUSTIFICATIVA

Atualmente, com os avanços na construção civil, existem inúmeros sistemas construtivos, entre eles a alvenaria estrutural, um dos sistemas mais utilizados para construção de residências e edifícios de pequeno e médio porte.

Por outro lado, o concreto armado, sistema construtivo convencional, também se beneficiou com o aquecimento atual do mercado, ganhando ainda mais impulso nos últimos anos e sendo amplamente utilizado nos mais diversos tipos de edificações.

Diante deste cenário, viu-se pertinente a elaboração de um trabalho que analise e compare os dois sistemas, através do dimensionamento de um edifício residencial modelo de 8 pavimentos, inicialmente em alvenaria estrutural, que será adaptado para concreto armado, a fim de realizar o levantamento de custos e consumo de materiais para cada caso, obtendo uma análise comparativa entre os dois sistemas construtivos.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

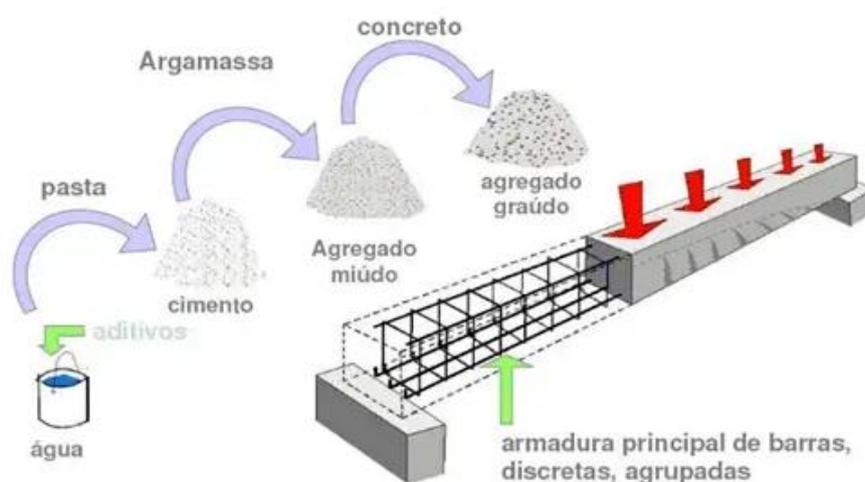
Os sistemas estruturais podem ser definidos como conjuntos estáveis de elementos projetados e construídos para agir como um todo no suporte e na transmissão seguros de cargas aplicadas ao solo, sem exceder os esforços permissíveis dos componentes. As formas e os materiais dos sistemas estruturais têm evoluído conforme os avanços tecnológicos e culturais, e até hoje são fundamentais para a existência de todas as edificações, independentemente de sua escala, contexto ou uso (CHING; ONOUYE; ZUBERBUHLER, 2010).

O presente trabalho tem como foco de estudo dois sistemas estruturais: concreto armado e alvenaria estrutural.

4.1 CONCRETO ARMADO

O concreto armado é um sistema construtivo muito utilizado na construção civil mediante ao seu ótimo desempenho, facilidade de execução e adaptação a qualquer tipo de forma. Sua composição permite uma estrutura que utiliza armações feitas de barras de aço em conjunto com o concreto. As armações têm a finalidade de resistir aos esforços de tração e o concreto à compressão. Sendo fundamental que exista aderência entre esses dois materiais para que a resistência da estrutura seja efetiva (BOTELHO; MARCHETTI, 2016).

Figura 1 - Estruturas de concreto armado



Fonte: Educacional (2022)

O concreto é composto por agregados graúdos (pedras britadas, seixos rolados), agregados miúdos (areia natural ou artificial), aglomerantes (cimento), água, adições minerais e aditivos (aceleradores, retardadores, fibras, corantes). Conforme a Figura 1 é possível notar que, a mistura de cimento e água resulta na pasta, adicionando areia forma a argamassa, com a adição da brita, finalmente obtém-se o concreto, que após a sua cura, pode ser tratada como uma rocha artificial de grande durabilidade, apresentando grande resistência à compressão. Porém, quando ensaiada à tração, obtém-se uma resistência de 90% menor. Devido a essa característica, para ser utilizado como estrutura, é necessário a associação do concreto a um material com boa resistência aos esforços de tração. (PORTO; FERNANDES, 2015).

O aço presente neste tipo de estrutura possui a função de compensar os esforços de tração aos quais a estrutura estará comprometida, já que o concreto tem pouca capacidade de resistir a esse esforço. Desta forma o concreto armado é a união do aço e do concreto trabalhando solidários, mas com funções diferentes na estrutura (BOTELHO; MARCHETTI, 2016).

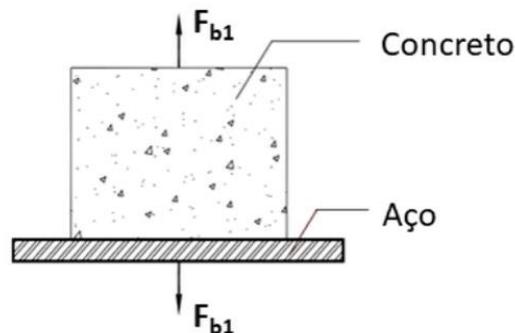
O comportamento conjunto do concreto e do aço só é possível se houver a aderência efetiva entre os dois materiais. A aderência é a propriedade que impede que haja deslocamento relativo entre as barras da armadura e o concreto, assim, é responsável pela solidariedade entre os dois materiais, possibilitando que adquiram,

em conjunto, características próprias do concreto armado (FUSCO, 2000).

A aderência pode ser subdividida em três parcelas contribuintes: adesão, atrito e aderência mecânica.

- **Adesão**, é a resistência a separação dos dois materiais em função de ligações físico-químicas na interface das barras com a pasta geradas durante as reações de pega do cimento. Essa ligação é destruída para pequenos deslocamentos relativos entre a barra e o concreto que a envolve.

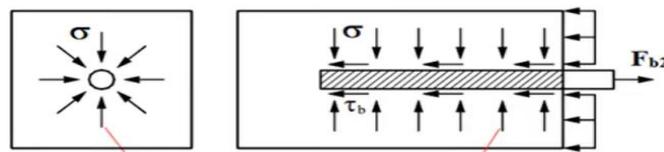
Figura 2 - Adesão



Fonte: Fusco, 2000

- **Atrito**, se manifesta quando há tendência de deslocamento relativo entre os materiais. Depende da rugosidade da superfície da barra e da compressão uniformemente distribuída exercida pelo concreto sobre a barra em virtude da retração.

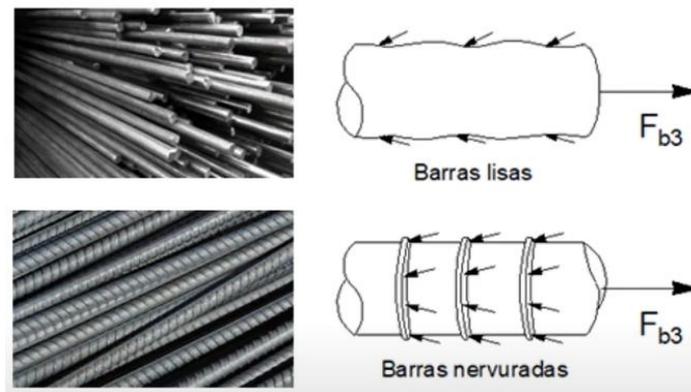
Figura 3 - Atrito



Fonte: Fusco, 2000

- **Aderência mecânica**, surge devido a conformação superficial das barras, estas que apresentam entalhes ou nervuras que funcionam como elementos de apoio ao concreto, tais elementos mobilizam tensões de compressão no concreto, aumentando significativamente a aderência.

Figura 4 - Aderência

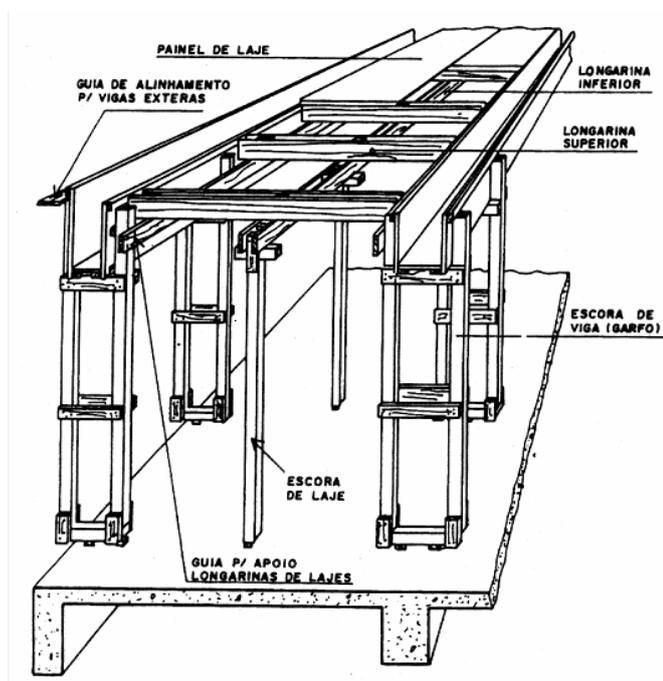


Fonte: Fusco, 2000

Conforme mencionado o concreto armado é resultado da combinação entre o concreto e aço, desde que exista aderência entre os dois materiais, no entanto para sua execução é necessária a presença de uma forma que molde o seu formato nas dimensões desejadas, com isso além do processo de armação e concretagem existe o de produção de formas. (Freire, 2001).

Outro subsistema importante para estruturas em concreto armado é o cimbramento, que consiste em uma estrutura de suporte provisória que apoia as fôrmas horizontais de vigas e lajes, suportando as cargas atuantes (peso próprio do concreto, movimentação de operários e equipamentos etc.) e transmitindo-as ao piso ou ao pavimento inferior. Dentre os tipos de cimbramento, pode-se destacar os elementos de suporte (escoras, torres etc.), trama (vigotas principais e secundárias), além dos acessórios que servem para unir, posicionar e ajustar estes elementos (BOTELHO; MARCHETTI, 2016).

Figura 5 - Ilustração de fôrma e cimbramento para vigas e lajes

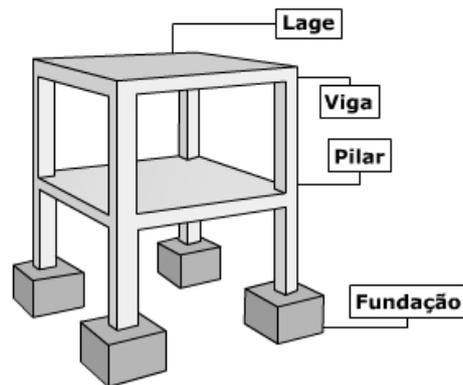


Fonte: Construindo Casas (2022)

4.1.1 Concepção Estrutural

Os elementos estruturais são os responsáveis por absorver os esforços provenientes das ações atuantes e transmiti-las ao solo de fundação. A estruturação e escolha destes elementos é caracterizada como concepção estrutural. Os principais elementos utilizados nas estruturas de concreto armado são as lajes, vigas, pilares e fundação. O dimensionamento destes e de outros elementos estruturais deve ser realizado conforme a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 6118 (2014).

Figura 6 - Elementos estruturais



Fonte: Educacional (2022)

As lajes são os elementos responsáveis por absorver os esforços aplicados nos pisos e transmiti-los aos apoios. São elementos laminares planos, solicitados predominantemente por cargas normais perpendiculares ao seu plano médio, onde predominam duas dimensões, largura e comprimento, sobre a terceira que é a espessura (BECKENKAMP, 2013).

As vigas são elementos lineares submetidos, principalmente, à flexão e o comprimento longitudinal supera em, pelo menos, três vezes a maior dimensão da seção transversal. Portanto, os esforços predominantes em uma viga são o momento fletor e a força cortante (PINHEIRO, 2010).

Os pilares são elementos lineares de eixo reto, em geral verticais, responsáveis por transmitir às fundações as ações atuantes na estrutura. De forma que as forças normais de compressão são preponderantes neste elemento (BECKENKAMP, 2013).

Segundo GIONGO (2017), para a concepção de um projeto estrutural, existem algumas diretrizes que devem ser seguidas, são elas:

- **Atender ao projeto arquitetônico**, vigas e pilares embutidos na alvenaria, evitar pilares e vigas em vãos abertos, evitar excesso de vigas aparentes;
- **Compatibilizar o projeto estrutural com projetos complementares**, instalações elétricas, hidráulicas, entre outros;

- **Transferência de ações a mais direta possível**, cargas devem percorrer o menor caminho até as fundações (evitar viga apoiada em viga, vigas de transição, etc)
- **Elementos estruturais devem ser o mais uniforme possível**, geometria simples e regular;
- **Dimensões contínuas da estrutura em planta limitadas a 30 metros**, dimensões maiores que 30 metros, é necessário a implantação de juntas de dilatação ou análise dos efeitos;
- **Prever subestruturas adequadas para resistir a ação do vento**, prever estruturas de contraventamento, pórticos ortogonais, orientar pilares buscando distribuir rigidezes, estabelecer alinhamento entre os elementos estruturais;
- **Capacidade de resistir às cargas verticais e aos esforços horizontais**, a estrutura deve ser capaz de resistir aos esforços de vento, desaprumo e, em alguns casos, efeitos sísmicos.

A norma atual que estabelece os requisitos básicos exigíveis para o projeto de estruturas de concreto armado é a NBR 6118 (ABNT, 2014). A seguir serão retratadas orientações, pelas experiências em aula do autor deste trabalho, para o lançamento estrutural de um projeto em concreto armado, moldado no local para um edifício residencial com vigas, lajes e pilares.

I. Locação dos Pilares

Deve-se iniciar o lançamento dos pilares pelo pavimento tipo, priorizando as áreas comuns do edifício. Em edificações de pequeno porte, pode se utilizar a seção constante do pilar, variando-se apenas a taxa de armadura, já em edifícios altos, é comum a variação da seção transversal dos pilares, reduzindo as dimensões dos pilares indo para o topo, ou até mesmo a variação da resistência à compressão do concreto.

A. Seção Transversal: a escolha da seção transversal dos pilares interfere diretamente na rigidez global da estrutura, necessitando de uma avaliação criteriosa.

B. Distância entre pilares: Os pilares são apoios diretos das vigas, sendo assim, se apresentarem um afastamento muito grande, pode acarretar vigas com dimensões maiores, podendo incompatibilizar o projeto e gerar maiores custos. Por outro lado, pilares muito próximos, podem acarretar problemas de interferência nos elementos de fundação, aumentando o consumo de materiais, afetando desfavoravelmente os custos. É recomendado locar os pilares a uma distância de 4 a 6 metros.

II. Locação das Vigas

Após o lançamento dos pilares, pode ser definido o posicionamento das vigas. As vigas são localizadas de maneira a conectar os pilares formando pórticos rígidos ou servir como divisões nas lajes de grande dimensão ou, até mesmo, quando há necessidade de suportar alguma parede de alvenaria que não queira deixar apoiada diretamente sobre a laje.

III. Definição das Lajes

As lajes ficam geometricamente definidas pelas posições ocupadas pelas vigas no pavimento, valores indicados serão atendidos por estudo compatível para as posições da viga.

Além disso, para a concepção de um projeto é necessário que exista um pré-dimensionamento que definirá as dimensões preliminares dos elementos estruturais, levando em conta os diversos fatores da edificação. Para isso, o engenheiro projetista tem como auxílio a consulta das normas pertinentes, estas que possuirão os critérios já estabelecidos para cada um dos elementos estruturais.

4.2 ALVENARIA ESTRUTURAL

A alvenaria estrutural consiste em um processo construtivo onde as cargas que atuam no edifício se distribuem ao longo do plano da parede, de forma que a própria vedação do edifício é estrutural, em substituição aos pilares e vigas utilizados nos sistemas de concreto armado. A lógica, portanto, é que a parede, um plano contínuo, distribua as cargas igualmente para a fundação, e que a fundação as transmita para o solo (NETO; PELUSO; CARVALHO, 2015).

Figura 7 - Modelo esquemático de alvenaria estrutural



Fonte: Construindo Casas (2022)

Sendo assim, as paredes de alvenaria estrutural são utilizadas, simultaneamente, como vedação e como elementos resistentes às cargas verticais de peso próprio e de ocupação e às cargas horizontais devidas ao vento.

O uso de alvenaria estrutural tem milhares de anos de existência e iniciou com a utilização do conhecimento empírico. Os exemplos mais expressivos do uso dela na antiguidade são as catedrais, existentes até hoje em excelente estado de conservação, comprovando o potencial, a qualidade e a durabilidade deste processo construtivo (NETO; PELUSO; CARVALHO, 2015).

É importante destacar dois conceitos básicos: componente e elemento da alvenaria estrutural. Conforme a ABNT NBR 16868-1 (2020), componente é a menor parte constituinte dos elementos da estrutura, e os elementos, por sua vez, são a parte da estrutura suficientemente elaborada, constituída da reunião de dois ou mais componentes.

Os componentes principais da alvenaria estrutural são: blocos, ou unidades; argamassa; graute e armadura. Já os elementos que podem ser citados são: paredes, pilares, cintas, vergas etc. (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

A seguir estão dispostas algumas definições básicas sobre os elementos e componentes da alvenaria estrutural. (PARSEKIAN; HAMID; DRYSDALE, 2012, p. 62).

Componente:

- Bloco: a unidade básica que forma a alvenaria;
- Junta de argamassa: componente utilizado na ligação entre os blocos;
- Reforço de graute: componente utilizado para preenchimento de espaços vazios de blocos, com a finalidade de solidarizar armaduras à alvenaria ou aumentar sua capacidade resistente.

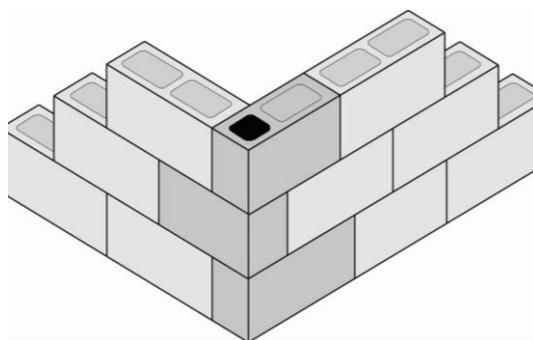
Elemento:

- Elemento de alvenaria não armado: elemento de alvenaria no qual a armadura é desconsiderada para resistir aos esforços solicitantes.
- Elemento de alvenaria armado: elemento de alvenaria no qual são utilizadas armaduras passivas que são consideradas para resistência dos esforços solicitantes (definição alterada em relação a outras normas mais antigas, que exigiam taxa de armadura mínima para todos os elementos da construção para ser considerada alvenaria armada).
- Elemento de alvenaria protendido: elemento de alvenaria no qual são utilizadas armaduras ativas, impondo uma pré-compressão antes do carregamento (PARSEKIAN; HAMID; DRYSDALE, 2012, p. 62).

Algumas novas definições foram introduzidas ou reformuladas com a publicação da NBR 16868:2020, pode-se destacar:

- **Amarração direta de paredes:** padrão de ligação de paredes por intertravamento de blocos ou tijolos, respeitando a superposição em toda a espessura. O comprimento da superposição e defasagem da junta vertical obtida com a interpenetração alternada de 50% das fiadas de uma parede na outra ao longo das interfaces comuns;

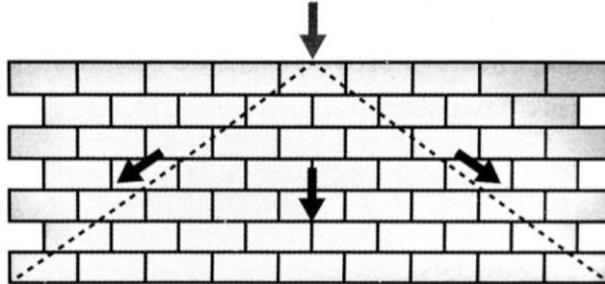
Figura 8 - Exemplo de amarração direta de paredes



Fonte: L. Prado Gestão de Projetos (2022)

- **Amarração no plano da parede:** padrão de distribuição dos blocos no plano da parede, de forma que as juntas verticais estejam defasadas em no mínimo 9 cm e $\frac{1}{4}$ do comprimento dos blocos;

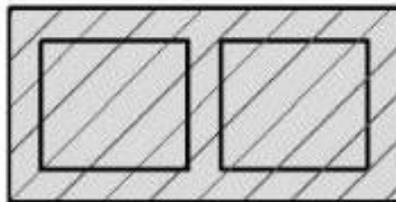
Figura 9 - Exemplo de juntas amarradas com representação da distribuição dos esforços



Fonte: PARSEKIAN; WALLISON, 2021, p. 17.

- **Área bruta:** área de um componente (bloco) ou elemento (parede) considerando as dimensões externas, desprezando-se a existência dos furos e vazados;

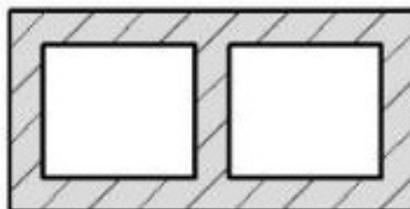
Figura 10 - Exemplo de área bruta (vista em planta)



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

- **Área líquida:** área de um componente (bloco) ou elemento (parede) considerando as dimensões externas, descontando-se a área dos furos e vazados;

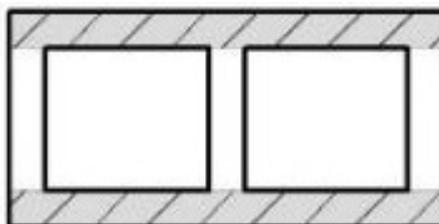
Figura 11 - Exemplo de área líquida (vista em planta)



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

- **Área efetiva:** parte da área líquida de um componente (bloco) ou elemento (parede) considerando apenas a região sobre a qual a argamassa de assentamento é distribuída, desconsiderando vazios, quando houver;

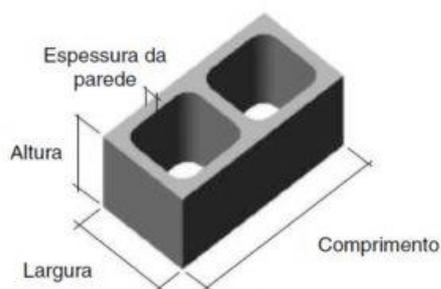
Figura 12 - Exemplo de área efetiva (vista em planta)



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

- **Bloco:** componente básico da alvenaria com altura maior ou igual a 115 mm, podendo ser vazado, perfurado ou maciço;

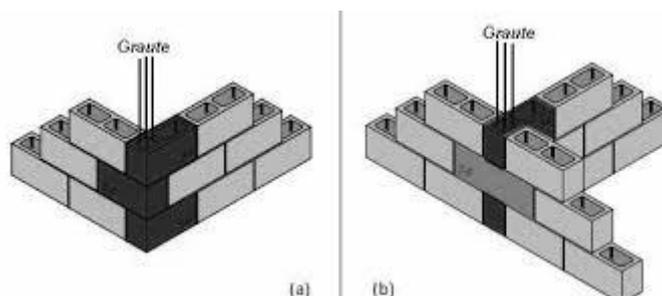
Figura 13 - Exemplo de bloco



Fonte: Construindo Casas (2022)

- **Graute:** Material cimentício com consistência fluida utilizado para o preenchimento de espaços vazios da alvenaria, com o objetivo de aumentar a capacidade resistente da alvenaria ou de sua solidarização às armaduras;

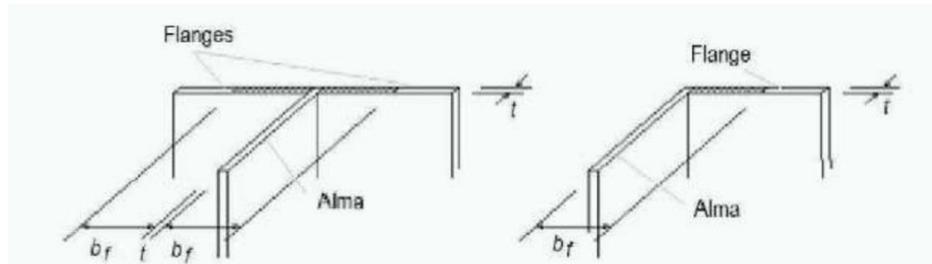
Figura 14 - Graute. a) cruzamento em L; b) cruzamento em T



Fonte: Construindo Casas (2022)

- **Flange:** comprimento de trecho de alvenaria, fora do plano da seção e amarrada ao elemento, considerado para aumento da rigidez da seção transversal;

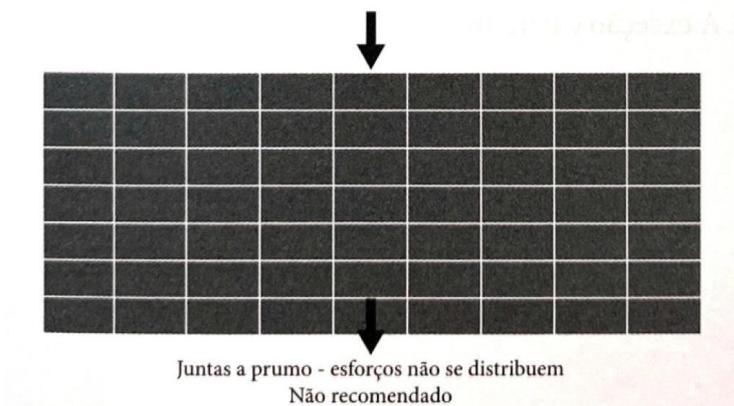
Figura 15 - Exemplos de flanges



Fonte: NBR-16868-1. Alvenaria estrutural Parte 1: projeto. Rio de Janeiro, 2020, p. 26.

- **Junta não amarrada no plano da parede:** padrão de distribuição de blocos no plano, em que as juntas verticais se defasam menos que 9 cm e $\frac{1}{4}$ do comprimento dos blocos. Usualmente, as juntas verticais são alinhadas a prumo nesta configuração.

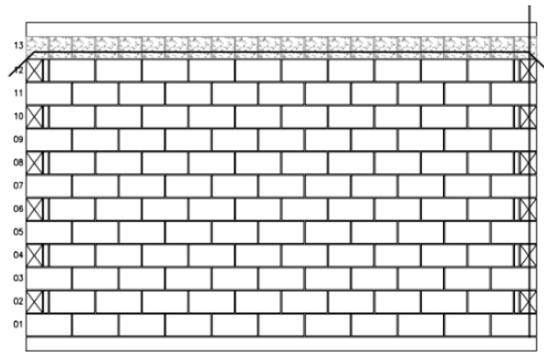
Figura 16 - Junta a prumo



Fonte: PARSEKIAN; WALLISON, 2021, p. 19.

- **Parede:** elemento laminar que resiste predominantemente às cargas de compressão e cuja maior dimensão da seção transversal exceda 5 vezes a menor dimensão. É considerada estrutural quando é admitida como participante da estrutura;

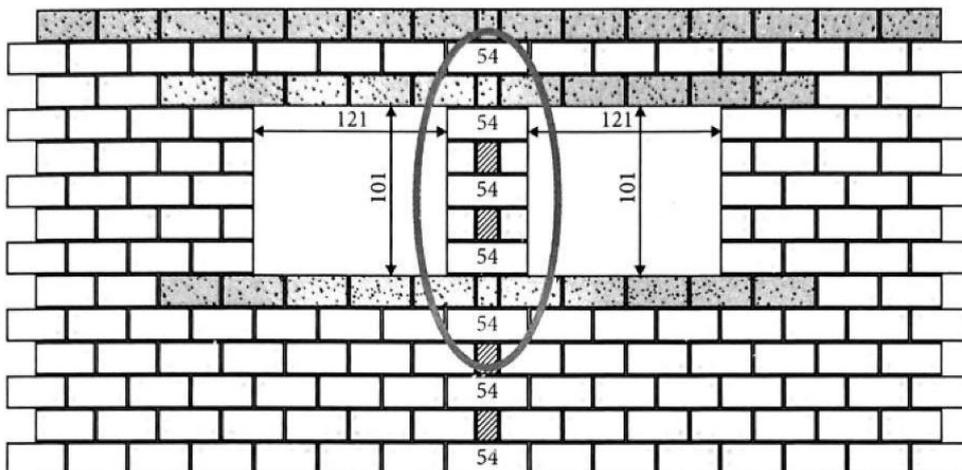
Figura 17 - Exemplo de parede



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

- **Pilar:** elemento linear que resiste predominantemente a cargas de compressão e cuja maior dimensão da seção transversal não excede cinco vezes a maior dimensão. Excluem-se desta definição os trechos entre janelas com altura de até 160 cm.

Figura 18 - Trecho não considerado pilar



Fonte: PARSEKIAN; WALLISON, 2021, p. 21.

- **Cinta:** elemento estrutural armado apoiado continuamente na parede ligado ou não às lajes, vergas ou contravergas;

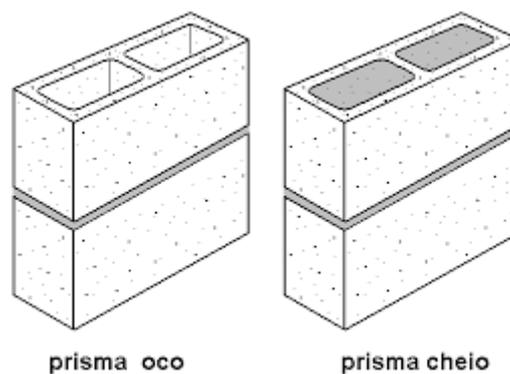
Figura 19 - Cinta de amarração



Fonte: Construindo Casas (2022)

- **Prisma:** corpo de prova obtido pela superposição de blocos unidos por junta de argamassa, podendo ser cheio, quando os vazados ou furos são preenchidos por grauteamento, ou oco, quando não há grauteamento de vazados ou furos. Permite a obtenção de informações básicas a respeito da resistência à compressão da alvenaria e é o principal parâmetro para o projeto e controle de obra.

Figura 20 - Prisma oco e cheio

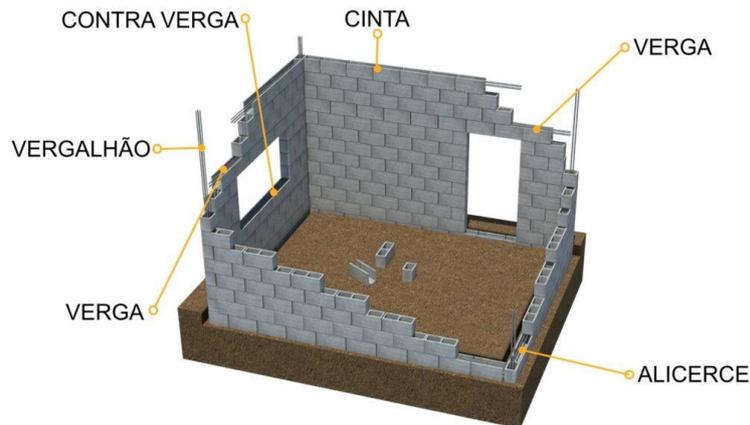


Fonte: PARSEKIAN; WALLISON, 2021, p. 21.

4.2.1 Concepção Estrutural

A concepção da estrutura consiste em determinar, a partir de uma planta básica, quais as paredes que serão consideradas estruturais ou não-estruturais, relativas às ações verticais e horizontais, considerando alguns fatores, como a utilização da edificação, simetria da estrutura etc. (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

Figura 21 - Esquema estrutural



Fonte: Construindo Casas (2022)

A estrutura de uma edificação tem a função de transmitir os esforços atuantes na mesma até o solo, resistindo às tensões internas e garantindo a estabilidade de cada parte e do conjunto. Em projetos de edifícios em alvenaria estrutural, as paredes resistentes trabalham de forma combinada com as lajes, formando um sistema estrutural tipo caixa, estando sujeito a ações verticais e horizontais (BECKENKAMP, 2013).

As ações verticais podem atuar tanto diretamente sobre as paredes resistentes, como, sobre as lajes, e estas transmitem para as paredes resistentes, que, por sua vez, transmitem às fundações. Já as ações horizontais, que atuam na fachada, são transmitidas para as lajes que descarregam por sua vez nas paredes de contraventamento, que tem por função transmitir os esforços para as fundações (CAMACHO, 2006).

I. Resistência à compressão

A resistência à compressão de uma parede é altamente influenciada pelo tipo de bloco a ser utilizado. A resistência característica (f_k) deve ser determinada com base no ensaio de paredes. Nas alvenarias de blocos com 190 mm de altura e argamassas de 10 mm, pode-se considerar $f_k = 0,7 * f_{pk}$. Onde, f_{pk} é a resistência do prisma (PARSEKIAN; WALLISON, 2021).

A resistência do prisma é obtida por meio de um ensaio realizado com dois blocos e uma junta de argamassa, conforme prescrito pela ABNT NBR 16868-3:2020. Na construção do corpo de prova (assentamento de um bloco sobre outro, formando um prisma de dois blocos e uma junta de argamassa), deve-se dispor a argamassa em toda face horizontal do bloco. A referência para cálculo da resistência de prisma é a área bruta do bloco. Quando a argamassa for disposta em dois cordões laterais, deve-se reduzir o valor de resistência obtido no ensaio em 20% (PARSEKIAN; WALLISON, 2021).

Na Tabela 1 a seguir consta a recomendação para especificação dos materiais da alvenaria estrutural concebida em blocos vazados de concreto.

Tabela 1 - Recomendação para especificação dos materiais da alvenaria estrutural

Tipo de bloco	f_{bk}	f_a	f_{gk}	f_{pk}/f_{bk}	f_{pk}^*/f_{pk}	f_{pk}	f_{pk}^*	Espessura mínima de parede do bloco mm
	MPa					MPa		
Bloco vazado de concreto, conforme a ABNT NBR 6136 (ref. 14 × 39 cm) 	3,0	4,0	15,0	0,80	2,00	2,4	4,8	25
	4,0	4,0	15,0	0,80	2,00	3,2	6,4	25
	6,0	6,0	15,0	0,75	1,75	4,5	7,9	25
	8,0	6,0	20,0	0,75	1,75	6,0	10,5	25
	10,0	8,0	20,0	0,70	1,75	7,0	12,3	25
	12,0	8,0	25,0	0,70	1,60	8,4	13,4	25
	14,0	12,0	25,0	0,70	1,60	9,8	15,7	25
	16,0	12,0	30,0	0,65	1,60	10,4	16,6	25
	18,0	14,0	30,0	0,65	1,60	11,7	18,7	25
	20,0	14,0	35,0	0,60	1,60	12,0	19,2	25
	22,0	18,0	35,0	0,55	1,60	12,1	19,4	25
	24,0	18,0	40,0	0,55	1,60	13,2	21,1	25

Fonte: NBR-16868-1. Alvenaria estrutural Parte 1: projeto. Rio de Janeiro, 2020, p. 69.

II. Resistência ao cisalhamento

As tensões de cisalhamento em paredes de alvenaria seguem o critério de resistência de Coulomb ($\tau = \tau_0 + \mu\sigma$). O valor da parcela de resistência ao cisalhamento da alvenaria depende do traço da argamassa utilizada, que influencia na aderência inicial (τ_0) e o nível de pré-compressão ($\mu\sigma$), com coeficiente de atrito $\mu = 0,5$. (PARSEKIAN; WALLISON, 2021).

Os valores característicos da resistência ao cisalhamento em juntas horizontais de paredes, f_{vk} , estão indicados na Tabela 2 a seguir em função da faixa de resistência da argamassa.

Tabela 2 - Valores característicos da resistência ao cisalhamento em juntas horizontais de paredes

Resistência média a compressão da argamassa	f_{vk} MPa
Entre 1,5 e 3,4 MPa	$0,10 + 0,5 \sigma \leq 1,0$
Entre 3,5 e 7,0 MPa	$0,15 + 0,5 \sigma \leq 1,4$
Acima de 7,0 MPa	$0,35 + 0,5 \sigma \leq 1,7$
σ é a tensão normal de pré-compressão na junta, considerando-se apenas as ações permanentes ponderadas por coeficiente igual a 0,9 (ação favorável).	

Fonte: NBR-16868-1. Alvenaria estrutural Parte 1: projeto. Rio de Janeiro, 2020, p. 13.

Esses valores são válidos para assentamento com juntas verticais preenchidas durante o assentamento e apenas para argamassas tradicionais de cimento, cal e areia, sem aditivos ou adições.

III. Resistência à flexão simples em alvenaria armada

Para o dimensionamento a flexão no estado limite último (ELU), admite-se estágio III e as seguintes hipóteses:

- as tensões são proporcionais às deformações;
- as seções permanecem planas após a deformação;
- os módulos de deformação são constantes;
- há aderência perfeita entre o aço e a alvenaria;
- a máxima deformação na alvenaria ε_c se limita a 0,30%;
- o máximo alongamento do aço ε_s se limita a 1%;
- a alvenaria não resiste à tração, sendo este esforço resistido apenas pelo aço.

IV. Resistência à tração na flexão

A alvenaria é um material com baixa resistência à tração em comparação com a compressão. Sendo assim, a resistência à flexão simples de alvenarias não armadas dependerá da resistência à tração, esta que é caracterizada pelo tipo de argamassa (traço) utilizado. (PARSEKIAN; WALLISON, 2021).

Os valores característicos da resistência à tração na flexão, f_{tk} , estão indicados na Tabela 3 a seguir em função da faixa de resistência da argamassa.

Tabela 3 - Valores característicos da resistência à tração na flexão

Resistência média a compressão da argamassa	f_{tk} MPa	
	Direção da tração perpendicular à fiada	Direção da tração paralela à fiada
Entre 1,5 e 3,4 MPa	0,10	0,20
Entre 3,5 e 7,0 MPa	0,20	0,40
Acima de 7,0 MPa	0,25	0,50

Fonte: NBR-16868-1. Alvenaria estrutural Parte 1: projeto. Rio de Janeiro, 2020, p. 13.

4.3 ÍNDICES MÉDIOS DE REFERÊNCIA

Os índices de consumo indicados abaixo representam apenas os materiais correspondentes ao sistema estrutural de um edifício de 5 pavimentos, sendo o térreo e quatro pavimentos tipo, segundo BARBOSA (2015).

- Alvenaria estrutural

Tabela 4 - Consumos e índices de armadura

Elemento	Índice (kg/m ²)	Consumo (kg)
Paredes	2,19	1.062,15
Lajes	3,19 (tela) ⁽¹⁾	1.547,15
	2,55 (montada) ⁽²⁾	1.237,72
Total	5,38 (laje tela)	2.609,30
	4,30 (laje montada)	2.087,44

Observações:
- Os índices foram determinados considerando a média entre os pavimentos do edifício;
⁽¹⁾ Armiação positiva em tela e negativa montada na obra com vergalhões;
⁽²⁾ Armiação positiva e negativa montadas na obra;
- $A_{pav.} = 485 \text{ m}^2$.

Fonte: BARBOSA (2015)

Tabela 5 - Consumos e índices de graute e concreto

Elemento	Índice (m³/m²)	Consumo (m³)
Paredes	0,032	14,55
Lajes	0,100	48,50
Total	0,132	63,05
Os índices foram determinados considerando a média entre os pavimentos do edifício. A _{pav.} = 485 m ² .		

Fonte: BARBOSA (2015)

- Concreto armado

Tabela 6 - Índices de armadura

Elemento	Índice (kg/m²)	Consumo (kg)
Pilares	3,28	----
Vigas	2,84	----
Lajes	5,61 ⁽¹⁾	----
Total	11,70	----
- Os índices foram determinados considerando a média entre os pavimentos do edifício; - Não está incluída no índice a armadura das vergas e das contravergas nas alvenarias de fechamento dos ambientes. ⁽¹⁾ Armação positiva e negativa montadas na obra com vergalhões.		

Fonte: BARBOSA (2015)

Tabela 7 - Índices de concreto

Elemento	Índice (m³/m²)	Consumo (m³)
Pilares	0,020	----
Vigas	0,038	----
Lajes	0,095	----
Total	0,153	----
Os índices foram determinados considerando a média entre os pavimentos do edifício.		

Fonte: BARBOSA (2015)

Tabela 8 - Índices de fôrma

Elemento	Índice (m²/m²)	Consumo (m²)
Pilares	0,39	----
Vigas	0,63	----
Lajes	0,93	----
Total	1,95	----
Os índices foram determinados considerando a média entre os pavimentos do edifício.		

Fonte: BARBOSA (2015)

4.4 ESTUDOS COMPARATIVOS ENTRE OS DOIS SISTEMAS

A alvenaria estrutural pode apresentar vantagens econômicas diante de sistema construtivo em concreto armado, desde que se atente para alguns detalhes da edificação que se pretende construir. Alguns dos principais fatores que devem ser analisados são: a altura da edificação, o arranjo arquitetônico e o tipo de uso da edificação (BECKENKAMP, 2013).

No Brasil, para edifícios com número acima de 16 pavimentos, a resistência à compressão dos blocos encontrados no mercado não permite que a obra seja executada sem uma utilização de graute de forma generalizada, o que aumentaria significativamente o custo da estrutura. E mesmo se os blocos atendessem a condição de resistência à compressão, as ações horizontais iriam produzir tensões significativas, exigindo uma grande utilização de armaduras e graute. Prejudicando o aspecto econômico do empreendimento (FIGUEIRÓ, 2009).

Em relação ao arranjo arquitetônico, é importante ponderar a densidade de paredes por m² de pavimento, o ideal é que esse valor fique entre 0,5 e 0,7 m de paredes estruturais por metro quadrado de pavimento (BECKENKAMP, 2013).

O tipo de uso da edificação interfere consideravelmente na escolha do tipo de estrutura. Para edifícios comerciais e residenciais de alto padrão, onde seja necessária a utilização de vãos grandes ou previsões de alteração na arquitetura, o uso de alvenaria estrutural não é adequado. A alvenaria estrutural é mais indicada e adequada a edifícios residenciais de padrão médio abaixo, onde os ambientes e os vãos são pequenos (FIGUEIRÓ, 2009).

De acordo com Camacho (2006, pg. 4) o emprego conveniente da alvenaria estrutural pode trazer as seguintes vantagens técnicas e econômicas.

- **Redução de custos**, devido a simplificação das técnicas de execução e a economia de fôrmas e escoramentos
- **Menor diversidade de materiais empregados**, reduzindo o número de subempreiteiras na obra, a complexidade executiva e atrasos devido a falta de materiais, equipamentos ou mão de obra.

- **Redução da diversidade de mão-de-obra especializada:** necessita-se de mão-de-obra especializada somente para a execução da alvenaria, diferentemente do que ocorre nas estruturas de concreto armado.
- **Maior rapidez de execução:** devido a simplificação das técnicas construtivas, que permite maior rapidez no retorno do capital empregado.
- **Robustez estrutural:** resultando em maior resistência à danos patológicos decorrentes de movimentações, aumentando a segurança frente a ruínas parciais

Assim como a alvenaria estrutural, o concreto armado também possui algumas restrições que devem ser analisadas em relação ao cronograma de construção, perda de material e geração de entulho e recorte na estrutura.

O cronograma da construção está relacionado à cura do concreto, logo, é preciso que haja um bom planejamento para evitar atrasos na construção, já que os trabalhadores dependem da cura para dar andamento à obra, tanto para trabalharem com segurança sobre o pavimento recém concretado, como para o levantamento da alvenaria de vedação (NUNES; JUNGES, 2008).

O concreto armado é um dos sistemas construtivos com maior índice de perda de material durante o processo de construção, isso se deve a vários fatores, como por exemplo, a necessidade de realizar rasgos nas paredes para a instalação de tubulações hidráulicas e elétricas, os resíduos gerados são muitos elevados quando comparados a alvenaria estrutural. Além disso, a presença de grande número de vigas, além de causar alto consumo de formas, não favorece o reaproveitamento de formas e diminui a produtividade da construção (NUNES; JUNGES, 2008).

As principais vantagens do sistema em concreto armado estão relacionadas a existência de mão de obra qualificada, já que é um dos sistemas mais utilizados atualmente; maior rigidez, devido à existência de muitas vigas em formas de muitos pórticos; e a possibilidade de alterações no layout das paredes, já que estas só possuem a função de vedação (ALBUQUERQUE, 1999).

A partir deste estudo é possível perceber que os dois sistemas construtivos apresentam vantagens e desvantagens em sua implantação, que dependem de diversos fatores, tornando complexa a comparação entre eles. Para que esta

comparação se torne eficiente é preciso especificá-la, isto é, os dois sistemas construtivos devem ser “confrontados” para um mesmo tipo de edificação e para uma mesma análise. De forma a definir, para uma situação específica, qual a solução construtiva mais vantajosa.

Nascimento (2012) apresenta um comparativo de custo entre os dois sistemas construtivos, para um estudo de caso, um edifício residencial de médio padrão com 18 pavimentos localizado no interior do estado de São Paulo, com o projeto concebido em alvenaria estrutural e convertido para concreto armado.

O empreendimento estudado possui 5 torres de 18 pavimentos, onde cada torre é composta por 1 pavimento térreo com um hall de entrada mais 4 apartamentos, 16 pavimentos tipo com 5 apartamentos em cada pavimento e 1 pavimento cobertura que abriga o barrilete e reservatórios superiores. Cada torre possui uma área construída de 8.614 m² totalizando 43.070 m² de construção.

A partir do levantamento de dados, Nascimento (2012), chegou à conclusão de que o sistema em alvenaria estrutural se mostrou 12% mais vantajoso financeiramente que em concreto armado. Além disso, o sistema em alvenaria estrutural em termos de custo é aproveitado com maior eficiência em edificações residenciais mais baixas, onde o custo da construção é primordial. Em edificações mais altas, pode se destacar pela rapidez de execução e facilidade de manutenção do canteiro.

Marques (2022) realiza o mesmo comparativo para um empreendimento com 9 torres de 4 pavimentos com 4 apartamentos por pavimento, com seu projeto concebido em alvenaria estrutural e adaptado para concreto armado. O comparativo realizado analisa o custo e o cronograma de execução do empreendimento para os dois métodos construtivos.

Em termos do cronograma, a obra apresentava um prazo de 16 meses para a sua conclusão em alvenaria estrutural, o autor observou que para a execução em concreto armado teria um aumento de 34 dias no prazo de finalização da obra.

Através da análise de orçamento do empreendimento, o autor verificou que o sistema em concreto armado apresentou um acréscimo na ordem de 11% acima do

custo em alvenaria estrutural, considerando custos de infraestrutura, anexos e outros indiretos. No comparativo do custo direto de construção dos edifícios apenas, essa diferença é elevada para 18%.

A partir destes dois estudos, percebe-se que a alvenaria estrutural se mostrou mais vantajosa em termos de custos e cronograma para dois empreendimentos diferentes, um apresentando 18 pavimentos e o outro 4 pavimentos.

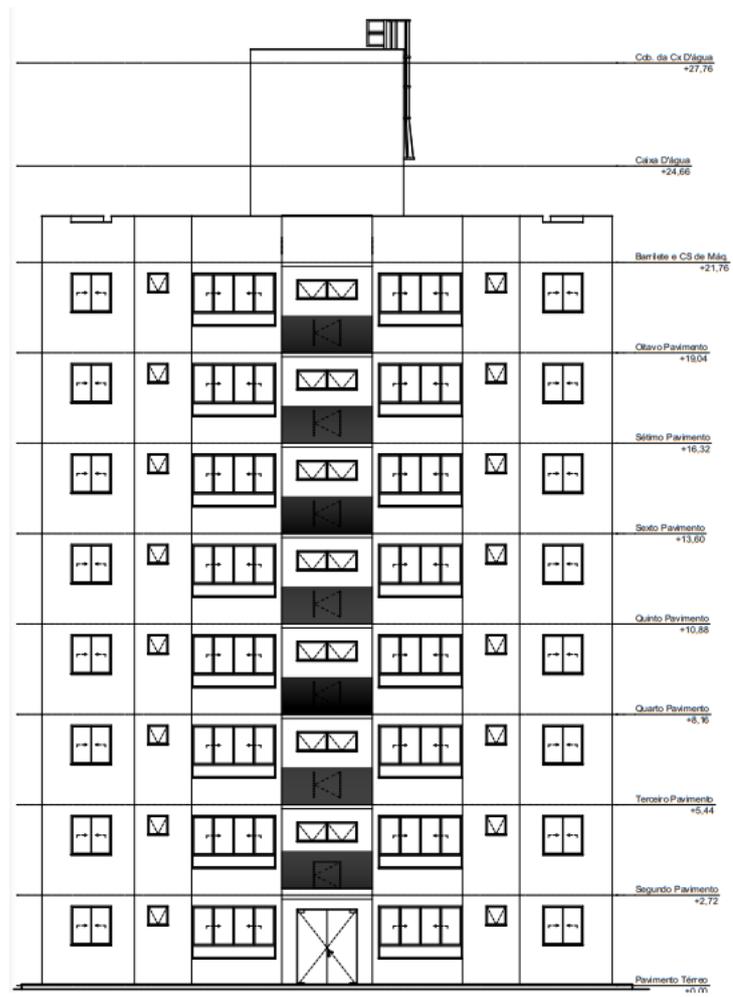
5 METODOLOGIA

O método proposto para o presente trabalho teve como foco a comparação de custo e de consumo de materiais entre dois sistemas construtivos, alvenaria estrutural e concreto armado.

5.1 ESTUDO DE CASO

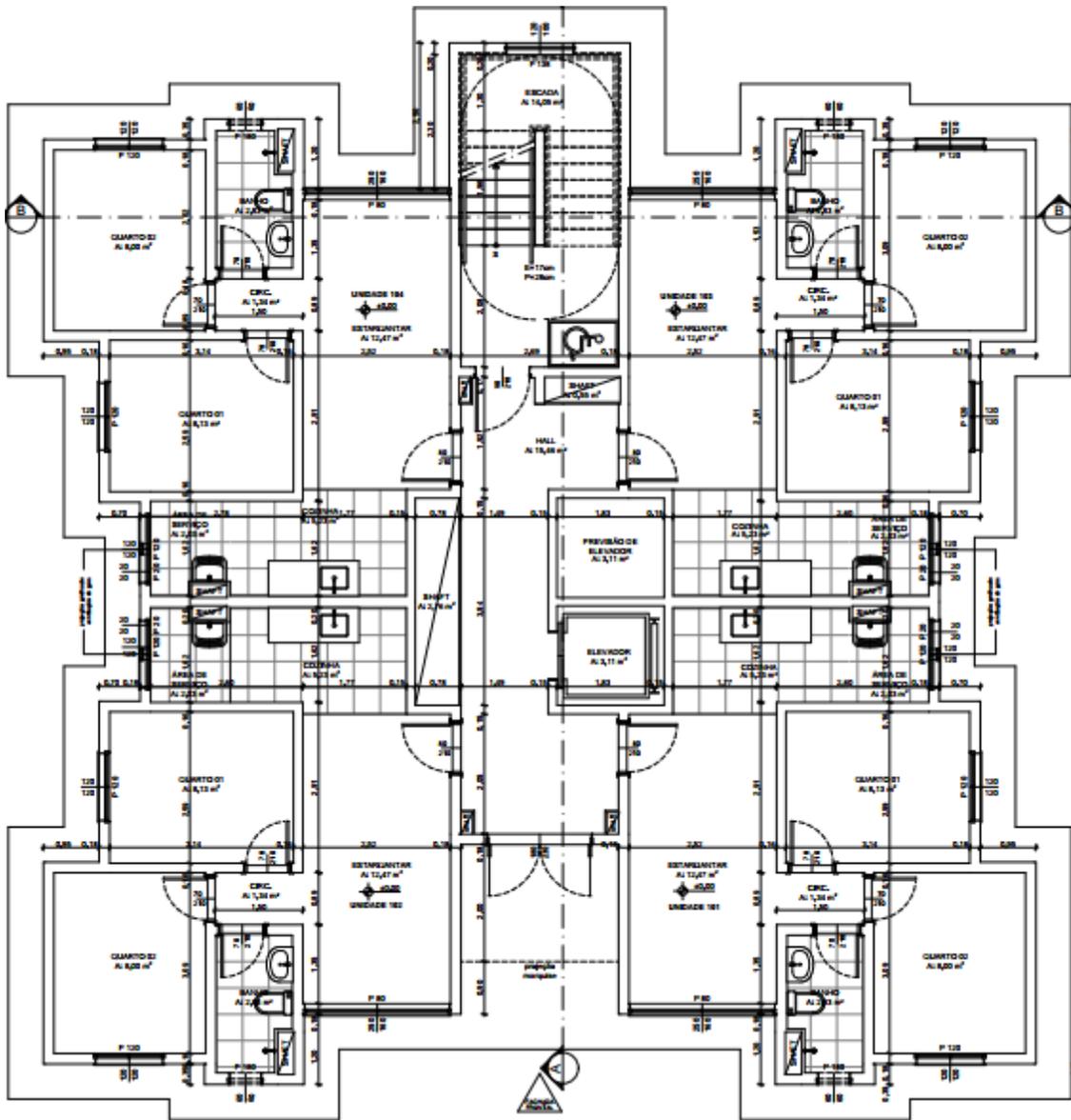
O edifício modelo objeto de estudo deste trabalho foi concebido em alvenaria estrutural com 8 pavimentos, apresentando 4 apartamentos por andar. Na elaboração deste estudo, o edifício foi dimensionado em concreto armado, a fim de realizar as comparações definidas entre os dois métodos construtivos. Ou seja, o projeto estrutural já dimensionado em alvenaria estrutural foi redimensionado em concreto armado. A Figura 22 e a Figura 23 apresentam a fachada frontal do edifício e a planta baixa do pavimento tipo, respectivamente.

Figura 22 - Fachada frontal do edifício modelo escolhido



Fonte: Arquivo pessoal (2022)

Figura 23 - Planta baixa do pavimento tipo do edifício modelo escolhido



Fonte: Arquivo pessoal (2022)

5.2 DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

O dimensionamento do edifício escolhido em concreto armado, foi realizado com o auxílio do software TQS Informática LTDA v.23, seguindo a mesma concepção arquitetônica, isto é, respeitando a espessura das paredes, pé-direito e aberturas de portas e janelas.

As verificações de Estado Limite Último (ELU) foram analisadas de forma a evitar possibilidades de combinações de ações que levem a estrutura ao colapso, assim como as verificações de Estados Limite de Serviço (ELS), que têm a finalidade

de evitar a possibilidade da ocorrência de ações durante a utilização da estrutura que possam causar desconforto, como deformações excessivas e fissuras. Ou seja, para o dimensionamento efetivo dos modelos estruturais, as resistências de cálculo devem ser superiores às solicitações e verificadas em relação a todos estados de limite e carregamentos aplicados na estrutura, seguindo prescrições da ABNT NBR 6118 (2014).

Para as cargas verticais e peso específico de materiais, foram adotados os valores mínimos conforme a ABNT NBR 6120 (2019). Já os esforços horizontais devidos ao vento foram considerados levando em conta o local onde a edificação está implantada, dentro dos parâmetros estabelecidos pela ABNT NBR 6123 (1988). Sendo estes:

- S1: fator topográfico, em terreno plano e levemente ondulado $S1 = 1,0$;
- S2: fator de rugosidade, este fator leva em consideração a rugosidade do terreno, ou seja, obstáculos entre o vento e a edificação, altura do ponto de aplicação da ação do vento e as dimensões do edifício. Para a rugosidade será considerado com característica o terreno coberto por obstáculos numerosos e pouco espaçados, em zona urbanizada. O restante dos parâmetros do fator S2 acabará por sofrer variações conforme a quantidade de pavimentos de cada modelo, visto que o fator varia conforme a maior dimensão da edificação;
- S3: fator estatístico em função do uso da edificação, sendo a edificação de âmbito residencial será considerado o fator $S3 = 1,0$;

A edificação residencial está localizada em área urbana, com ambientes internos secos e estrutura revestida por argamassa e pintura. Portanto, a classe de agressividade a ser considerada é a Classe II, onde o risco de deterioração é pequeno. Portanto, de acordo com a ABNT NBR 6118 (2014), a resistência mínima do concreto à compressão a ser utilizado é de 25 MPa e cobrimento mínimo, utilizando um rígido controle de execução, é de 25 mm para lajes e 30 mm para pilares, vigas e para elementos estruturais em contato com o solo.

5.2.1 Dimensionamento Estrutural em Concreto Armado

Como informado anteriormente, a concepção da estrutura de concreto armado foi elaborada de modo a não alterar as características arquitetônicas do projeto original.

O dimensionamento das vigas foi efetuado de forma a atender às regras estabelecidas pela ABNT NBR 6118 (2014), onde:

- Flechas máximas admissíveis (f_{adm}) que atendem os ELS;
- Menor dimensão da seção transversal (b) ≥ 12 cm;
- Taxa geométrica de armadura longitudinal à tração (ρ) ≤ 4 %;

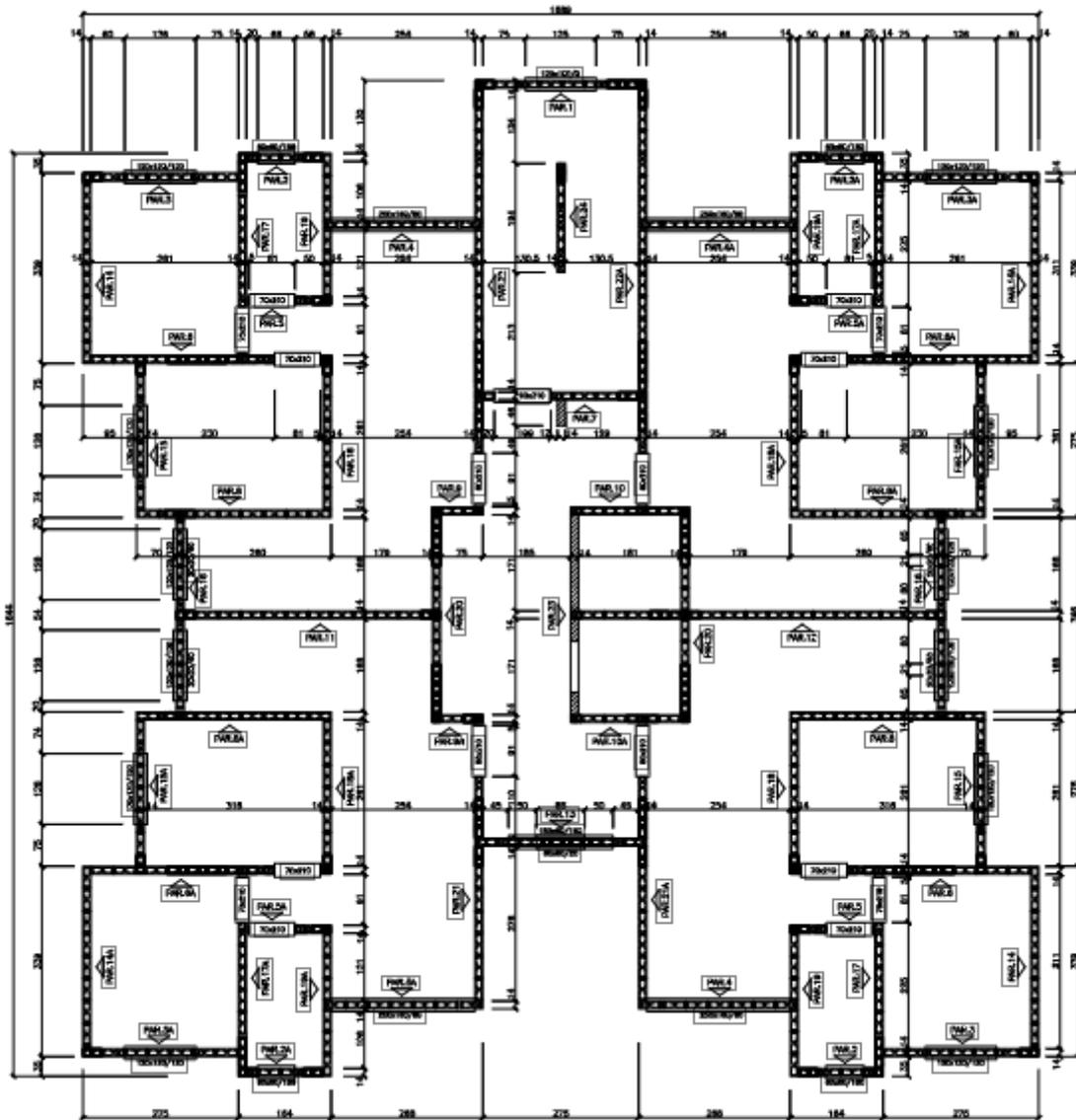
Os pilares têm suas dimensões variáveis a cada modelo gerado, visando uma melhor estimativa para cada caso, estes não devem interferir em detalhes arquitetônicos nem em ambientes privativos ou de uso comum. Além disso, devem atender às regras estabelecidas pela ABNT NBR 6118 (2014), onde:

- Índice de esbeltez (λ) ≤ 90 ;
- Menor dimensão da seção transversal (b) ≥ 19 cm;
- Área da seção transversal do concreto (A_c) ≥ 360 cm²;
- Taxa geométrica de armadura longitudinal à tração (ρ) ≤ 8 %;

5.2.2 Informações do Dimensionamento em Alvenaria Estrutural

A edificação de referência foi concebida com blocos estruturais de concreto de modulação da família 39. A planta baixa da primeira fiada pode ser visualizada na Figura 24 a seguir.

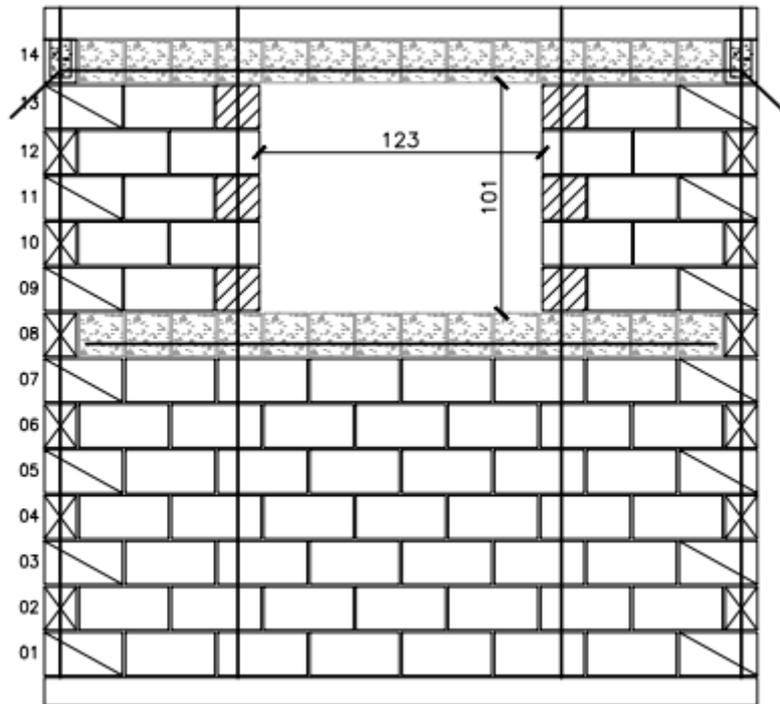
Figura 24 - Planta baixa da primeira fiada



Fonte: Arquivo pessoal (2022)

O pé-direito dos pavimentos é de 2,80 m, compatível com 14 fiadas de alvenaria, sendo 19 cm do bloco e 1 cm de argamassa de assentamento (Figura 25).

Figura 25 - Elevação de uma parede modelo com abertura de janela



Fonte: Arquivo pessoal (2022)

Foram consideradas ações devidas ao desaprumo, esforços de compressão simples, flexão na compressão, flexão na tração, cisalhamento e tração atendendo as exigências da ABNT NBR 16868 (2020).

Para a determinação da resistência dos blocos estruturais foi admitida a equação 1, onde f_{bk} (resistência característica do bloco) deve ser o dobro da f_{pk} (resistência característica do prisma). A resistência da argamassa foi obtida respeitando o valor mínimo de 50% da resistência do bloco, considerando o argamassamento total dos blocos. Para obtenção da resistência de graute é considerado o valor de duas vezes a resistência do bloco. Todos os métodos de dimensionamento das resistências à compressão dos elementos seguem as exigências estipuladas pela ABNT NBR 16868 (2020).

$$\frac{f_{pk}}{f_{bk}} = 0,5 \quad (1)$$

5.3 LEVANTAMENTO DE QUANTITATIVOS

Os dados do projeto já existente em alvenaria estrutural, junto com levantamentos realizados, auxiliarão na obtenção de informações para cada modelo dimensionado. A seguir estão descritos os métodos utilizados para os levantamentos de consumo de materiais e dos custos de cada modelo dimensionado.

5.3.1 Consumo de Materiais

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

- Concreto;
- Aço;
- Formas de madeira;
- Lajes;
- Alvenaria de fechamento com tijolos cerâmicos furados;
- Argamassa de assentamento.

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

- Graute;
- Concreto;
- Aço;
- Formas de madeira;
- Lajes;
- Blocos de concreto de alvenaria estrutural;
- Argamassa de assentamento.

Será realizada uma comparação dos dois métodos construtivos a partir dos resultados obtidos para cada um dos modelos dimensionados.

5.3.2 Custos

Com o quantitativo de materiais finalizado, será realizado um levantamento de custos, para os insumos considerados e para a mão de obra adotada para a concepção do edifício, através do orçamento pela tabela SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil) de dezembro de 2022, fornecida pela Caixa Econômica Federal, considerando a situação Não Desonerada, e da pesquisa na região onde a edificação está implantada, adotando valores médios de insumos encontrados, assim como a mão de obra necessária para a execução do edifício. Com o objetivo de comparar os custos dos dois métodos construtivos para cada um dos modelos de edifício definidos.

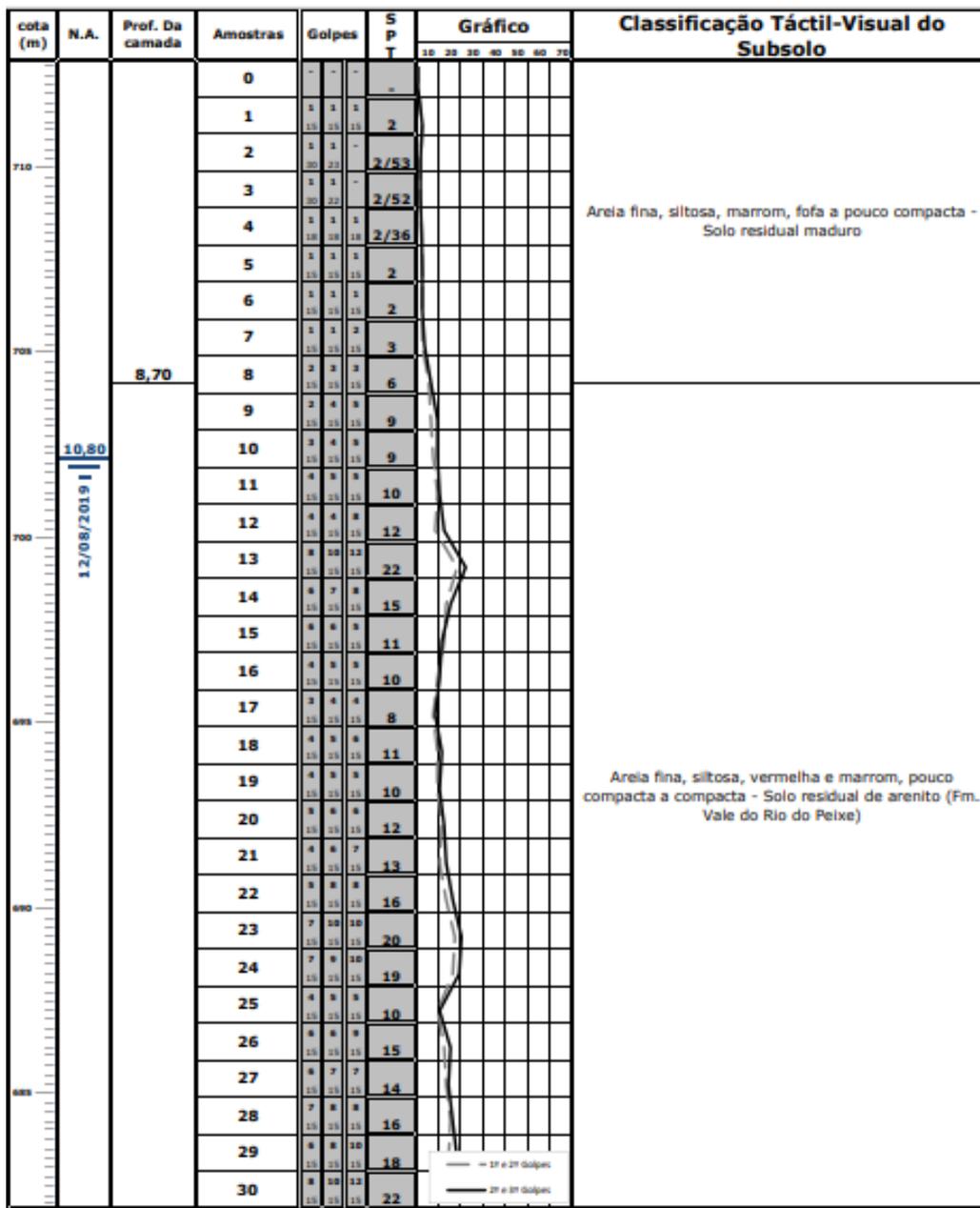
6 RESULTADOS

O levantamento de quantitativos está disposto separadamente para a fundação e para a superestrutura de cada método estrutural, facilitando assim a análise dos resultados.

6.1 FUNDAÇÃO

O solo da região de implantação do empreendimento se trata de um solo colapsível, isto é, solo não saturado caracterizado pela grande deformação e perda de resistência quando inundado, sendo assim, as fundações rasas são descartadas para este tipo de solo. Desta forma, optou-se pelo uso de fundações profundas, de forma a buscar camadas mais resistentes, mais especificamente, a fundação utilizada foi bloco sobre estacas. A Figura 26 representa o relatório de sondagem de um ponto do solo.

Figura 26 - Relatório de sondagem



Fonte: Arquivo pessoal (2022)

Foi feito o levantamento de quantitativos para a fundação dos dois métodos construtivos e posteriormente os resultados foram comparados, com a finalidade de encontrar o mais econômico. O tipo de estaca escolhido foi estaca hélice contínua.

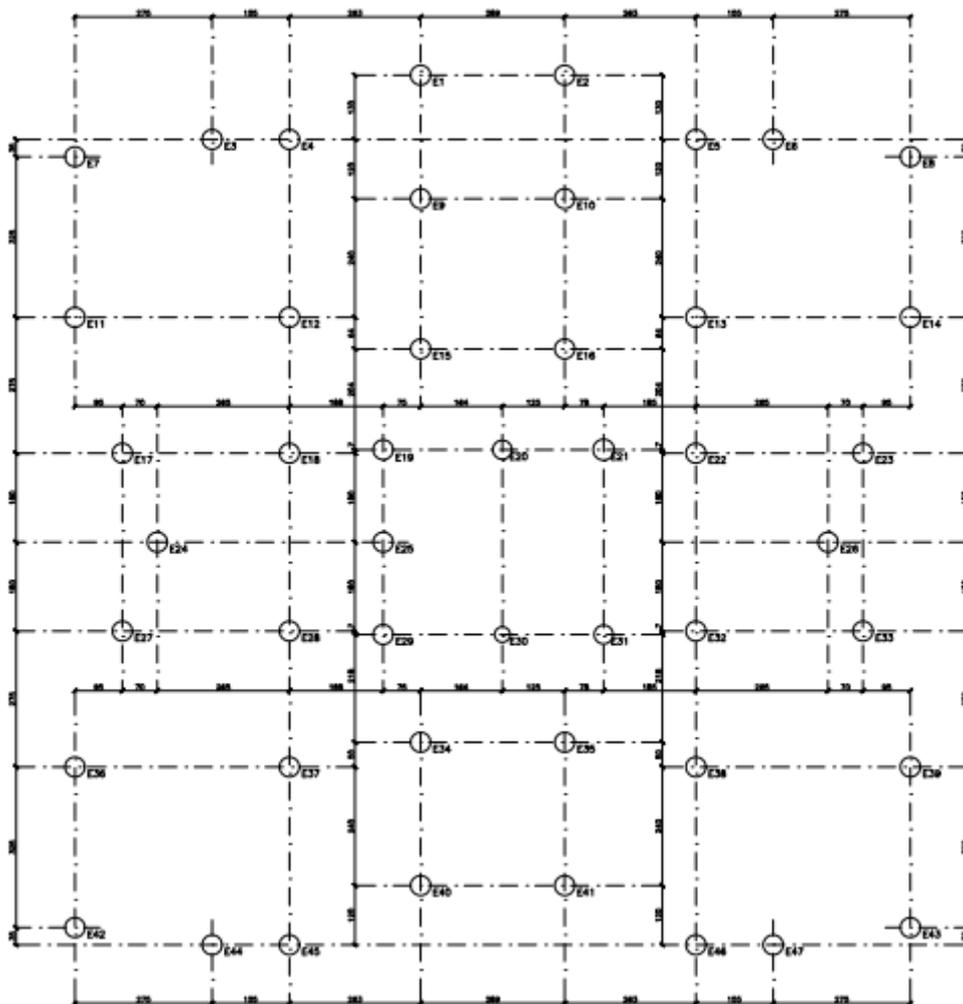
6.1.1 Fundação do Modelo em Alvenaria Estrutural

O quantitativo da fundação do modelo em alvenaria estrutural foi realizado de forma separada para cada etapa construtiva, isto é, estacas, bloco de coroamento e vigas baldrame. E posteriormente foi apresentado o resumo final do quantitativo da fundação.

- **Estacas**

A fundação em alvenaria estrutural é composta por 36 estacas de diâmetro de 30cm e 11 estacas de diâmetro de 40cm, totalizando 47 estacas. Na Figura 27 foi representada a planta de locação das estacas.

Figura 27 - Planta de locação de estacas



Fonte: Arquivo pessoal (2022)

A Tabela 9 apresenta o resumo do quantitativo das estacas, juntamente com as suas respectivas profundidades. A partir deste quantitativo, foi possível obter a massa de aço e o volume de concreto utilizados, bem como a quantidade de solo a ser escavado em metros pela perfuratriz.

Tabela 9 - Resumo do quantitativo das estacas

Diâmetro da estaca (cm)	Profundidade (m)	Quantidade (unid.)
30	14	6
30	16	18
30	17	2
30	18	2
30	21	8
40	18	5
40	20	2
40	22	4

Fonte: Autoria própria (2022)

Para obter o volume gasto de concreto, o resultado foi acrescido em 10% para contabilizar também as perdas do processo, resultando em 77,6 m³ de concreto, totalizando aproximadamente 10 caminhões betoneira de 8m³.

Tabela 10 - Resumo do volume gasto de concreto para as estacas

CONSUMO DE CONCRETO - ESTACAS			
Diâmetro da estaca (cm)	Profundidade (m)	Quantidade (unid.)	Concreto teórico (m ³)
30	14	6	5,937610
30	16	18	20,357520
30	17	2	2,403318
30	18	2	2,544690
30	21	8	11,875220
40	18	5	11,309734
40	20	2	5,026548
40	22	4	11,058406
Consumo de concreto total + 10% (m³)			77,6

Fonte: Autoria própria (2022)

Todas as estacas apresentam ferragens de 6 metros. A massa total de aço CA50 utilizada nas estacas resultou em 1858,56 kg, conforme as tabelas a seguir

Tabela 11 - Resumo da massa total de aço utilizada nas estacas

LISTA DE BARRAS				
Aço	Diâmetro (mm)	Quantidade	Comprimento da unidade (m)	Comprimento total (m)
ESTACAS HÉLICE CONTÍNUA Ø30cm				
CA50	6,3	36	25,84	930,24
CA50	16,0	144	6,45	928,80
CA50	12,5	180	0,9	162,00
ESTACAS HÉLICE CONTÍNUA Ø40cm				
CA50	6,3	11	38,17	419,87
CA50	16,0	44	6,45	283,80
CA50	12,5	55	1,18	64,90
RESUMO				
Aço	Diametro (mm)	Comprimento (m)	kg/m	Massa Parcial (kg)
CA50	6,3	1350,11	0,245	330,78
CA50	12,5	226,90	0,963	218,50
CA50	16,0	1212,60	1,578	1913,48
Massa total CA50 (kg)				2462,76

Fonte: Autoria própria (2022)

Além desses quantitativos é preciso quantificar também a quantidade de solo escavado em metros para obter o custo da perfuratriz.

Tabela 12 - Resumo do metro linear a ser escavado para as estacas

PERFURATRIZ PARA EXECUÇÃO DE ESTACA HELICE CONTÍNUA (Ø30cm)			
Diâmetro da estaca (cm)	Profundidade (m)	Quantidade (unid.)	Solo a ser escavado (m)
30	14	6	84,000000
30	16	18	288,000000
30	17	2	34,000000
30	18	2	36,000000
30	21	8	168,000000
Quantidade de metros de solo a ser escavado (m)			671,0

PERFURATRIZ PARA EXECUÇÃO DE ESTACA HELICE CONTÍNUA (Ø40cm)			
Diâmetro da estaca (cm)	Profundidade (m)	Quantidade (unid.)	Solo a ser escavado (m)
40	18	5	90,000000
40	20	2	40,000000
40	22	4	88,000000
Quantidade de metros de solo a ser escavado (m)			239,8

Fonte: Autoria própria (2022)

Para facilitar o entendimento do quantitativo, foi elaborado o resumo a seguir. Os custos foram obtidos a partir da tabela SINAP (2022).

Tabela 13 - Resumo quantitativo para estacas

RESUMO - ESTACAS			
Material/serviço		Custo unitário	Custo total
Concreto [m³]	77,60	R\$ 533,53	R\$ 41.401,93
Aço [kg]	2462,76	R\$ 16,60	R\$ 40.881,89
Perfuratriz (estaca de 30cm) [m]	671,00	R\$ 52,80	R\$ 35.428,80
Perfuratriz (estaca de 40cm) [m]	239,80	R\$ 98,80	R\$ 23.692,24
Custo total para execução das estacas			R\$ 141.404,86

Fonte: Autoria própria (2022)

- **Blocos de coroamento**

A fundação foi dimensionada com blocos de uma estaca, sendo assim, possui 47 blocos de coroamento, com dimensões 70cm x 70cm x 70cm, totalizando um volume teórico para cada bloco de aproximadamente 0,343 m³. Objetivando incluir no quantitativo as perdas no processo de concretagem, o volume obtido foi acrescido em 10%, resultando em 17,73 m³, conforme pode-se observar na Tabela 14.

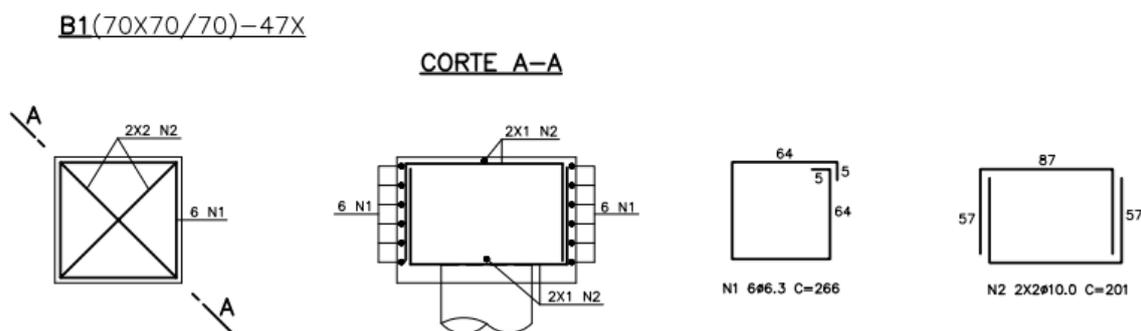
Tabela 14 – Consumo de concreto para os blocos de coroamento

CONSUMO DE CONCRETO - BLOCO DE COROAMENTO				
Dimensões (cm)			Quantidade (unid.)	Concreto teórico (m³)
dx	dy	dz		
70	70	70	47	16,12
Consumo de concreto total + 10% (m³)				17,73

Fonte: Autoria própria (2022)

Além disso foi calculada a quantidade de forma necessária para a concretagem dos blocos de coroamento, resultando em 92,12 m². A ferragem utilizada para os blocos de coroamento são N1 (Ø6,3mm) e N2 (Ø10,0mm). A partir do dimensionamento foi possível quantificar o aço utilizado.

Figura 28 - Dimensionamento do bloco de coroamento



Fonte: Arquivo pessoal (2022)

Foi possível, então, obter a massa do aço utilizado para a armadura do bloco de coroamento, resultando em 417 kg (aço CA50).

Tabela 15 - Resumo da massa total de aço utilizada nos blocos de coroamento

RESUMO AÇO - BLOCO DE COROAMENTO					
Aço	Diametro (mm)	Comprimento (m)	Quantidade (unid.)	Total (m)	Peso (kg)
CA50	6,3	2,66	282	750,12	184,00
CA50	10,0	2,01	188	377,88	233,00
Massa total CA50 (kg)					417,00

Fonte: Autoria própria (2022)

Para a escavação utilizou-se como parâmetro a mesma proporção que seria utilizada de concreto para a concretagem, isto é, 17,73 m³ de solo escavado para a execução dos blocos.

Para facilitar o entendimento do quantitativo, foi elaborado o resumo a seguir. Os custos foram obtidos a partir da tabela SINAP (2022).

Tabela 16 - Resumo quantitativo para os blocos de coroamento

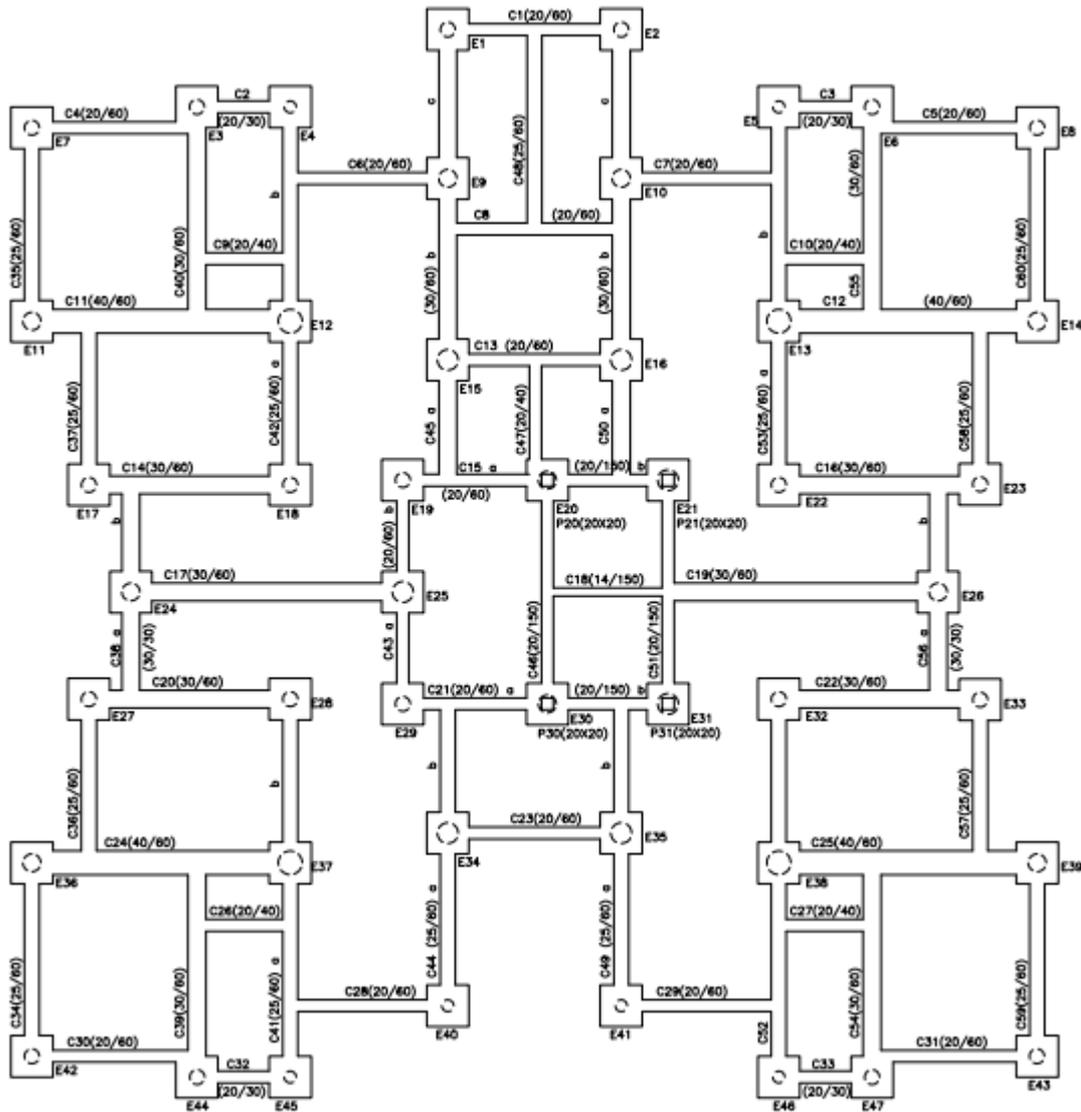
RESUMO - BLOCOS DE COROAMENTO			
Material/serviço		Custo unitário	Custo total
Concreto (m ³)	17,73	R\$ 642,69	R\$ 11.394,89
Aço (kg)	417,00	R\$ 16,60	R\$ 6.922,20
Escavação (m ³)	17,73	R\$ 48,61	R\$ 861,86
Forma (m ²)	92,12	R\$ 144,48	R\$ 13.309,50
Custo total para execução dos blocos de coroamento			R\$ 32.488,45

Fonte: Autoria própria (2022)

- **Vigas baldrame**

O quantitativo do consumo de concreto das vigas baldrame foi estimado a partir da planta de formas da Figura 29, que possui as informações da seção transversal das vigas e com o auxílio do software autocad foi obtido o comprimento delas. O volume encontrado também foi acrescido em 10% para contar as perdas na concretagem.

Figura 29 - Planta de locação de estacas



Fonte: Arquivo pessoal (2022)

O volume de concreto obtido foi de 26,43 m³, conforme a

Tabela 17.

Tabela 17 - Consumo de concreto para as vigas baldrame

CONSUMO DE CONCRETO - BALDRAME					
Baldrame	Dimensões (cm)			Quantidade (unid.)	Concreto teórico (m³)
	b	h	L		
C1	20	60	219	1,00	0,26
C2,C3,C32,C33	20	30	86	4,00	0,21
C4,C5,C30,C31	20	60	205	4,00	0,98
C6,C7,C28,C29	20	60	215	4,00	1,03
C8	20	60	259	1,00	0,31
C13,C23	20	60	219	2,00	0,53
C9,C10,C26,C27	20	40	128	4,00	0,41
C11,C12,C24,C25	40	60	361	4,00	3,47
C14,C16,C20,C22	30	60	266	4,00	1,92
C15,C21	20	60	372	2,00	0,89
C17	30	60	383	1,00	0,69
C18	14	60	181	1,00	0,15
C19	30	60	405	1,00	0,73
C34,C35,C59,C60	25	60	255	4,00	1,53
C36,C37,C57,C58	25	60	220	4,00	1,32
C38,C56	30	30	260	2,00	0,47
C39,C40,C54,C55	30	60	305	4,00	2,20
C41,C42,C52,C53	25	60	495	4,00	2,97
C43	20	60	236	1,00	0,28
C44,C45,C49,C50	25	60	392	4,00	2,35
C46	20	60	306	1,00	0,37
C47	20	40	157	1,00	0,13
C48	25	60	315	1,00	0,47
C51	20	60	306	1,00	0,37
Consumo de concreto total + 10% (m³)					26,43

Fonte: Autoria própria (2022)

O volume de forma gasto foi de 215,66 m². Para a armação das vigas baldrames foram utilizados dois tipos de aço. O CA50 ($f_{yk} = 5000\text{kg/cm}^2$) e o CA60 ($f_{yk} = 6000\text{kg/cm}^2$), a partir disso e do dimensionamento do baldrame, resultou em 2896 kg de aço gasto para a execução do baldrame.

Tabela 18 - Resumo da massa total de aço utilizada nas vigas baldrame

RESUMO AÇO - BALDRAME			
Aço	Diametro (mm)	Comprimento Total (m)	Peso (kg)
CA60	5,0	1623,6	250
CA50	6,3	2063,2	506
CA50	8,0	483,6	191
CA50	10,0	736,3	455
CA50	12,5	623,7	601
CA50	16,0	724	1143
Massa total CA50 (kg)			2896

Fonte: Autoria própria (2022)

Para a escavação utilizou-se como parâmetro a mesma proporção que seria utilizada de concreto para a concretagem, isto é, 26,43 m³ de solo escavado para a execução das vigas baldrame.

Tabela 19 - Resumo quantitativo para as vigas baldrame

RESUMO - VIGAS BALDRAME			
Material/serviço		Custo unitário	Custo total
Concreto (m ³)	26,43	R\$ 642,69	R\$ 16.986,30
Aço (kg)	3146,00	R\$ 24,89	R\$ 78.303,94
Escavação (m ³)	26,43	R\$ 48,61	R\$ 1.284,76
Forma (m ²)	215,66	R\$ 144,48	R\$ 31.158,56
Custo total para execução das vigas baldrame			R\$ 127.733,56

Fonte: Autoria própria (2022)

- **Resumo da fundação do modelo em alvenaria estrutural**

A Tabela 20 visa facilitar a comparação do gasto com a fundação para os dois métodos construtivos, reunindo em uma única tabela todos esses gastos.

Tabela 20 - Resumo quantitativo da fundação do modelo em concreto armado

RESUMO - FUNDAÇÃO (ALVENARIA ESTRUTURAL)	
Fase construtiva	Total materiais e serviços
Estacas	R\$ 141.404,86
Blocos de coroamento	R\$ 32.488,45
Vigas baldrame	R\$ 127.733,56
Custo total para execução da fundação do modelo em alvenaria estrutural	R\$ 301.626,86

Fonte: Autoria própria (2022)

6.1.2 Fundação do Modelo em Concreto Armado

O quantitativo da fundação do modelo em concreto armado foi realizado de forma separada para cada etapa construtiva, isto é, estacas, bloco de coroamento e vigas baldrame. E posteriormente foi apresentado o resumo final do quantitativo da fundação.

- **Estacas**

Foi feito o dimensionamento da estrutura do edifício em concreto armado, com auxílio do software TQS Informática LTDA v.23, obtendo as cargas que cada pilar contribui para a fundação, a fim de calcular os parâmetros das estacas. A Tabela 21, contempla esses dados.

Tabela 21 - Esforço que cada pilar distribui para a fundação

Pilares	Esforços (tf)	Esforços (kN)
P1	70,31	689,50
P2	70,39	690,29
P3	51,33	503,37
P4	66,69	654,00
P5	68,10	667,83
P6	51,04	500,53
P7	63,28	620,56
P8	63,61	623,80
P9	103,53	1015,28
P10	101,72	997,53
P11	107,64	1055,58
P12	101,41	994,49
P13	58,23	571,04
P14	63,11	618,89
P15	57,07	559,66
P16	58,25	571,23
P17	112,02	1098,54
P18	87,50	858,08
P19	102,98	1009,88
P20	54,87	538,09
P21	64,81	635,57
P22	60,87	596,93
P23	55,63	545,54
P24	62,80	615,85
P25	53,26	522,30
P26	58,10	569,76
P27	100,70	987,52
P28	98,24	963,40
P29	59,09	579,47
P30	34,03	333,72
P31	36,12	354,21
P32	50,97	499,84
P33	51,18	501,90
P34	68,80	674,69
P35	68,58	672,54

Fonte: Autoria própria (2023)

Para o cálculo das estacas, foi analisado primeiramente o relatório de sondagem da área de implantação do empreendimento (Figura 26). Com isso, foi feita a análise da resistência do solo, a partir dos modelos de Décourt-Quaresma e Aoki-Velloso, chegando nos diâmetros, profundidade e quantidade de estacas para cada pilar do edifício.

Todo cálculo foi feito para estacas de 25 cm de diâmetro, obtendo como solução estrutural 99 estacas, alterando as profundidades e quantidades para cada pilar a fim de atingir a resistência desejada. A Tabela 22 apresenta o resultado dos cálculos.

Tabela 22 - Resultado do dimensionamento das estacas

Pilares	Estaca de 25cm	
	Qtde	Profundidade
P1	3	15
P2	3	15
P3	2	17
P4	3	13
P5	3	13
P6	2	17
P7	3	13
P8	3	13
P9	3	21
P10	3	21
P11	3	22
P12	3	21
P13	3	13
P14	3	13
P15	3	13
P16	3	13
P17	3	22
P18	3	19
P19	3	21
P20	3	13
P21	3	13
P22	3	13
P23	3	13
P24	3	13
P25	3	13
P26	3	13
P27	3	21
P28	3	21
P29	3	13
P30	2	13
P31	2	13
P32	2	17
P33	2	17
P34	3	14
P35	3	14

Fonte: Autoria própria (2023)

A partir disso, foi possível obter a massa de aço e o volume de concreto utilizados, bem como a quantidade de solo a ser escavado em metros pela perfuratriz.

Para obter o volume gasto de concreto, o resultado foi acrescido em 10% para contabilizar também as perdas do processo, resultando em 83,86 m³ de concreto.

Tabela 23 - Resumo do volume gasto de concreto para as estacas

Pilares	Estaca de 25cm		
	Qtde	Profundidade	Concreto (m ³)
P1	3	15	2,43
P2	3	15	2,43
P3	2	17	1,84
P4	3	13	2,11
P5	3	13	2,11
P6	2	17	1,84
P7	3	13	2,11
P8	3	13	2,11
P9	3	21	3,40
P10	3	21	3,40
P11	3	22	3,56
P12	3	21	3,40
P13	3	13	2,11
P14	3	13	2,11
P15	3	13	2,11
P16	3	13	2,11
P17	3	22	3,56
P18	3	19	3,08
P19	3	21	3,40
P20	3	13	2,11
P21	3	13	2,11
P22	3	13	2,11
P23	3	13	2,11
P24	3	13	2,11
P25	3	13	2,11
P26	3	13	2,11
P27	3	21	3,40
P28	3	21	3,40
P29	3	13	2,11
P30	2	13	1,40
P31	2	13	1,40
P32	2	17	1,84
P33	2	17	1,84
P34	3	14	2,27
P35	3	14	2,27
Consumo de concreto total + 10% (m³)			83,86

Fonte: Autoria própria (2023)

Todas as estacas apresentam ferragens de 6 metros. A massa total de aço CA50 utilizada nas estacas resultou em 4241,16 kg, conforme a Tabela 24.

Tabela 24 - Resumo da massa total de aço utilizada nas estacas

LISTA DE BARRAS - ESTACAS						
Aço	Diâmetro (mm)	Quantidade	Comprimento da unidade (m)	Comprimento total (m)	kg/m	Massa Parcial
CA50	6,3	99	18,84	1865,16	0,245	456,96
CA50	16,0	396	6	2376,00	1,578	3749,33
Massa total CA50 (kg)						4241,16

Fonte: Autoria própria (2023)

Além desses quantitativos é preciso quantificar também a quantidade de solo escavado em metros para obter o custo da perfuratriz.

Tabela 25 - Resumo do metro linear a ser escavado para as estacas

PERFURATRIZ PARA EXECUÇÃO DE ESTACA HELICE CONTÍNUA (Ø25cm)		
Profundidade (m)	Quantidade (unid.)	Solo a ser escavado (m)
13	52	676,000000
14	6	84,000000
15	6	90,000000
17	8	136,000000
19	3	57,000000
21	18	378,000000
22	6	132,000000
Quantidade de metros de solo a ser escavado (m)		1708,3

Fonte: Autoria própria (2023)

Para facilitar o entendimento do quantitativo, foi elaborado o resumo a seguir. Os custos foram obtidos a partir da tabela SINAP (2022).

Tabela 26 - Resumo quantitativo para estacas

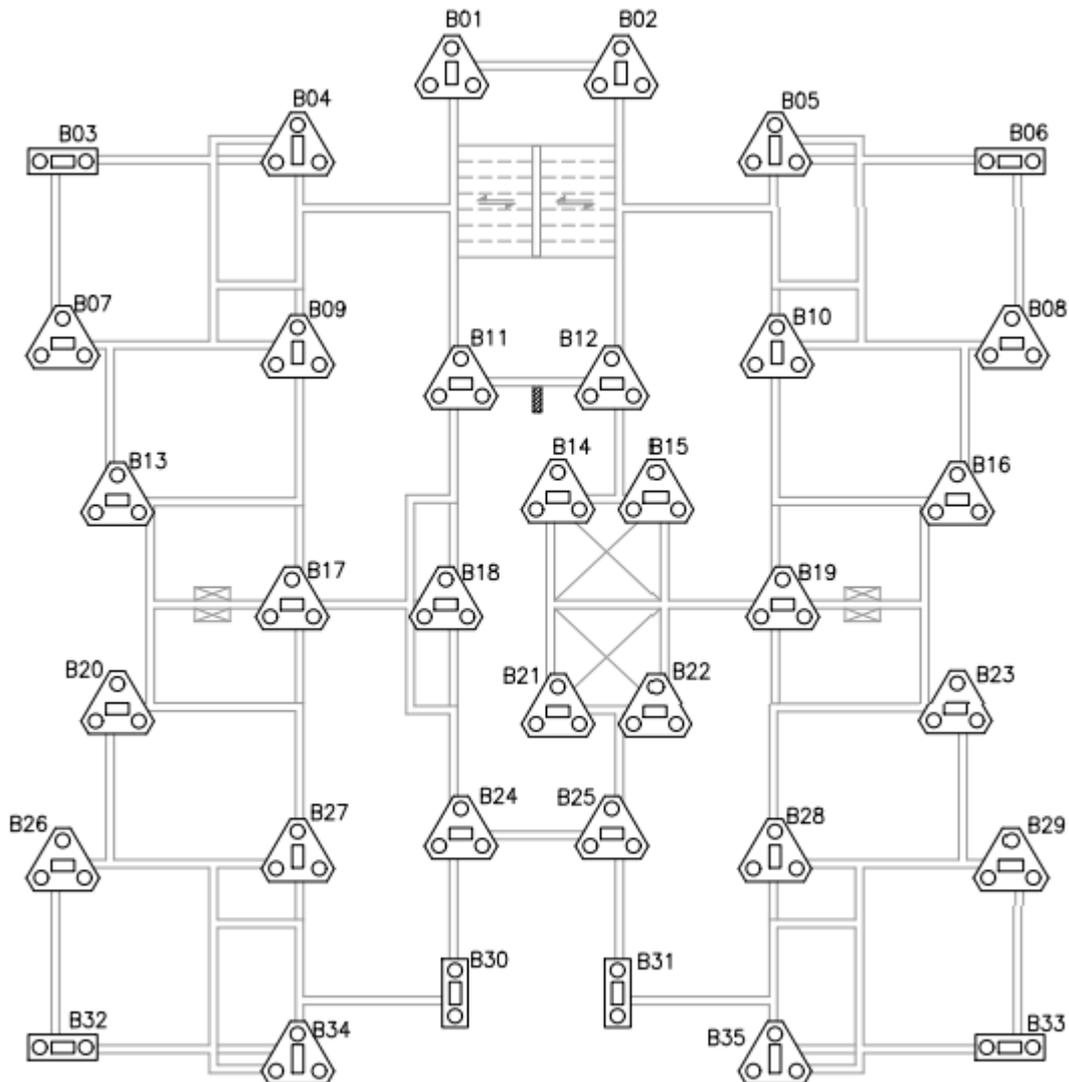
RESUMO - ESTACAS			
Material/serviço		Custo unitário	Custo total
Concreto [m³]	83,86	R\$ 533,53	R\$ 44.739,68
Aço [kg]	4241,16	R\$ 16,60	R\$ 70.403,26
Perfuratriz [m]	1708,30	R\$ 39,60	R\$ 67.648,68
Custo total para execução das estacas			R\$ 182.791,62

Fonte: Autoria própria (2023)

- **Blocos de coroamento**

A fundação do modelo em concreto armado é composta por 35 blocos de coroamento, sendo 6 blocos de duas estacas e 29 blocos de 3 estacas, a Figura 30, apresenta a locação das estacas.

Figura 30 - Locação de estacas do modelo em concreto armado



Fonte: Autoria própria (2023)

Foi feito, então, o cálculo do consumo de concreto, totalizando um volume teórico para cada bloco de aproximadamente $0,43 \text{ m}^3$ para os blocos de 2 estacas e $0,77 \text{ m}^3$ para os blocos de 3 estacas. Objetivando incluir no quantitativo as perdas no processo de concretagem, o volume obtido foi acrescido em 10%, resultando em $27,42 \text{ m}^3$, conforme pode-se observar na Tabela 27.

Tabela 27 - Consumo de concreto para os blocos de coroamento

CONSUMO DE CONCRETO - BLOCO DE COROAMENTO			
Tipo de bloco	Concreto teórico de de um bloco (m³)	Quantidade (unidade)	Concreto teórico total (m³)
Bloco de 2 estacas	0,43	6	2,57
Bloco de 3 estacas	0,77	29	22,35
Consumo de concreto total + 10% (m³)			27,42

Fonte: Autoria própria (2022)

Além disso foi calculada a quantidade de forma necessária para a concretagem dos blocos de coroamento, resultando em 97,77 m².

Tabela 28 - Resumo do consumo de formas para os blocos de coroamento

RESUMO FORMAS - BLOCO DE COROAMENTO			
Tipo de bloco	Forma (m²)	Quantidade de blocos (unid.)	Total (m²)
Bloco de 2 estacas	2,22	6	13,32
Bloco de 3 estacas	2,91	29	84,45
Consumo total de formas (m²)			97,77

Fonte: Arquivo pessoal (2022)

Foi possível, então, obter a massa do aço utilizado para a armadura do bloco de coroamento, resultando em 1154,63 kg (aço CA50).

Tabela 29 - Resumo da massa total de aço utilizada nos blocos de coroamento

RESUMO AÇO CA50 - BLOCO DE COROAMENTO					
Tipo de bloco	Diametro (mm)	Comprimento por bloco (m)	Quantidade de blocos (unid.)	Total (m)	Peso (kg)
Bloco de 2 estacas	8	43,97	6	263,82	104,2089
	12,5	5,37	6	32,22	31,02786
	16	8,95	6	53,7	84,7386
Bloco de 3 estacas	8	9,12	29	264,48	104,47
	10	37,08	29	1075,32	663,47
	16	8,45	29	245,05	386,69
Massa total CA50 (kg)					1154,63

Fonte: Autoria própria (2022)

Para a escavação utilizou-se como parâmetro a mesma proporção que seria utilizada de concreto para a concretagem, isto é, 27,42 m³ de solo escavado para a execução dos blocos.

Para facilitar o entendimento do quantitativo, foi elaborado o resumo a seguir. Os custos foram obtidos a partir da tabela SINAP (2022).

Tabela 30 - Resumo quantitativo para os blocos de coroamento

RESUMO - BLOCOS DE COROAMENTO			
Material/serviço		Custo unitário	Custo total
o (m³)	27,42	R\$ 642,69	R\$ 17.621,89
(kg)	1154,63	R\$ 16,60	R\$ 19.166,87
Escavação (m³)	27,42	R\$ 48,61	R\$ 1.332,89
l (m²)	97,77	R\$ 144,48	R\$ 14.125,52
Custo total para execução dos blocos de coroamento			R\$ 52.247,17

Fonte: Autoria própria (2022)

- **Vigas baldrame**

O quantitativo das vigas baldrame foi estimado a partir da planta de fundação apresentada na Figura 30.

O consumo de concreto encontrado também foi acrescido em 10% para contar as perdas na concretagem. Resultando em 14,74 m³.

Para a armação das vigas baldrames foram utilizados dois tipos de aço. O CA50 ($f_{yk} = 5000\text{kg/cm}^2$) e o CA60 ($f_{yk} = 6000\text{kg/cm}^2$), a partir disso e do dimensionamento do baldrame, resultou em 1416 kg de aço gasto para a execução do baldrame.

Tabela 31 - Resumo da massa total de aço utilizada nas vigas baldrame

RESUMO AÇO - BALDRAME			
Aço	Diametro (mm)	Comprimento (m)	Peso (kg)
CA50	6,3	63	16,00
CA50	8,0	6,00	3,00
CA50	10,0	1073,00	661,00
CA50	12,5	263,00	255,00
CA50	16,0	173,00	275,00
CA50	20,0	19,00	47,00
CA60	5,0	1032,00	159,00
Massa total CA50 (kg)			1257,00
Massa total CA60 (kg)			159,00

Fonte: Autoria própria (2022)

Para a escavação utilizou-se como parâmetro a mesma proporção que seria utilizada de concreto para a concretagem, isto é, 14,74 m³ de solo escavado para a execução das vigas baldrame.

Além disso, foi calculado o consumo de 192,32 m² de formas.

Tabela 32 - Resumo quantitativo para as vigas baldrame

RESUMO - VIGAS BALDRAME			
Material/serviço		Custo unitário	Custo total
Concreto (m ³)	14,74	R\$ 642,69	R\$ 9.473,25
Aço (kg)	1416,00	R\$ 24,89	R\$ 35.244,24
Escavação (m ³)	14,74	R\$ 48,61	R\$ 716,51
Forma (m ²)	192,32	R\$ 144,48	R\$ 27.786,39
Custo total para execução das vigas baldrame			R\$ 73.220,40

Fonte: Autoria própria (2022)

- **Resumo da fundação do modelo em alvenaria estrutural**

A Tabela 33 visa facilitar a comparação do gasto com a fundação para os dois métodos construtivos, reunindo em uma única tabela todos esses gastos e seu valores unitários e totais.

Tabela 33 - Resumo quantitativo da fundação do modelo em concreto armado

RESUMO - FUNDAÇÃO (CONCRETO ARMADO)	
Fase construtiva	Total materiais e serviços
Estacas	R\$ 182.791,62
Blocos de coroamento	R\$ 52.247,17
Vigas baldrame	R\$ 73.220,40
Custo total para execução da fundação do modelo em concreto armado	R\$ 308.259,19

Fonte: Autoria própria (2022)

6.2 ESTRUTURA

A estrutura, mas conhecida como superestrutura, apresenta significativas diferenças em relação a cada um dos métodos construtivos escolhidos. Alguns dos materiais quantificados não são semelhantes, desta forma, a análise comparativa foi realizada apenas comparando os valores finais do orçamento. Por exemplo, o processo construtivo em alvenaria estrutural não tem gastos com formas, por outro lado, o custo com blocos estruturais é alto.

Todos os elementos estruturais que se repetirem nos dois métodos construtivos não serão considerados no quantitativo, como por exemplo, as lajes treliçadas.

6.2.1 Estrutura em Alvenaria Estrutural

O quantitativo da estrutura do modelo em alvenaria estrutural foi realizado de forma separada para cada componente, isto é, blocos estruturais, aço, graute e argamassa de assentamento. E posteriormente foi apresentado o resumo final do quantitativo da estrutura.

- **Blocos estruturais de concreto**

A estrutura em alvenaria estrutural é formada por blocos estruturais de concreto de modulação da família 39. A Tabela 34 apresenta a quantidade utilizada de cada tipo de bloco para a composição de um pavimento. Foi considerado uma quantidade 10% maior para contabilizar as perdas no processo.

Tabela 34 - Blocos estruturais de concreto para 1 pavimento

14x19x34	14x19x39	14x19x54	14x19x19	14x19x14	14x19x9	14x19x4	Canaleta (14x19x19)
1053	3513	209	325	40	154	365	1557

Fonte: Autoria própria (2022)

Os blocos não são iguais em todos os pavimentos, pois cada pavimento apresenta uma solicitação diferente. Os pavimentos mais próximos a fundação apresentam solicitações maiores que os que estão próximos ao topo do edifício. Escolheu-se dividir a estrutura em três partes. Onde os pavimentos 1 e 2 possuem blocos com resistência igual a 8 Mpa; os pavimentos 3 e 4 possuem blocos com resistência equivalente a 6 Mpa e, por fim, os pavimentos de 5 a 8 apresentam blocos com resistência de 4,5 Mpa. Como pode ser observado na Figura 31.

Figura 31 - Corte esquemático da estrutura da edificação

COBERTURA			
CAIXA D'ÁGUA			
fpk \geq 3.6MPa		fbk \geq 4.5MPa	
fak \geq 3.2MPa		fgk \geq 15.0MPa	
fpk \geq 3.6MPa	fbk \geq 4.5MPa	fak \geq 3.2MPa	fgk \geq 15.0MPa
8° PAVTO			
fpk \geq 3.6MPa	fbk \geq 4.5MPa	fak \geq 3.2MPa	fgk \geq 15.0MPa
7° PAVTO			
fpk \geq 3.6MPa	fbk \geq 4.5MPa	fak \geq 3.2MPa	fgk \geq 15.0MPa
6° PAVTO			
fpk \geq 3.6MPa	fbk \geq 4.5MPa	fak \geq 3.2MPa	fgk \geq 15.0MPa
5° PAVTO			
fpk \geq 4.8MPa	fbk \geq 6.0MPa	fak \geq 4.2MPa	fgk \geq 15.0MPa
4° PAVTO			
fpk \geq 4.8MPa	fbk \geq 6.0MPa	fak \geq 4.2MPa	fgk \geq 15.0MPa
3° PAVTO			
fpk \geq 6.4MPa	fbk \geq 8.0MPa	fak \geq 5.6MPa	fgk \geq 16.0MPa
2° PAVTO			
fpk \geq 6.4MPa	fbk \geq 8.0MPa	fak \geq 5.6MPa	fgk \geq 16.0MPa
1° PAVTO			

Fonte: Arquivo pessoal (2022)

Onde:

- fpk: resistência do prisma
- fbk: resistência do bloco de concreto estrutural
- fak: resistência da argamassa (\geq 70% do fbk)
- fgk: resistência do graute

Desta forma, realizou-se o quantitativo dos blocos para cada pavimento, conforme representado na Tabela 35.

Tabela 35 - Blocos estruturais de concreto para todo o edifício

Pavimentos	Resistência do bloco	14x19x34	14x19x39	14x19x54	14x19x19	14x19x14	14x19x9	14x19x4	Canaleta (14x19x19)
1 e 2	8 MPa	2106	7026	418	650	80	308	730	3114
2 e 4	6 Mpa	2106	7026	418	650	80	308	730	3114
5 a 8	4,5 Mpa	4212	14052	836	1300	160	616	1460	6228

Fonte: Autoria própria (2022)

Com isso, foi possível obter o custo dos blocos.

Tabela 36 - Custo dos blocos estruturais de concreto para todo o edifício

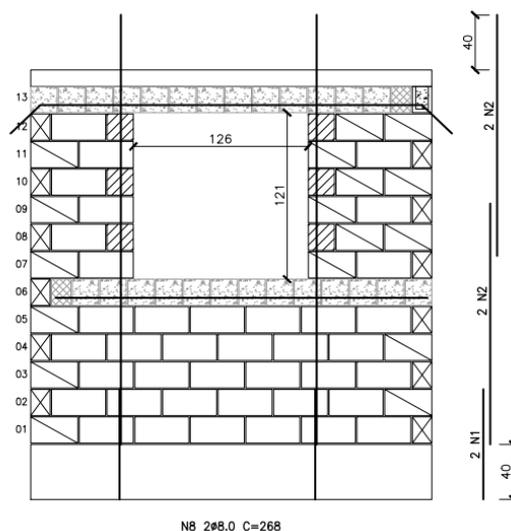
	Blocos de 8 Mpa			Blocos de 6 Mpa			Blocos de 4,5 Mpa		
	Quantidade	Custo unitário	Custo	Quantidade	Custo unitário	Custo total	Quantidade	Custo unitário	Custo total
14x19x34	2106	R\$ 3,90	R\$ 8.213,40	2106	R\$ 3,70	R\$ 7.792,20	4212	R\$ 3,65	R\$ 15.373,80
14x19x39	7026	R\$ 4,28	R\$ 30.071,28	7026	R\$ 4,08	R\$ 28.666,08	14052	R\$ 3,99	R\$ 56.067,48
14x19x54	418	R\$ 5,54	R\$ 2.315,72	418	R\$ 5,34	R\$ 2.232,12	836	R\$ 5,29	R\$ 4.422,44
14x19x19	650	R\$ 3,54	R\$ 2.301,00	650	R\$ 3,34	R\$ 2.171,00	1300	R\$ 3,29	R\$ 4.277,00
14x19x14	80	R\$ 3,24	R\$ 259,20	80	R\$ 3,04	R\$ 243,20	160	R\$ 2,99	R\$ 478,40
14x19x9	308	R\$ 2,94	R\$ 905,52	308	R\$ 2,74	R\$ 843,92	616	R\$ 2,69	R\$ 1.657,04
14x19x4	730	R\$ 2,04	R\$ 1.489,20	730	R\$ 1,84	R\$ 1.343,20	1460	R\$ 1,79	R\$ 2.613,40
Canaleta (14x19x19)	3114	R\$ 3,54	R\$ 11.023,56	3114	R\$ 3,34	R\$ 10.400,76	6228	R\$ 3,29	R\$ 20.490,12
	Total		R\$ 56.578,88	Total		R\$ 53.692,48	Total		R\$ 105.379,68

Fonte: Autoria própria (2022)

- **Aço**

O quantitativo do aço foi feito com base no dimensionamento da estrutura do edifício. Foi contabilizado o aço utilizado nos como armadura dos pontos de graute e nas vergas, contravergas e canaletas. Para melhor exemplificar, na Figura 32 está representado o detalhamento de uma das paredes.

Figura 32 - Elevação esquemática de uma das paredes dos apartamentos



Fonte: Arquivo pessoal (2022)

A partir da Figura 32, é possível observar o uso do aço para os pontos de graute e para as vergas e contravergas da janela. O aço de toda estrutura foi contabilizado e o resultado está disposto na Tabela 37.

Tabela 37 - Quantitativo do aço

RESUMO AÇO			
Aço	Diametro (mm)	Comprimento Total (m)	Peso (kg)
CA50	8,0	4960,00	1952
CA50	10,0	1952,00	2120
Massa total CA50 (kg)			4072
Custo unitário			R\$ 11,21
Custo total			R\$ 45.647,12

Fonte: Aatoria própria (2022)

- **Graute**

O graute é uma argamassa composta por cimento, areia, quartzo, água e aditivos especiais, que tem como destaque sua elevada resistência mecânica. Na alvenaria estrutural, os pontos de graute funcionam como os pilares do modelo em concreto armado, além disso, o graute é utilizado também para concretar as canaletas, vergas e contravergas. A Tabela 38 representa o quantitativo do graute utilizado para todo o edifício, foi acrescentado 10% para contabilizar as perdas.

Tabela 38 - Quantitativo do graute

RESUMO GRAUTE				
Pavimentos	Graute (m³)	Resistência (MPa)	Custo unitário	Custo total
1 e 2	16,40	16,0	R\$ 994,68	R\$ 16.312,75
3 a 8	49,2	15,0	R\$ 828,87	R\$ 40.780,40
Custo total do grout da estrutura				R\$ 57.093,16

Fonte: Aatoria própria (2022)

- **Argamassa de assentamento**

A argamassa de assentamento é o material utilizado para fazer a ligação entre os blocos estruturais. No processo construtivo em alvenaria estrutural, a argamassa faz parte da estrutura, sendo assim, é necessário que apresente uma resistência controlada. Nesse caso, escolheu-se utilizar a argamassa pré-fabricada, pois garante esse controle. Da mesma forma que a resistência dos blocos é alterado para diferentes pavimentos, a argamassa de assentamento segue o mesmo.

Estimou-se o gasto de 2,73 m³ de argamassa por pavimento, assumindo que o preenchimento será feito apenas na área efetiva do bloco (Figura 12), contabilizando também as juntas verticais. Como a área total de um pavimento equivale a aproximadamente 232 m², o gasto de argamassa estimado foi de 11,8 L/m² de área construída. A Tabela 39 representa o quantitativo da argamassa de assentamento.

Tabela 39 - Quantitativo da argamassa de assentamento

RESUMO ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO				
Pavimentos	Argamassa de assentamento (m ³)	Resistência (MPa)	Custo unitário	Custo total
1 e 2	5,46	5,6	R\$ 484,97	R\$ 2.647,94
3 e 4	5,46	4,2	R\$ 483,85	R\$ 2.641,82
5 a 8	10,92	3,2	R\$ 465,56	R\$ 5.083,92
Custo total de argamassa de assentamento				R\$ 10.373,67

Fonte: Autoria própria (2022)

- **Resumo da estrutura do modelo em alvenaria estrutural**

A Tabela 40 visa facilitar a comparação do gasto com a estrutura para os dois métodos construtivos, reunindo em uma única tabela todos esses gastos e seu valores unitários e totais.

Tabela 40 - Resumo quantitativo da estrutura do modelo em alvenaria estrutural

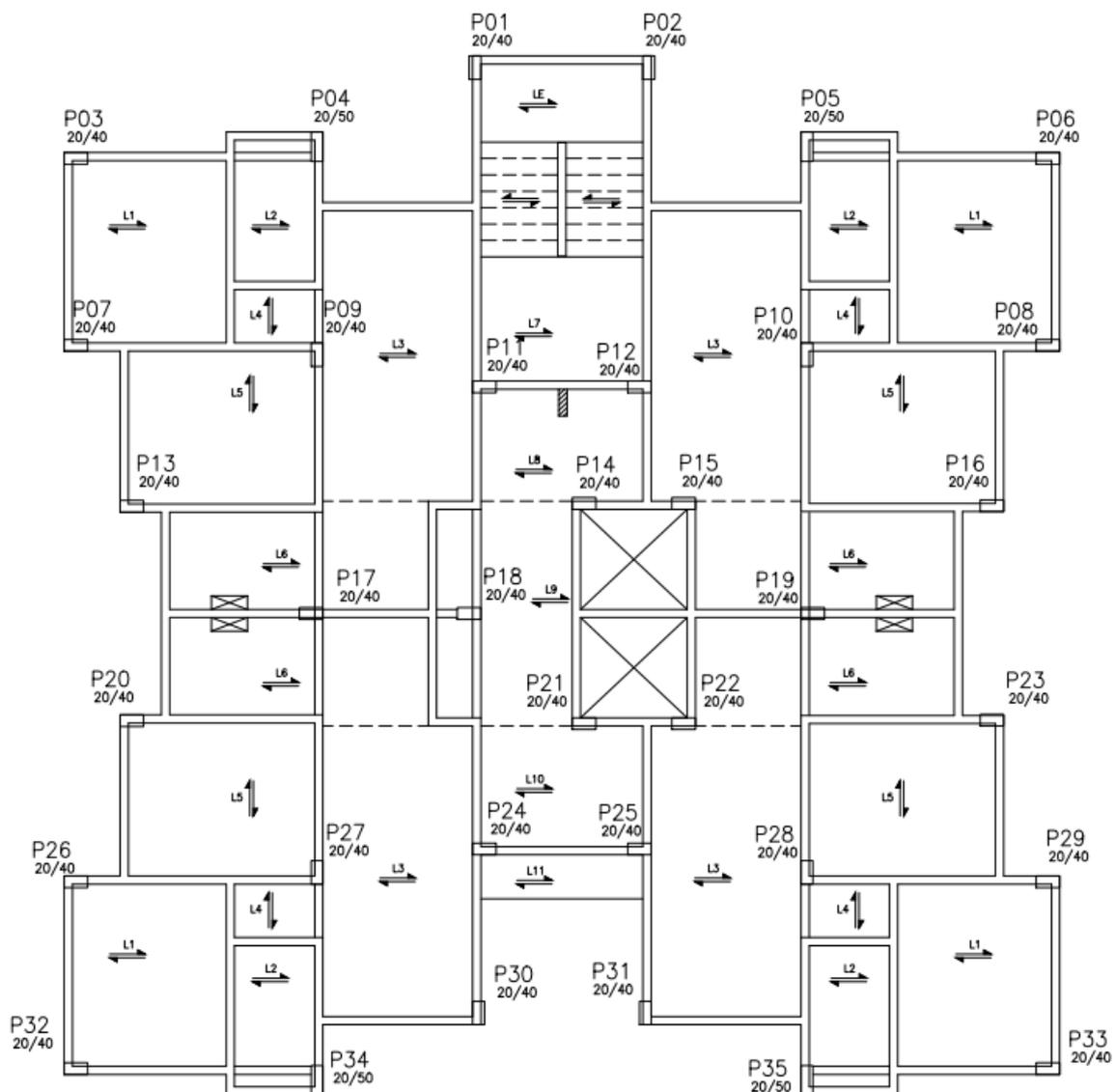
RESUMO - ESTRUTURA (ALVENARIA ESTRUTURAL)	
Material	Total materiais e serviços
Blocos de concreto	R\$ 215.651,04
Aço	R\$ 45.647,12
Graute	R\$ 57.093,16
Argamassa de assentamento	R\$ 10.373,67
Custo total para execução da estrutura do modelo em alvenaria estrutural	R\$ 328.764,99

Fonte: Autoria própria (2022)

6.2.2 Estrutura em Concreto Armado

A estrutura em concreto armado é composta por 31 pilares 20x40cm, 4 pilares 20x50cm e 55 vigas 14x50. A Figura 33 representa a planta de pilares para melhor compreensão dos elementos estruturais analisados.

Figura 33 - Planta de pilares



Fonte: Autoria própria (2022)

A partir das tabelas geradas pelo software TQS Informática LTDA v.23, foi possível realizar o quantitativo dos materiais utilizados. A seguir estão dispostos os quantitativos.

- **Concreto**

O resultado do volume de concreto para as vigas e pilares está representado na Tabela 41. O valor final foi acrescido em 10% para contabilizar as perdas.

Tabela 41 - Resumo do custo do concreto

Elemento estrutural	Volume de concreto por pavimento (m³)	Volume total de concreto (m³)
Pilares	7,83	62,64
Vigas	13,40	107,20
Volume total de concreto + 10%		186,82
Custo unitário		R\$ 422,96
Custo total		R\$ 79.019,08

Fonte: Autoria própria (2022)

- **Formas**

O resultado da área total de formas para as vigas e pilares está representado na Tabela 42. Foi considerado o aproveitamento de uma mesma forma para 3 pavimentos, desta forma, para obter a área total de formas, partiu-se da quantidade gasta para um pavimento e multiplicada por 3, desta forma, a quantidade de madeira orçada garantiria a execução de formas para até 9 pavimentos. Conforme visto anteriormente, a edificação modelo é composta por 8 pavimentos, sendo assim, o resultado já contabiliza as perdas do processo construtivo.

Tabela 42 - Resumo do custo das formas

Elemento estrutural	Área de formas por pavimento (m²)	Área total de formas (m²)
Pilares	116,42	349,26
Vigas	192,32	576,96
Área total de formas (mesma forma para 3 pavimentos)		926,22
Custo unitário		R\$ 72,75
Custo total		R\$ 67.382,51

Fonte: Autoria própria (2022)

- **Aço**

O quantitativo do aço dos pilares e das vigas foi obtido a partir do dimensionamento realizado no software TQS Informática LTDA v.23. Os resultados foram gerados e estão dispostos na Tabela 43 e Tabela 44 a seguir.

Tabela 43 - Quantitativo aço dos pilares

Aço	Diametro (mm)	Comprimento (m)	Peso (kg)
CA50	6,3	1052,00	266,00
CA50	10,0	4906,00	3028,00
CA50	12,5	419,00	402,00
CA50	16,0	383,00	606,00
CA50	20,0	205,00	505,00
CA60	5,0	8780,00	1352,00
Massa total CA50 (kg)			4807,00
Massa total CA60 (kg)			1352,00

Fonte: Autoria própria (2022)

Tabela 44 - Quantitativo aço das vigas

Aço	Diametro (mm)	Comprimento (m)	Peso (kg)
CA50	6,3	504	128,00
CA50	8,0	48,00	24,00
CA50	10,0	8584,00	5288,00
CA50	12,5	2104,00	2040,00
CA50	16,0	1384,00	2200,00
CA50	20,0	152,00	376,00
CA60	5,0	8256,00	1272,00
Massa total CA50 (kg)			10056,00
Massa total CA60 (kg)			1272,00

Fonte: Autoria própria (2022)

A partir deste quantitativo, foi possível obter o gasto relacionado à armadura do edifício.

Tabela 45 - Resumo do custo do aço

Aço	Diametro (mm)	Peso (kg)	Custo unitário	Custo total
CA50	6,3	394,00	R\$ 14,57	R\$ 5.740,58
CA50	8	24,00	R\$ 13,66	R\$ 327,84
CA50	10,0	8316,00	R\$ 12,15	R\$ 101.039,40
CA50	12,5	2442,00	R\$ 10,21	R\$ 24.932,82
CA50	16,0	2806,00	R\$ 9,86	R\$ 27.667,16
CA50	20,0	881,00	R\$ 11,24	R\$ 9.902,44
CA60	5,0	2624,00	R\$ 14,88	R\$ 39.045,12
Custo total da armadura				R\$ 169.610,24

Fonte: Autoria própria (2022)

- **Alvenaria de vedação**

A alvenaria de vedação foi orçada com a utilização de blocos cerâmicos furados, com as dimensões: 9 x 14 x 19 cm. Foi quantificada uma área de vedação de 1054,96 m² para todo o edifício, segundo a tabela SINAPI (dezembro/2022), o custo para esse tipo de serviço, considerando material e mão de obra é de R\$ 56,83/m². A Tabela 46 a seguir compreende os resultados.

Tabela 46 - Resumo do custo da alvenaria de vedação

ALVENARIA DE VEDAÇÃO		
Área de fechamento (m ²)	Custo unitário	Custo total
1054,96	R\$ 56,83	R\$ 59.953,38

Fonte: Autoria própria (2022)

- **Resumo da estrutura do modelo em concreto armado**

A Tabela 47 visa facilitar a comparação do gasto com a estrutura para os dois métodos construtivos, reunindo em uma única tabela todos esses gastos e seus valores unitários e totais.

Tabela 47 - Resumo quantitativo da estrutura do modelo em concreto armado

RESUMO - ESTRUTURA (CONCRETO ARMADO)	
Material	Total materiais e serviços
Concreto	R\$ 79.019,08
Formas	R\$ 67.382,51
Alvenaria de vedação	R\$ 59.953,38
Aço	R\$ 169.610,24
Custo total para execução da estrutura do modelo em concreto armado	R\$ 375.965,20

Fonte: Autoria própria (2022)

6.3 ANÁLISE COMPARATIVA

A análise comparativa foi subdividida em três partes. Primeiramente, os índices de consumo de materiais foram analisados com base nos índices médios de referência, encontrados nas tabelas: *Tabela 4*, *Tabela 5*, *Tabela 6*, *Tabela 7* e *Tabela 8*.

Posteriormente, foi avaliado de forma comparativa os custos e gastos de materiais dos sistemas de alvenaria estrutural e concreto armado

Por fim, foi realizada a comparação com outros trabalhos de pesquisa.

6.3.1 Comparativo dos índices médios de referência

Os índices de consumo abaixo indicados, representam apenas os materiais correspondentes ao sistema estrutural dos edifícios. A referência utilizada para a comparação fornece os índices calculados para um edifício com 5 pavimentos para o modelo de alvenaria estrutural e 4 pavimentos para o modelo em concreto armado.

- Alvenaria estrutural

A Tabela 48 representa a comparação do consumo de aço calculado neste trabalho com o índice de referência. Pode se observar que os valores encontrados são semelhantes.

Tabela 48 - Consumo e índices de armadura (paredes)

Área construída (m ²)	Aço (kg)	Consumo de aço (kg/m ²)	Índice de referência (kg/m ²)
1856.00	4072.00	2.194	2.19

Fonte: Autoria própria (2023)

A Tabela 49 Tabela 48 representa a comparação do consumo de graute calculado neste trabalho com o índice de referência. Pode se observar que os valores encontrados são próximos.

Tabela 49 - Consumo e índices de graute (paredes)

Área construída (m ²)	Graute (m ³)	Consumo de graute (m ³ /m ²)	Índice de referência (kg/m ²)
1856.00	65.60	0.035	0.032

Fonte: Autoria própria (2023)

- Concreto armado

A Tabela 50 Tabela 48 representa a comparação do consumo de aço calculado neste trabalho com o índice de referência.

Tabela 50 – Consumo e índices de armadura

Elemento estrutural	Área construída (m ²)	Aço (kg)	Consumo de aço (kg/m ²)	Índice de referência (kg/m ²)
Pilares	1856.00	6159.00	3.318	3.28
Vigas	1856.00	11328.00	6.103	2.84

Fonte: Autoria própria (2023)

Pode se observar que os valores encontrados para os pilares são próximos, mas para as vigas não. Isso ocorreu por conta do projeto arquitetônico, que foi feito para atender especificamente o modelo em alvenaria estrutural, possuindo assim paredes com muitos dentes, necessitando de uma quantidade atípica de vigas para o modelo em concreto armado.

A Tabela 51Tabela 50Tabela 48 representa a comparação do consumo de concreto calculado neste trabalho com o índice de referência.

Tabela 51 - Consumo e índices de concreto

Elemento estrutural	Área construída (m ²)	Concreto (m ³)	Consumo de concreto (m ³ /m ²)	Índice de referência (kg/m ²)
Pilares	1856.00	62.64	0.034	0.020
Vigas	1856.00	107.20	0.058	0.038

Fonte: Autoria própria (2023)

A Tabela 52Tabela 51Tabela 50Tabela 48 representa a comparação do consumo de forma calculado neste trabalho com o índice de referência.

Tabela 52 - Consumo e índices de forma

Elemento estrutural	Área construída (m ²)	Forma (m ²)	Consumo de forma (m ² /m ²)	Índice de referência (kg/m ²)
Pilares	1856.00	349.26	0.188	0.390
Vigas	1856.00	576.96	0.311	0.630

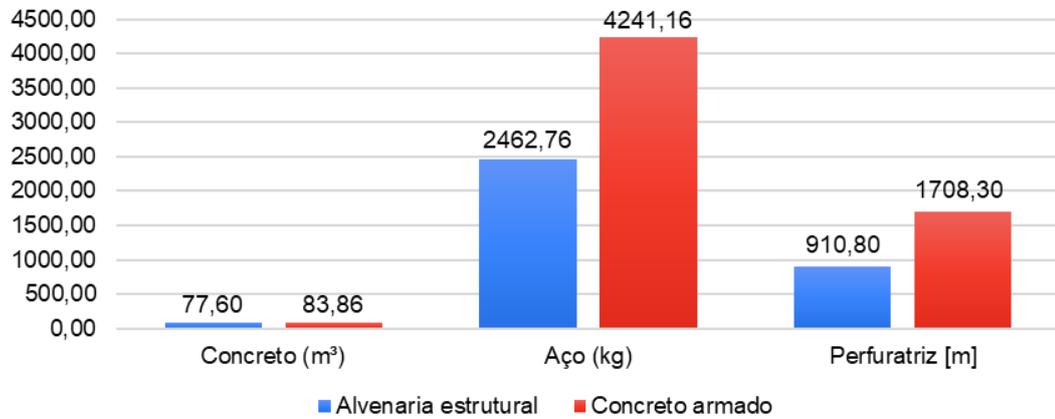
Fonte: Autoria própria (2023)

6.3.2 Comparativo entre os dois sistemas estruturais

Foram avaliados de forma comparativa os custos e gastos de materiais dos sistemas de alvenaria estrutural e concreto armado em duas etapas construtivas: fundação e estrutura.

- Fundação
 - Consumo de materiais

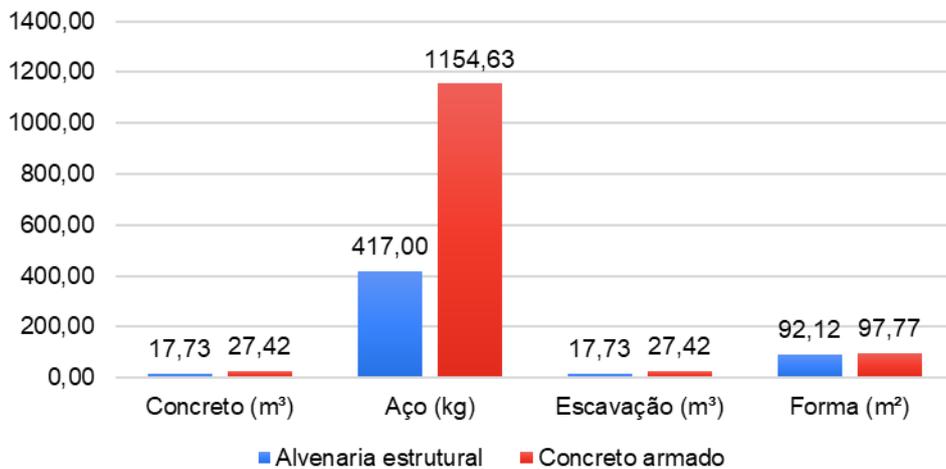
Gráfico 1 - Consumo de materiais (estacas)



Fonte: Autoria própria (2023)

Pode-se observar que o consumo de materiais para a execução das estacas foi maior para o modelo estrutural em concreto armado, visto que possui maior quantidade de estacas.

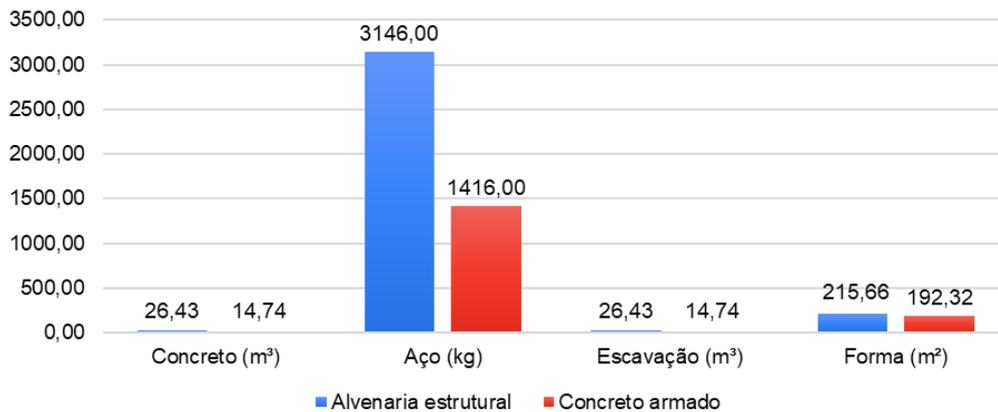
Gráfico 2 - Consumo de materiais (blocos de coroamento)



Fonte: Autoria própria (2023)

Observa-se que o consumo de materiais para a execução dos blocos de coroamento também foi maior para o modelo estrutural em concreto armado, devido ao tamanho dos blocos dimensionados, estes que recebem as maiores cargas, vindas dos pilares da edificação.

Gráfico 3 - Consumo de materiais (vigas baldrame)



Fonte: Autoria própria (2023)

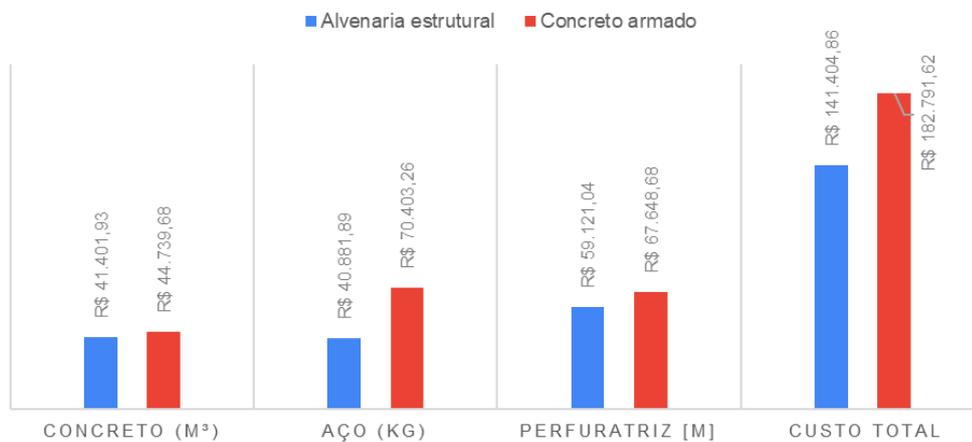
Já no caso das vigas baldrame, nota-se que o consumo de materiais para a sua execução foi maior para o modelo em alvenaria estrutural, isto ocorre devido a distribuição das cargas, que no caso do modelo em alvenaria estrutural, ocorre diretamente para as vigas baldrame, isto é, as cargas da edificação são distribuídas das paredes estruturais para as vigas baldrame e estas distribuem para os blocos de coroamento e, por fim, para as estacas.

- o Custos

A seguir estão representados os custos calculados para a fundação.

O Gráfico 4 representa o custo gasto para a execução das estacas para cada método construtivo. É possível observar uma vantagem econômica de 29% com a implantação do sistema em alvenaria estrutural.

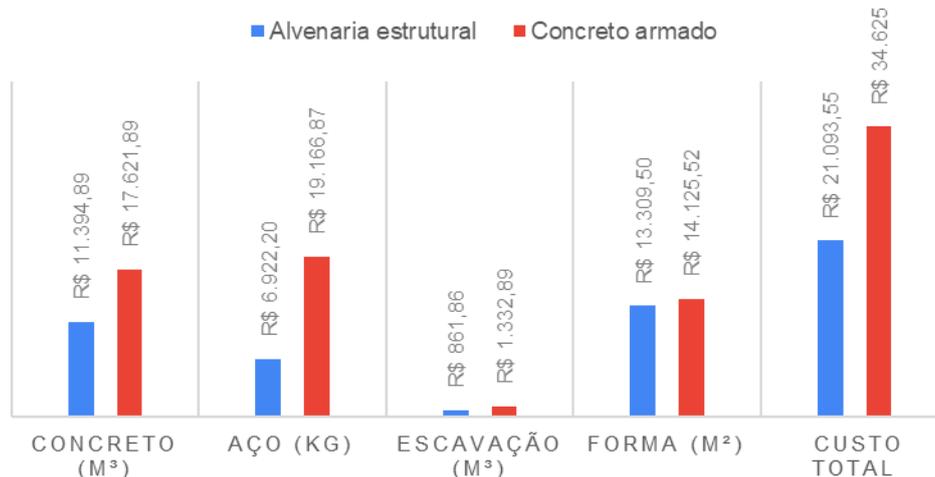
Gráfico 4 - Custo (estacas)



Fonte: Autoria própria (2023)

O Gráfico 5 representa o custo gasto para a execução dos blocos de coroamento para cada sistema estrutural. Verificou-se uma economia de 64%, na utilização do sistema em alvenaria estrutural.

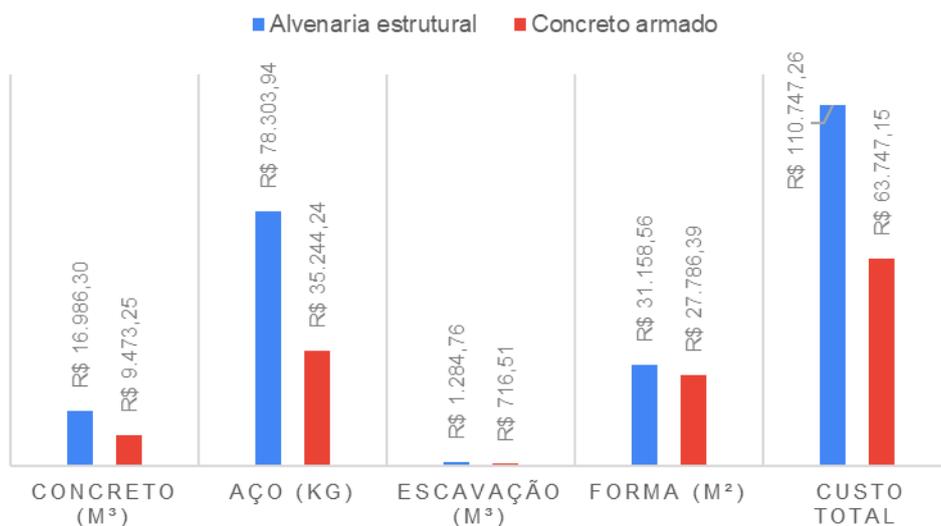
Gráfico 5 - Custos (blocos de coroamento)



Fonte: Autoria própria (2023)

O Gráfico 6 representa o custo da execução das vigas baldrame para cada sistema. Evidenciou, uma economia de aproximadamente 74% com a implantação do sistema em concreto armado.

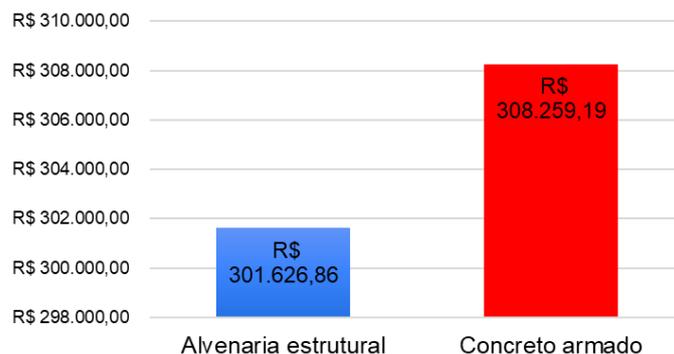
Gráfico 6 - Custo (vigas baldrame)



Fonte: Autoria própria (2023)

Para facilitar a análise do custo total da fundação, o Gráfico 7 reúne todos os gastos para a execução da fundação para cada sistema.

Gráfico 7 - Resumo dos custos para a fundação

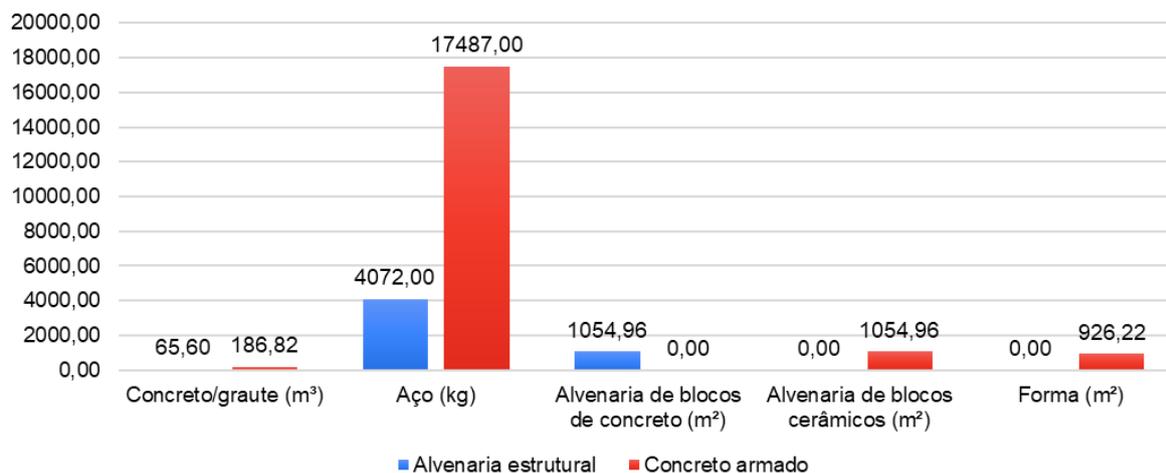


Fonte: Autoria própria (2023)

A partir desta análise foi possível obter um percentual de 2% a mais para a execução da fundação do modelo em concreto armado.

- Estrutura

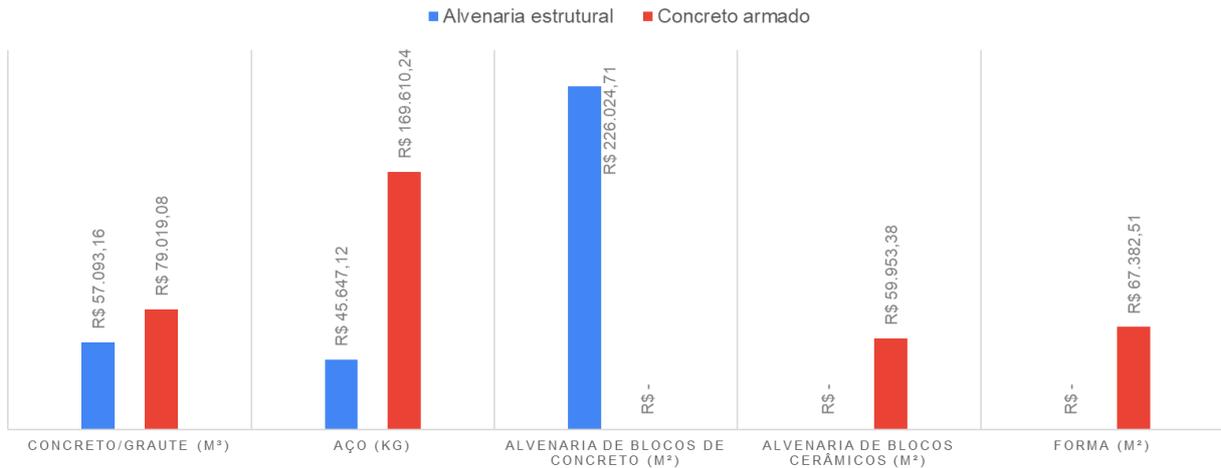
Gráfico 8 - Consumo de materiais (estrutura)



Fonte: Autoria própria (2023)

Nota-se, a partir desta análise que o consumo de concreto e aço é aproximadamente 3 vezes maior para o modelo em concreto armado, além do gasto em formas, que é inexistente para o modelo em alvenaria estrutural.

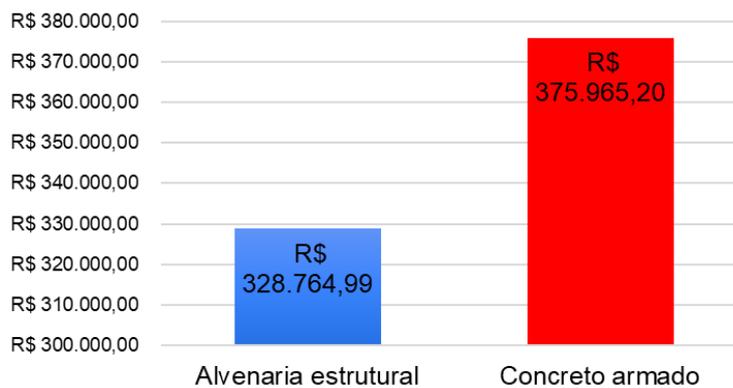
Gráfico 9 - Custo (estrutura)



Fonte: Autoria própria (2023)

Observa-se que essa diferença, no caso da comparação do custo do concreto/graute, fica menor, visto que o graute é mais caro que o concreto. Já o aço e as formas, é um custo relevante e que encarece muito o modelo em concreto armado. Porém, mediante ao custo elevado dos blocos estruturais, a diferença no custo total acaba diminuindo, como pode-se evidenciar no Gráfico 10.

Gráfico 10 - Resumo do custo (estrutura)

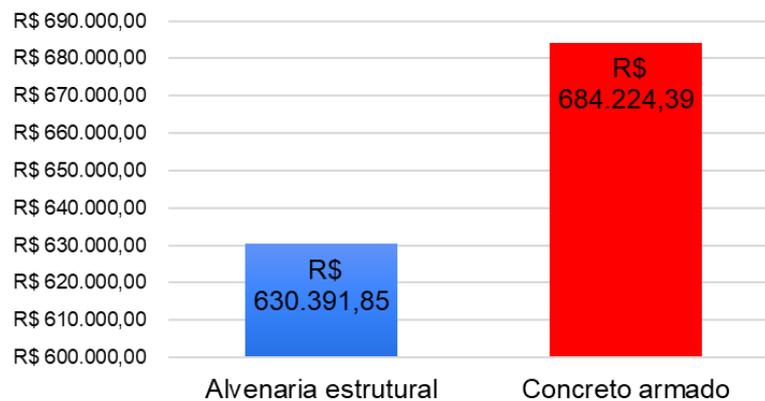


Fonte: Autoria própria (2023)

A partir desta análise foi possível obter um percentual de 9% a mais para a execução da estrutura do modelo em concreto armado.

- Custo total

Gráfico 11 - Resumo do custo



Fonte: Autoria própria (2023)

Para a execução de toda estrutura do edifício (fundação e estrutura) foi evidenciado um percentual de aproximadamente 14% a mais para a execução do modelo em concreto armado.

6.3.3 Comparativo com outros trabalhos de pesquisa

Nascimento (2012) apresenta um comparativo de custo entre os dois sistemas construtivos, para um estudo de caso, um edifício residencial de médio padrão com 18 pavimentos e 8.614 m² de área construída, localizado no interior do estado de São Paulo, com o projeto concebido em alvenaria estrutural e convertido para concreto armado. A partir do levantamento de dados, Nascimento (2012), chegou à conclusão de que o sistema em alvenaria estrutural se mostrou 12% mais vantajoso financeiramente que em concreto armado.

Marques (2022) realiza o mesmo comparativo para um empreendimento com 4 pavimentos, com seu projeto concebido em alvenaria estrutural e adaptado para concreto armado. Através da análise de orçamento do empreendimento, o autor verificou que o sistema em concreto armado apresentou um acréscimo na ordem de 11% acima do custo em alvenaria estrutural.

Beckenkamp (2013) fez a mesma comparação para um edifício de 5 pavimentos localizado no estado do Rio Grande do Sul. Com seu projeto concebido em concreto armado e adaptado para alvenaria estrutural. A autora verificou que a

adoção do projeto em alvenaria estrutural para o edifício modelo adotado, se traduziu em uma economia significativa de 13,88% nos custos com estrutura e vedação, quando comparado ao sistema tradicional em concreto armado.

Sendo assim, é possível perceber que o valor encontrado neste presente trabalho é semelhante aos resultados obtidos em outros estudos e pesquisas.

7 CONCLUSÕES

Neste estudo comparativo, foi possível obter o quantitativo dos materiais e os custos para a execução da fundação e estrutura de um edifício de 8 pavimentos, concebido em alvenaria estrutural e adaptado para concreto armado. Com o objetivo de obter o sistema estrutural mais vantajoso.

Para esse fim, primeiramente foi realizado um estudo mais aprofundado de cada sistema, foi escolhido o modelo a ser estudado, originalmente concebido em alvenaria estrutural e dimensionado para o sistema em concreto armado, com auxílio do software TQS Informática LTDA v.23. Por fim, após o dimensionamento, foi possível realizar o quantitativo dos materiais empregados e os custos a partir da tabela SINAPI (dezembro/2022), que contempla não só os materiais como também a mão de obra empregada para cada atividade.

Os quantitativos calculados foram analisados, a partir dos índices de consumo de referência da literatura, obtendo valores próximos, constatando que os resultados obtidos são fidedignos. Possibilitando assim uma comparação segura dos dados.

Sendo assim, confrontando os quantitativos de materiais e custos de cada sistema obteve-se uma economia no emprego do modelo em alvenaria estrutural de 2% para a fundação e 14% para a estrutura. Realizando a comparação com outros estudos foi possível observar que os resultados são próximos, de forma que o emprego do modelo em alvenaria estrutural para edifícios habitacionais de até 8 pavimentos é mais vantajoso economicamente.

É importante salientar que o presente trabalho não vem com o intuito de generalizar um resultado, mas de fornecer dados de referência para uma melhor escolha do sistema estrutural em termos de custo para edifícios semelhantes ao exemplo adotado.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Augusto Teixeira. **Análise de alternativas estruturais para edifícios em concreto armado**, 1999. 100 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-6118: Projeto de Estruturas de Concreto. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-16868-1. Alvenaria estrutural Parte 1: projeto. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-16868-2. Alvenaria estrutural Parte 2: execução e controle de obras. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-16868-3. Alvenaria estrutural Parte 3: métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2020.

BARBOSA, Claudius de Souza. **Comparação de índices de consumo entre alvenaria estrutural e concreto armado para edifícios baixos**, 2015. PROGESCON – Projeto, Gestão e Consultoria em Engenharia Ltda, 2015.

BECKENKAMP, Cláudia Maria. **Dimensionamento estrutural e análise comparativa de custos de um edifício de alvenaria estrutural versus concreto armado**, 2013. 189p. TCC (graduação) - Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, Santa Cruz do Sul, 2013.

BOTELHO, Manoel Henrique Campos; MARCHETTI, Osvaldemar. **Concreto Armado Eu te amo**. São Carlos: Edgard Blucher, 3ª ed., 2016, 424 p.

CAMACHO, Jefferson Sidney. **Projeto de Edifícios de Alvenaria Estrutural**, 2006. 48 p. Ilha Solteira, 2006.

CHING, Francis D. K.; ONOUYE, Barry S.; ZUBERBUHLER, Douglas. **Sistemas estruturais ilustrados: padrões, sistemas e projeto**. Porto Alegre: ARTMED, 1ª ed., 2010, 317 p.

FIGUEIRÓ, Wendell Oliveira. **Racionalização do Processo Construtivo de Edifícios em Alvenaria Estrutural**, 2009. 75 p. Monografia – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

FREIRE, Tomás Mesquita. **Produção de estruturas de concreto armado, moldadas in loco, para edificações**. 2001. 325 pág. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

NETO, Álvaro Pereira do Prado; PELUSO, Edgard de Oliveira; CARVALHO, Valdinei Tadeu Alves. **Alvenaria Estrutural**, 2015. 59p. TCC (graduação) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

GIONGO, José Samuel. **Concreto armado: projeto estrutural de edifícios**, 2017. 247p. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

MARQUES, Ronaldo Ayala. **Comparativo de custo e prazo entre sistema construtivo de alvenaria estrutural e concreto armado**, 2022. 72p. Monografia - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

NASCIMENTO, Renato F.. **Comparativo entre sistemas estruturais para edificações residenciais: alvenaria estrutural com blocos de concreto e concreto armado**, 2012. 70p. Monografia - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

NUNES, Claudio Cruz; JUNGES, Elisabeth. **Comparação de custo entre estrutura convencional em concreto armado e alvenaria estrutural de blocos de concreto para edifício residencial em Cuiabá-MT**, 2008. 11p. Engenharia Civil da Universidade Federal de Mato Grosso, Mato Grosso, 2008.

PARSEKIAN, G. A.; HAMID, A. A.; DRYSDALE, R. G. **Comportamento e dimensionamento de alvenaria estrutural**. São Carlos: EdUFSCAR, 1ª ed., 2012, 595 p.

PARSEKIAN, G. A.; WALLISON, A. M. **Parâmetros de projeto de alvenaria estrutural com blocos de concreto..** São Carlos: EdUFSCAR, 1ª ed., 2021, 145 p.

PINHEIRO, Libânio M. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios**. Notas de Aula - Universidade de São Carlos, São Carlos, 2010.

PORTO, Thiago Bomjardim; FERNANDES, Danielle Stefane Gualberto. **Curso Básico de Concreto Armado: conforme NBR 6118/2014**. São Paulo: Oficina de Textos, 1ª ed., 2015, 208 p.

PORTAL CONSTRUINDO CASAS. **Alvenaria estrutural: o que é e como fazer?** Disponível em: <<https://construindocasas.com.br/blog/construcao/alvenaria-estrutural/>>. Acesso em: 9 mar. 2022.

PORTAL EDUCACIONAL. **Elementos Estruturais**. Disponível em: <http://www.educacional.com.br/especiais/Niemeyer/includes/arqCalculos/arranhaceus_imprimir.asp?strTitulo=Arranha-c%E9us>. Acesso em: 9 mar. 2022.

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

VIEIRA, Geraldo. **Cálculo de concreto armado**. volume 1. Recife: Editora Universitária UFPE, 2003. 252 p.

