



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS PROFESSORA MARIA DA PENHA
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE – CCTS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

ALEXANDRE PIMENTA SANTOS

**ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTO DE UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL
DIMENSIONADO EM CONCRETO ARMADO E ALVENARIA ESTRUTURAL**

**ARARUNA-PB
2022**

ALEXANDRE PIMENTA SANTOS

ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTO DE UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL
DIMENSIONADO EM CONCRETO ARMADO E ALVENARIA ESTRUTURAL

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Programa de Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Estruturas.

Orientadora: Prof. MSc. Lays Raianne Azevedo da Costa.

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S238a Santos, Alexandre Pimenta.

Análise comparativa de custo de um edifício residencial dimensionado em concreto armado e alvenaria estrutural [manuscrito] / Alexandre Pimenta Santos. - 2022.

71 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências, Tecnologia e Saúde, 2022.

"Orientação : Profa. Ma. Lays Raianne Azevedo da Costa, Coordenação do Curso de Engenharia Civil - CCTS."

1. Análise estrutural. 2. Edifício. 3. Redução de custos. I.

Título

21. ed. CDD 624.171

ALEXANDRE PIMENTA SANTOS

ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTO DE UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL
DIMENSIONADO EM CONCRETO ARMADO E ALVENARIA ESTRUTURAL

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Programa de Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

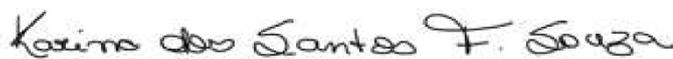
Aprovado em: 01 / 12 / 2022

BANCA EXAMINADORA



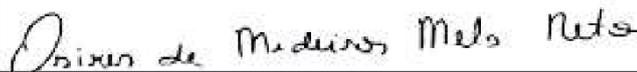
Prof. MSc. Lays Raianne Azevedo da Costa (Orientadora)

Universidade Federal da Paraíba (UFPB)



Prof. Bel. Karina dos Santos Fernandes de Souza

Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. MSc. Osires de Medeiros Melo Neto

Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Dedico este trabalho aos meus pais, por todo o apoio e incentivo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida, pela saúde, pela família e por sempre estar junto de mim nas minhas orações.

À minha família por todo apoio que me deram, em especial aos meus pais Marcos Santos e Maria das Graças, por sempre acreditarem em mim.

Ao meu tio Aildo Pimenta, por ter me incentivado a fazer uma graduação e me apoiado durante todo esse tempo.

Aos meus amigos que tornaram toda essa jornada menos desgastante, em especial à Arthur Victor, Carlos Macedo, Eryclapton Gomes, Fabiola Renata, Jessiel Salvador, João Vitor Guedes, Joel Victor, Maria Ana, Pedro Targino, Wiliam Carlos e Wilton Severiano, vocês me ajudaram a não desistir do curso e foram minha segunda família em Araruna.

Ao meu amigo Erveton Victor, pelo acolhimento no início do curso e pela ajuda nos projetos estruturais.

À orientadora deste trabalho, Professora Lays Raianne, pelas ótimas aulas ministradas, por ser uma referência para mim e pela orientação durante todo esse tempo.

A UEPB e seus funcionários, pelos serviços prestados com excelência e pelas oportunidades ofertadas.

Por fim, agradeço a todos aqueles que contribuíram de alguma forma com este trabalho.

Obrigado.

“Nossa maior fraqueza é a desistência. O caminho mais certo para o sucesso é sempre tentar mais uma vez.”

(THOMAS EDISON)

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo realizar uma análise comparativa entre o dimensionamento de estruturas de dois sistemas construtivos largamente utilizados no Brasil: o sistema construtivo convencional em concreto armado com alvenaria de vedação e o sistema construtivo em alvenaria estrutural com blocos cerâmicos. Para isso, foi dimensionado um edifício residencial multifamiliar em concreto armado e um em alvenaria estrutural, cada um com um total de dois pavimentos e 518 m² construídos, utilizando o software TQS na versão estudante. Com o quantitativo de materiais fornecidos pelo software e a composição de custos do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil - SINAPI, foi possível orçar o custo total do edifício para os dois sistemas construtivos, se apresentando o sistema em alvenaria estrutural 26,56% mais econômico em relação ao edifício projetado em concreto armado.

Palavras-Chave: Estruturas. Construções convencionais. Redução de custos.

ABSTRACT

This work aimed to carry out a comparative analysis between the design of structures of two construction systems widely used in Brazil: the conventional construction system in reinforced concrete with sealing masonry and the construction system in structural masonry with ceramic blocks. For this, a multifamily residential building in reinforced concrete and one in structural masonry were designed, each with a total of two floors and 518 m² built, using the TQS software in the student version. With the quantity of materials provided by the software and the composition of costs from the National System of Research of Costs and Indexes of Civil Construction - SINAPI, it was possible to budget the total cost of the building for the two construction systems, presenting the system in structural masonry 26.56% more economical compared to the building designed in reinforced concrete.

Keywords: Structures. Conventional constructions. Cost reduction.

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE FIGURAS:

Figura 1 - Arranha céu Ingalls Building.....	18
Figura 2 - Ponte sobre o Rio do Peixe, em Santa Catarina.....	18
Figura 3 - Edifício A Noite, no Rio de Janeiro.....	19
Figura 4 - Elementos da estrutura de concreto armado convencional.....	20
Figura 5 - Estrutura de concreto armado com alvenaria de vedação.....	20
Figura 6 - Etapas do projeto estrutural em concreto armado.....	22
Figura 7 - Pirâmide de Queóps.....	24
Figura 8 - Edifício Monadnock, A – vista da rua, B – corte transversal.....	24
Figura 9 - Fluxograma da metodologia adotada.....	33
Figura 10 - Planta baixa do pavimento tipo do edifício padrão.....	34
Figura 11 - Primeira concepção estrutural do pavimento térreo.....	38
Figura 12 - Verificação do pilar P17 no PCalc.....	41
Figura 13 - Parâmetros de estabilidade global do edifício em concreto armado.....	42
Figura 14 - Deslocamentos horizontais máximos do edifício.....	42
Figura 15 - Deslocamentos horizontais máximos entre pisos.....	42
Figura 16 - 3D do projeto pronto.....	43
Figura 17 - Blocos cerâmicos estruturais utilizados no projeto.....	43
Figura 18 - Amarração direta em cantos e encontros de paredes.....	44
Figura 19 - Fiadas 1 e 2 e elevação de uma parede sem juntas a prumo.....	44
Figura 20 - Modulação da primeira fiada do térreo e aberturas nas paredes.....	45
Figura 21 - Subestruturas do pavimento térreo.....	45
Figura 22 - Dados de laje treliçada com EPS.....	46
Figura 23 - Resultado do dimensionamento para o bloco de 4 MPa.....	48
Figura 24 - Verificação ao cisalhamento e armadura da verga na abertura 1.....	49
Figura 25 - Parâmetros de estabilidade global do edifício em alvenaria estrutural.....	50
Figura 26 - 3D do projeto em alvenaria estrutural pronto.....	51
Figura 27 - Comparativo de custos por elementos em cada sistema construtivo.....	56
Figura 28 - Percentual de custos para o projeto em concreto armado.....	57
Figura 29 - Percentual de custos para o projeto em alvenaria estrutural.....	58
Figura 30 - Custo total englobando fundações, estrutura e vedação de cada projeto.....	58
FIGURA C. 1 - Detalhe do tipo de fundação considerada no projeto de alvenaria	69
FIGURA C. 2 - Detalhe de estribos das vergas com 2 fiadas.....	69

FIGURA D. 1- Exemplo de uma das elevações do projeto em alvenaria com elementos de concreto armado.....	70
Figura A. 1- Planta de forma para o 1º piso.....	71
Figura A. 2 - Planta de forma para a cobertura.	71
Figura A. 3 - Resumo para pedido de vigotas.	71

LISTA DE TABELAS:

Tabela 1 - Percentual do custo total da obra segundo o CUB.	55
--	----

LISTA DE QUADROS:

Quadro 1 - Classificações da alvenaria estrutural.	27
Quadro 2 - Comparativo entre os sistemas concreto armado e alvenaria estrutural.....	30
Quadro 3 - Dados preliminares para cada projeto.	36
Quadro 4 - Cargas permanentes e acidentais consideradas nos projetos.....	37
Quadro 5 - Dimensões dos elementos na concepção estrutural.....	38
Quadro 6 - Vigotas do Pavimento Térreo.....	39
Quadro 7 - Vigotas do Pavimento Cobertura.	40
Quadro 8 -Vigotas do Pavimento térreo.	47
Quadro 9 - Vigotas do Pavimento Cobertura.	47
Quadro 10 - Quantitativo de materiais para o projeto em concreto armado.....	52
Quadro 11 - Quantitativo de materiais para o projeto em alvenaria estrutural.....	53
QUADRO A. 1- Planilha orçamentária do projeto em concreto armado.....	64
QUADRO B. 1 - Planilha orçamentária para o projeto em alvenaria estrutural.....	67

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivo geral	15
2.2	Objetivos específicos	15
3	REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1	Técnica, método, processo e sistema construtivo	16
3.2	Concreto armado convencional	17
3.2.1	<i>Breve histórico</i>	17
3.2.2	<i>Apresentação do sistema construtivo</i>	19
3.2.3	<i>Conceitos</i>	21
3.2.4	<i>Dimensionamento de estruturas em concreto armado</i>	22
3.3	Alvenaria estrutural	23
3.3.1	<i>Breve histórico</i>	23
3.3.2	<i>Apresentação do sistema construtivo</i>	25
3.3.3	<i>Conceitos</i>	27
3.3.4	<i>Dimensionamento de estruturas em alvenaria estrutural</i>	28
4	RESUMO COMPARATIVO DAS CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS	30
5	ORÇAMENTO	32
6	METODOLOGIA GERAL ADOTADA	33
6.1	Desenvolvimento da arquitetura, critérios e ações nos projetos	34
6.2	Elaboração do projeto em concreto armado	37
6.3	Elaboração do projeto em alvenaria estrutural não armada de blocos cerâmicos ..	43
6.4	Extração do quantitativo de materiais	51
6.5	Orçamentação	53
7	ANÁLISE DOS RESULTADOS	55

8	CONCLUSÕES	60
8.1	Propostas para trabalhos futuros:	60
	REFERÊNCIAS	61
	APÊNDICES	64
	ANEXOS	71

1 INTRODUÇÃO

O elevado déficit habitacional no Brasil chegou a cerca de 5,876 milhões de domicílios no ano de 2019, tendo maiores números em termos relativos nas regiões Norte e Nordeste, onde se concentra maior parte das pessoas com menor renda (BRASIL,2021, p. 113). Como medida para promover o acesso à moradia à população, o governo federal ainda criou no ano de 2009 o programa Minha Casa Minha Vida, hoje chamado de Casa Verde e Amarela, para incentivar a produção e aquisição de novas unidades habitacionais, dando prioridade para as pessoas com menor faixa de renda (DA SILVA RAMOS; NOIA, 2016). Programas como esse, incentivaram cada vez mais o ramo da construção civil a buscar sistemas construtivos que reduzam o preço das habitações.

Segundo Olivier (2016), é essencial que se tenha um estudo e planejamento adequado sobre o sistema construtivo a ser utilizado na obra, pois eles possibilitam um bom desempenho na execução, racionalização de materiais, mão de obra, e conseqüentemente, economia nos custos, sendo estes os resultados que as construtoras procuram.

Segundo Oliveira (2018, p.13), “na construção de uma edificação, uma das etapas construtivas que demandam mais tempo e recursos financeiros é a parte estrutural”. Dentro desse contexto, a adoção de novas técnicas, processos e sistemas construtivos que racionalizem a quantidade de serviços e insumos, se configura como uma condição essencial para que ocorram reduções de custo e de tempo na execução das estruturas, sendo esses fatores, revertidos em produtividade e elevação dos lucros das empresas.

Como sistema construtivo no Brasil, notoriamente o mais difundido é o sistema em concreto armado com alvenaria de vedação, seguido pelo sistema em alvenaria estrutural. O surgimento do concreto armado no começo do século XX possibilitou a construção de estruturas cada vez mais complexas, levando a alvenaria estrutural ao status de antiquada e ineficiente, mesmo sendo esse um sistema muito tradicional, utilizado desde o início da atividade humana. Entretanto, com os avanços nos estudos e melhoria na qualidade dos materiais, a alvenaria estrutural vem se mostrando como um sistema construtivo eficiente, seguro e econômico (BALDUINO, 2016).

O sistema construtivo em alvenaria estrutural permite que ocorra uma racionalização da mão de obra, reduzindo o prazo de execução, os custos e desperdícios de materiais, visto que

nesse sistema o projeto é modulado para que os blocos não sejam quebrados e as paredes além de servirem como vedação são autoportantes. Ou seja, na maioria das vezes, não é necessária a utilização de vigas e pilares, reduzindo bruscamente o consumo de formas, concreto, e principalmente do aço, que nos últimos anos vem sofrendo fortes elevações de preço.

Dessa forma, mesmo com suas limitações de não vencer vãos tão grandes quanto o concreto armado, necessitar de maiores quantidades de paredes para sustentar a edificação, e não permitir a retirada dessas paredes estruturais após a construção para algum tipo de reforma, o sistema construtivo em alvenaria estrutural ainda apresenta um alto potencial para competir com o sistema convencional de concreto armado, tendo em vista o processo construtivo mais logístico e a redução de custo significativa que o sistema proporciona, de modo a validar o seu uso.

Dependendo da arquitetura da construção, um dos sistemas pode ser mais vantajoso economicamente em relação ao outro. Sendo assim, é nesse contexto que se encontra este trabalho, que teve por objetivo dimensionar um edifício multifamiliar para cada sistema construtivo utilizando o software TQS na versão estudante e analisar qual dos dois sistemas se apresenta como o mais econômico.

2 OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho foram organizados em objetivo geral e objetivos específicos.

2.1 Objetivo geral

O presente trabalho teve como objetivo principal realizar um estudo comparativo de custos para a superestrutura e vedação entre os sistemas construtivos em concreto armado com alvenaria de vedação e alvenaria estrutural com blocos cerâmicos.

2.2 Objetivos específicos

- Dimensionar o edifício com o sistema convencional de concreto armado com lajes treliçadas e alvenaria de vedação;
- Dimensionar o edifício utilizando alvenaria estrutural não armada de blocos cerâmicos com lajes treliçadas;
- Comparar os valores obtidos e verificar qual sistema construtivo se apresenta como melhor solução para o edifício residencial em questão, levando em consideração o quesito custo total da estrutura e vedação.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico deste trabalho foi organizado em tópicos que descrevem particularidades e conceitos importantes para o entendimento dos dois sistemas construtivos.

3.1 Técnica, método, processo e sistema construtivo

Comumente os termos técnica, método, processo e sistema construtivo são utilizados de maneira equivocada. No entanto, existem diferenças no significado desses termos que devem ser esclarecidas para um melhor entendimento desse trabalho. Sabbatini (1989) apresenta de maneira simples e objetiva, uma definição para esses termos particularizada para edifícios da seguinte forma:

Técnica construtiva: é o conjunto de tarefas empregadas na produção de uma determinada parte de uma edificação. Por exemplo, assentar um piso cerâmico, montar a forma para moldar uma viga, pilar ou escada, são tarefas entendidas como técnicas construtivas de um edifício.

Método construtivo: é um conjunto de técnicas construtivas interdependentes e organizadas, utilizado na construção de uma parte da edificação. Por exemplo, na produção de uma laje temos um conjunto de técnicas inter-relacionadas e com uma sequência bem definida, como a montagem das formas, armações, escoramento, concretagem, cura, desforma etc.

Processo construtivo: corresponde a uma específica e organizada maneira de se construir um edifício. Um processo construtivo se caracteriza pelo seu específico conjunto de métodos utilizados na construção da estrutura e vedação de um edifício. Por exemplo, um processo construtivo em alvenaria estrutural ou paredes de concreto, se configura como um bem definido modo de construir a estrutura e vedação de um edifício por meio de paredes autoportantes.

Sistema construtivo: é um processo construtivo altamente industrializado e organizado, constituído por um conjunto de elementos e componentes com inter-relações bem definidas e integrados pelo processo.

Dessa forma, segundo Sabbatini (1989), um sistema construtivo é um processo construtivo muito bem definido e tecnologicamente mais avançado, com partes coordenadas

com relações mútuas perfeitamente determinadas, enquanto o processo construtivo, se trata de um conjunto de métodos inter-relacionados.

Dentre as principais propostas e sistemas construtivos aprimorados nos últimos anos na indústria da construção civil, estão o sistema em alvenaria estrutural, que se apresenta como um sistema racional, possibilitando redução de custo e tempo, e o sistema construtivo em concreto armado, largamente utilizado e difundido no mundo todo, sendo esses sistemas, o foco deste trabalho.

3.2 Concreto armado convencional

Nos tópicos a seguir, apresenta-se um breve histórico sobre o sistema construtivo em concreto armado, bem como uma apresentação do sistema, seus principais conceitos e dimensionamento.

3.2.1 Breve histórico

Em 1824, Joseph Aspidin inventa o cimento Portland por meio da queima de calcário e argila finamente moídos e misturados a altas temperaturas, denominando esse material de cimento Portland em menção as pedras de Portland, na Inglaterra. Em 1850, o francês Joseph Louis Lambot efetuou as primeiras experiências com introdução de ferragens numa massa de concreto, as quais chamavam de construções de “cimento armado” (KAEFER, 1998).

O jardineiro Joseph Monier, considerado um dos grandes disseminadores da técnica de se construir com concreto armado, construía tubos e vasos de concreto adicionando malhas de aço ao perceber que o concreto não resistia bem à flexão. Em 1867, Monier havia avançado tanto em seu método ao ponto de patentear-lo, estendendo sua patente para a construção de reservatórios de água. Entre 1868 e 1873 executou o primeiro reservatório de 25 m³ e mais tarde outros dois com 180 m³ e 200 m³ de volume, sendo esses, suportados por colunas (KAEFER, 1998).

A descoberta do concreto de cimento Portland no fim do século XIX e seu intensivo uso no século XX, transformaram esse material no mais consumido no mundo depois da água e a arte de projetar e construir estruturas com esse material foi revolucionada ao longo do tempo, possibilitando cada vez mais as execuções de construções desafiadoras (HELENE, 2010).

O primeiro arranha céu em concreto armado foi construído com 16 pavimentos, nos Estados Unidos, recebendo o nome de Ingalls Building, como mostra a Figura 1.

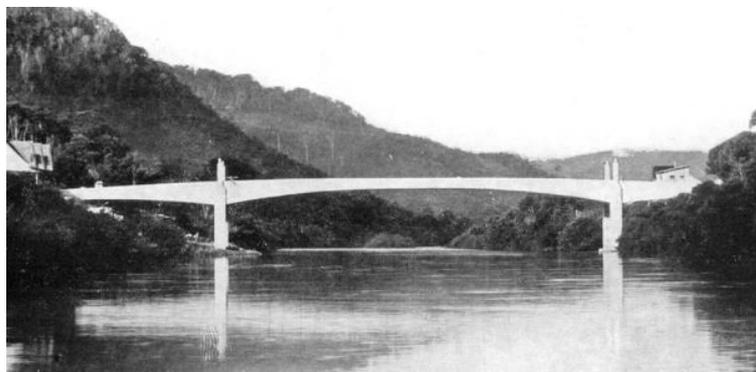
Figura 1 - Arranha céu Ingalls Building.



Fonte: KAEFER, 1998, p.34.

No Brasil, ainda no século XX, um elevado grau de desenvolvimento quanto ao uso do concreto foi atingido, como a construção da ponte de 68 metros de extensão sobre o Rio do Peixe, construída pelo engenheiro Emílio Baumgart utilizando-se a técnica de balanços sucessivos, como mostra a Figura 2 e a construção do edifício A Noite, no Rio de Janeiro, ilustrado na Figura 3 (DELATORRE, 2014). Na época, o edifício A Noite, no Rio de Janeiro, foi o mais alto do mundo construído em concreto armado e o primeiro edifício que considerou as ações dos ventos nos cálculos.

Figura 2 - Ponte sobre o Rio do Peixe, em Santa Catarina.



Fonte: TORRES, 2002, p.24.

Figura 3 - Edifício A Noite, no Rio de Janeiro.



Fonte: G1, 2015.

3.2.2 Apresentação do sistema construtivo

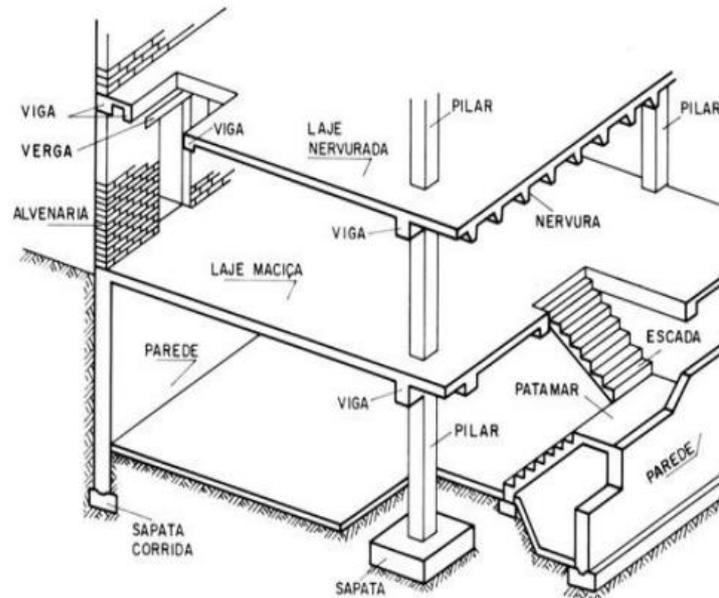
O concreto simples é um material de construção resultante da mistura de um aglomerante (cimento), com agregado miúdo (areia), agregado graúdo (brita) e água, ambos em proporções bem definidas. A função da pasta formada pelo cimento e a água, é envolver e unir os agregados, que por sua vez, tem a função de oferecer resistência aos esforços e ao desgaste, além da redução com os custos na produção desse material. Como resultado, obtém-se um material com uma alta resistência à compressão, mas uma baixa resistência à tração (DELLATORRE, 2014, P.38).

Devido à baixa resistência do concreto simples aos esforços de tração, outros materiais como as barras de aço nervuradas foram adicionados. A união do concreto simples e de barras de aço, envolvidas pelo concreto, com perfeita aderência entre os dois materiais, permitiu que ambos resistam solidariamente aos esforços, dando origem ao concreto armado. O uso destes materiais de forma conjunta só é possível devido à aderência entre o aço e o concreto, ao coeficiente de dilatação térmica ser praticamente igual em ambos e, à proteção que o concreto dá à armadura contra a oxidação garantindo a durabilidade (SOUZA JUNIOR, s.d).

Segundo a ABNT NBR 6118 (2014), quanto aos elementos estruturais que geralmente constituem os projetos em concreto armado, temos os pilares, que são elementos lineares de eixo reto, usualmente dispostos na vertical, onde os esforços normais de compressão são preponderantes. Ao passo que as vigas são elementos lineares geralmente dispostos na horizontal, com esforço de flexão predominante. Por fim, as lajes ou placas são elementos de

superfície plana, sujeitas principalmente a ações normais ao seu plano, geralmente constituindo o piso dos edifícios. A representação de elementos em concreto armado se encontra na Figura 4, enquanto a Figura 5 mostra o aspecto de uma estrutura em concreto armado com alvenaria de vedação.

Figura 4 - Elementos da estrutura de concreto armado convencional.



Fonte: Mac gregor¹, 1988 apud DELLATORRE, 2014, p.39.

Figura 5 - Estrutura de concreto armado com alvenaria de vedação.



Fonte: ARCARI, 2010, p.29.

¹ Mac Gregor (1998).

Na estrutura em concreto armado convencional as cargas atuantes no edifício são suportadas por lajes, vigas e pilares, enquanto a alvenaria basicamente possui a função de vedação, para dividir os espaços e proteger a edificação de agentes externos. É recomendado que a alvenaria de vedação somente seja executada após a confecção da estrutura de concreto armado, porém, muitas construtoras adotam a má prática de executá-las posteriormente aos pilares e anteriormente à laje, para utilizar as paredes como fundo de forma para as vigas, a fim de reduzir custos, tendo em vista que as formas apresentam um alto percentual do custo da estrutura em concreto armado (ARCARY, 2010, p.31).

As formas são fundamentais para a qualidade e acabamento da estrutura, sendo elas as únicas responsáveis pela geometria final da estrutura. Além disso, representam entre 25% e 40% do custo da estrutura de concreto armado, merecendo uma atenção especial, juntamente com o aço, que vem sofrendo altas de preço nos últimos anos (ASSAHI, 2005, p.3 ;4)

3.2.3 *Conceitos*

Segundo a norma brasileira ABNT NBR 6118 (2014) que trata dos procedimentos para projeto de estruturas de concreto, tem-se as definições de alguns itens que compõem as estruturas de concreto:

3.1.1 concreto estrutural: termo que se refere ao espectro completo das aplicações do concreto como material estrutural.

3.1.2 elementos de concreto simples estrutural: elementos estruturais elaborados com concreto que não possuem qualquer tipo de armadura, ou que a possuem em quantidade inferior ao mínimo exigido para o concreto armado.

3.1.3 elementos de concreto armado: aqueles cujo comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura, e nos quais não se aplicam alongamentos iniciais das armaduras antes da materialização dessa aderência.

[...]

14.4 elementos estruturais: os elementos estruturais básicos são classificados e definidos de acordo com a sua forma geométrica e a sua função estrutural.

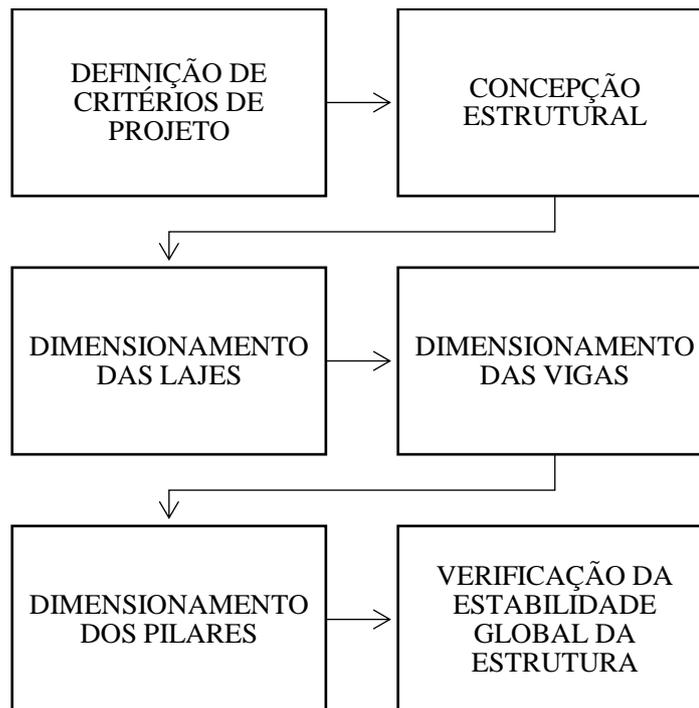
14.4.1 elementos lineares: são aqueles em que o comprimento longitudinal supera em pelo menos três vezes a maior dimensão da seção transversal, sendo também denominados barras.

3.2.4 Dimensionamento de estruturas em concreto armado

Os elementos estruturais usuais em concreto armado devem ser dimensionados conforme a norma brasileira ABNT NBR 6118 (2014), inicialmente concebida em 1980 e historicamente conhecida como NB-1, encontrando-se atualmente na sua versão 2014 (OLIVEIRA, 2018).

Segundo Carvalho (2021), “o dimensionamento de uma estrutura deve garantir que ela suporte, de forma segura, estável e sem deformações excessivas, todas as solicitações a que estará submetida durante sua execução e utilização”. Para que tal feito seja alcançado, os elementos em concreto armado devem ser dimensionados segundo o ELU (Estado Limite Último) e serem verificados quanto ao ELS (Estado Limite de Serviço) nas diversas etapas de projeto, que são descritas como mostra a Figura 6.

Figura 6 - Etapas do projeto estrutural em concreto armado.



Fonte: Adaptado de OLIVEIRA, 2018.

Cada uma das etapas presente no fluxograma apresenta uma série de procedimentos a serem realizados:

Crítérios de projeto: nesta fase são definidas a classe de agressividade ambiental, a resistência dos materiais e suas demais características.

Concepção estrutural: na concepção, são realizados o pré-dimensionamento e distribuição dos elementos estruturais, como lajes, vigas e pilares.

Dimensionamento das lajes: as espessuras das lajes são pré-dimensionadas e é realizado o levantamento de cargas nelas atuantes. Os cálculos dos esforços solicitantes são realizados e a estrutura é dimensionada para o Estado Limite Último (ELU), fazendo-se também as devidas verificações para o Estado Limite de Serviço (ELS).

Dimensionamento das vigas: de posse das cargas provenientes dos demais elementos suportados pelas vigas, como as lajes por exemplo, faz-se os cálculos dos esforços solicitantes, que irão nortear o dimensionamento das armaduras longitudinais e transversais.

Dimensionamento dos pilares: é realizado o levantamento das cargas atuantes nos pilares e de acordo com esses esforços solicitantes e a posição dos pilares, faz-se o dimensionamento.

Verificação da estabilidade global: são levados em consideração os efeitos globais e locais de 2º ordem, analisando a estabilidade global da estrutura e classificando-a como de nós móveis ou nós fixos.

3.3 Alvenaria estrutural

Nos tópicos a seguir, apresenta-se um breve histórico sobre o sistema construtivo em alvenaria estrutural, bem como uma apresentação do sistema, seus principais conceitos e dimensionamento.

3.3.1 Breve histórico

A alvenaria é um sistema construtivo muito tradicional, que vem sendo utilizado desde o início da atividade humana de executar estruturas para os mais diversos fins. A produção de blocos de diversos materiais, como argila, pedra e outros, permitiram construções que desafiaram o tempo, chegando até os dias de hoje como monumentos de grande importância histórica, como por exemplo, a pirâmide de Queóps ilustrada na Figura 7, com cerca de 2600 anos antes de Cristo e 147 metros de altura (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

Figura 7 - Pirâmide de Queóps.



Fonte: <https://www.infoescola.com/civilizacao-egipcia/piramide-de-queops/>.

Segundo Hendry (2002), somente por volta do século XVII, quando se aplicaram princípios da estatística na estabilidade de arcos e domos, que a alvenaria passou a ser tratada como uma tecnologia de construção. Apesar disso, mesmo que entre os séculos XIX e XX tivessem sido realizados testes de resistência dos elementos da alvenaria estrutural, ainda se elaborava o projeto de alvenaria estrutural com base em métodos empíricos de cálculo, resultando em grandes limitações nos edifícios construídos nessa época, como por exemplo, o edifício Monadnock, ilustrado na Figura 8.

Figura 8 - Edifício Monadnock, A – vista da rua, B – corte transversal.



Fonte: Reis, 2016.

O edifício Monadnock, construído em Chicago no final do século XIX, possui 16 pavimentos e 65 metros de altura, sendo considerado na época, uma obra ousada que atingia os limites dimensionais para edifícios de alvenaria. Porém, devido aos métodos empíricos utilizados na época no dimensionamento, as paredes de sua base possuem 1,8 metros de espessura. Acredita-se que esse mesmo edifício fosse dimensionado com os procedimentos atuais e com os mesmos materiais, teria uma espessura inferior a 30 centímetros (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

Até o final do século XIX a alvenaria era predominante como material estrutural, mas devido à ausência de procedimentos de dimensionamento, as estruturas eram muito robustas e pouco econômicas. Após isso ocorreram grandes progressos na construção civil com o surgimento do concreto armado, respaldado por teorias racionais de cálculo, fazendo com que esse novo tipo de estrutura se espalhasse por todo o mundo e com que a alvenaria ficasse em segundo plano (BALDUINO, 2016).

A alvenaria estrutural com blocos vazados de concreto foi introduzida no Brasil em meados dos anos 60, em prédios de até 4 pavimentos, com tecnologia e procedimentos baseados em normas estrangeiras. Esta foi uma forma racionalizada encontrada para redução de custos das obras. Daí para frente, os blocos sílico-calcários e blocos cerâmicos, também começaram a ser utilizados em escala crescente, principalmente no estado de São Paulo (SANTOS, 1998).

No Brasil, somente na década de 80 a alvenaria estrutural atingiu seu auge, quando várias empresas começaram a investir em pesquisas para tornar esse sistema mais viável, fazendo com que nos últimos anos houvesse um aumento enorme da adoção desse sistema, que não era utilizado com tanta frequência (FERREIRA; POMPEU JUNIOR, 2010).

3.3.2 Apresentação do sistema construtivo

A alvenaria estrutural atual pode ser definida como um conjunto de blocos estruturais unidos por juntas de argamassa, que trabalham em conjunto para resistir aos esforços solicitados pela edificação (DELLATORRE, 2014). Nesse sistema construtivo, as paredes além de serem responsáveis pela vedação da edificação, também são responsáveis pela sua sustentação, resistindo a cargas como fariam as vigas e pilares nos sistemas em concreto armado, aço ou madeira (ROMAN; MUTI; ARAÚJO, 2014).

As alvenarias geralmente apresentam um bom comportamento quando submetidas à esforços de compressão, porém, o mesmo não ocorre quando elas são submetidas aos esforços de tração, flexão e cisalhamento. Apesar de no geral, as alvenarias serem compostas somente por blocos e argamassa, em algumas situações em que os esforços de tração apresentem maiores valores, faz-se necessária a utilização de grautes e armaduras (BALDUINO, 2016). Quanto ao caso de cargas concentradas na alvenaria, é indicado o uso de coxins de concreto, que segundo a ABNT NBR 16868-1 (2020), se trata de elementos não contínuos apoiados na parede para distribuir cargas concentradas.

Segundo Ramalho e Corrêa (2003), a transmissão das ações por meio de tensões de compressão é o fator crucial a ser levado em consideração quando se discute a alvenaria estrutural como sistema construtivo. As tensões de tração devem ser de pequena intensidade e se restringirem a pontos específicos da estrutura, pois em caso contrário, a estrutura pode até ser tecnicamente viável, mas dificilmente será econômica, pois necessitará de muitos grauteamentos com armadura, perdendo também a agilidade do sistema.

A base dos projetos em alvenaria estrutural se assenta nos princípios de que, a alvenaria pode suportar os esforços de compressão, mas os esforços de flexão, que acabam gerando tração nas paredes devem ser evitados. Devido a isso, Roman, Mutti e Araújo (1999) sugerem que aumentando a compressão nos blocos, diminui-se a possibilidade de aparecimento de esforços de tração. Deve-se, então, explorar a resistência à compressão do bloco estrutural, compensando a fraca resistência à tração.

Segundo Franco (1991), os esforços de compressão na alvenaria estrutural são causados pelo peso próprio da estrutura e pelas cargas suportadas pelas lajes, enquanto os de flexão são causados pelas forças horizontais atuantes na edificação. Este esforço é transmitido pelas lajes às paredes internas transversais através de esforços de cisalhamento, que por sua vez, serão transmitidos sucessivamente até as fundações.

Em relação ao custo, normalmente a alvenaria estrutural se apresenta mais econômica do que o sistema em concreto armado. Isso ocorre não só por se executar estrutura e alvenaria numa só etapa, mas também devido à economia de formas, redução no uso do concreto e ferragem, menores espessuras nos revestimentos e maior rapidez na execução. Além disso, ocorrem certas simplificações nas instalações, como a não necessidade de rasgos nas paredes, ocasionando um menor desperdício de materiais (ROMAN; MUTI; ARAÚJO, 2014).

No entanto, para que a adoção desse sistema se mostre econômica e racional, é fundamental que o arranjo arquitetônico da edificação em planta e em elevação, seja modulado, ou seja, tenha suas dimensões em função das dimensões dos blocos utilizados, de forma a reduzir cortes ou ajustes necessários à execução das paredes. A não modulação do arranjo arquitetônico, além de elevar o custo e diminuir a racionalidade do sistema devido a cortes e enchimentos, também gera um efeito negativo no dimensionamento da estrutura, prejudicando a distribuição das ações no edifício (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

3.3.3 Conceitos

Segundo Camacho (2006, p.3), a alvenaria estrutural pode ser classificada quanto ao processo construtivo, ao tipo de unidades ou ao material utilizado, conforme o Quadro 1.

Quadro 1 - Classificações da alvenaria estrutural.

CLASSIFICAÇÃO DA ALVENARIA ESTRUTURAL		DESCRIÇÃO
Quanto ao processo construtivo	Alvenaria estrutural armada	Quando há a necessidade de armaduras passivas de aço, dispostas nas cavidades dos blocos que posteriormente são preenchidas com graute.
	Alvenaria estrutural não armada	Quando nos elementos estruturais existem apenas armaduras com finalidades construtivas, de modo a prevenir problemas patológicos.
	Alvenaria estrutural parcialmente armada	Quando alguns elementos estruturais são projetados como armados e outros não.
	Alvenaria estrutural protendida	Quando existe uma armadura ativa de aço contida no elemento estrutural.
Quanto ao tipo de unidades	Alvenaria estrutural de tijolos	Quando a unidade utilizada é o tijolo.
	Alvenaria estrutural de blocos	Quando a unidade utilizada é o bloco.
Quanto ao material utilizado	Alvenaria estrutural cerâmica	Quando a unidade é constituída de material cerâmico.
	Alvenaria estrutural de concreto	Quando a unidade é constituída de concreto.

Fonte: Adaptado de Camacho, 2006, p.3 ; 4.

Para melhor entendimento sobre a diferença entre a alvenaria estrutural armada e não armada, a ABNT NBR 16868-1 (2020) define a alvenaria estrutural não armada como aquela

que contém armaduras somente com a finalidade construtiva ou de amarração, não sendo as armaduras consideradas na absorção dos esforços calculados.

3.3.4 Dimensionamento de estruturas em alvenaria estrutural

A norma brasileira que orienta quanto ao dimensionamento de estruturas em alvenaria estrutural é a NBR 16868, publicada pela ABNT em agosto de 2020, que uniu as antigas normas sobre o sistema construtivo com bloco estrutural cerâmico e com bloco estrutural de concreto, que estavam em vigor desde 2010 e 2011, respectivamente. Essa nova norma foi fracionada em 3 partes: “Projeto”, “Execução e controle de obras” e “Métodos de ensaio” (ESTRUTURAS, 2020, online).

Na antiga ABNT NBR 10837 (1989), Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto, já substituída, o dimensionamento dos elementos é realizado com base no método das tensões admissíveis, no qual as tensões solicitantes não devem exceder as tensões admissíveis dos materiais durante toda a vida útil da estrutura (JOAQUIM, 1999, p.33)

Segundo Acceti (1998), a equação básica do método das tensões admissíveis é dada pela Equação 1.

$$\bar{R} = \frac{R}{\gamma_i} \text{ e também } S \leq \bar{R} \quad (1)$$

Onde:

\bar{R} é a máxima tensão admissível;

R é a tensão de ruptura ou de escoamento do material;

γ_i é o coeficiente de segurança interno;

S é a máxima tensão solicitante no elemento.

Nos elementos de alvenaria, as tensões admissíveis são baseadas na resistência característica dos prismas (f_p), que são compostos geralmente pela união de dois ou três blocos com argamassa, ou até mesmo pela resistência característica da parede (f_{par}) e características relacionadas aos elementos e às solicitações (JOAQUIM, 1999, p.33).

Segundo a ABNT NBR 10837 (1989), as tensões admissíveis em paredes de alvenaria não-armada devem ser calculadas pela Equação (2).

$$P_{adm} = 0,2 \cdot f_p \cdot \left[1 - \left(\frac{h}{40 \cdot t} \right)^3 \right] \cdot A \quad (2)$$

Onde:

f_p é a resistência média dos prismas;

h é a altura efetiva;

t é a espessura;

A é área líquida, no caso dos blocos vazados, ou área bruta, no caso dos blocos maciços.

Na atual versão da norma de cálculo de projetos de alvenaria estrutural, já existem verificações para o dimensionamento utilizando-se os conceitos de Estado Limite Último (ELU) e Estado Limite de Serviço (ELS), diferente das antigas normas que eram omissas quanto as equações para verificação das deformações em elementos fletidos (ESTRUTURAS, 2020, online).

4 RESUMO COMPARATIVO DAS CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS

Para facilitar a compreensão e destacar melhor as diferenças entre os sistemas, apresenta-se no Quadro 2, um resumo das características dos sistemas, elaborado com base em Ramalho e Corrêa (2003) e Arcari (2010).

Quadro 2 - Comparativo entre os sistemas concreto armado e alvenaria estrutural.

SISTEMAS	CONCRETO ARMADO	ALVENARIA ESTRUTURAL
LIMITAÇÕES ESTRUTURAIS	Peso específico muito elevado.	Viável para construções de no máximo 15 a 16 pavimentos; Vãos máximos de 5 a 6 metros.
MÃO DE OBRA	Mão de obra mais acessível, tradicional e experiente.	Pouca disponibilidade de mão de obra qualificada.
EMPREGO NO BRASIL	Utilizado em todo o país com grande aceitação.	Associada a pequenas construções.
ARRANJO ARQUITETÔNICO	Vence maiores vãos; Maior flexibilidade devido a característica de ser moldável em diferentes formas.	Pequenos vãos; Necessidade de uma certa densidade de paredes estruturais (0,5 a 0,7 paredes/m ²).
VANTAGENS	Produção de elementos estruturais de diversas formas e tamanhos; Execução de obras arrojadas com grandes vãos	Economia de fôrmas, concreto e aço; Diminuição significativa do desperdício, revestimento e mão de obra; Estrutura e vedação construídas

	e alturas; Boa resistência ao fogo, vibrações, choques e desgastes mecânicos; Materiais facilmente encontrados no mercado;	simultaneamente; Maior rapidez na execução; Melhoria acústica, e simplificação nas instalações hidráulicas e elétricas; Racionalização.
DESVANTAGENS	Necessidade de escoramentos; Tempo de cura; Concentração de cargas pontuais nos pés dos pórticos; Menor proteção térmica; Dificuldade em realizar reparos e adaptações ao projeto original.	Limitação na adaptação da arquitetura após a construção; Interferência entre projetos arquitetura/estrutura/instalações; Necessidade de uma mão de obra bem qualificada; poucos fornecedores de blocos estruturais cerâmicos.

Fonte: Adaptado de Ramalho e Corrêa (2003); Arcary (2010).

5 ORÇAMENTO

Segundo Cardozo (2020), “o orçamento é um documento valioso em qualquer estudo preliminar ou de viabilidade. Uma obra iniciada sem a definição de seu custo ou sem o provisionamento adequado dos recursos necessários, pode resultar numa obra inacabada.” Dessa forma, o orçamento não só se apresenta como um norte para a análise de custos, como também para todo o planejamento da obra, incluindo a escolha e compra dos respectivos materiais.

Na elaboração de orçamentos, é necessário que se tenha além do quantitativo de insumos, mão de obra e equipamentos, os seus respectivos custos, que podem ser obtidos através de tabelas de composições de custos, como as elaboradas pelo SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil), da Caixa Econômica Federal, que possui uma grande variedade de insumos, abrangendo os mais diversos tipos de obras.

O sistema SINAPI apresenta composições unitárias de custo para os principais serviços que compõem as obras. Essas composições definem o consumo de material, a produtividade da mão-de-obra e a demanda de equipamentos para a realização de uma unidade do serviço. Com a composição unitária de custo para um mês e local de referência, e os quantitativos de materiais e serviços, é possível calcular o custo total de uma obra. (SILVA FILHO et al. 2010, p.2)

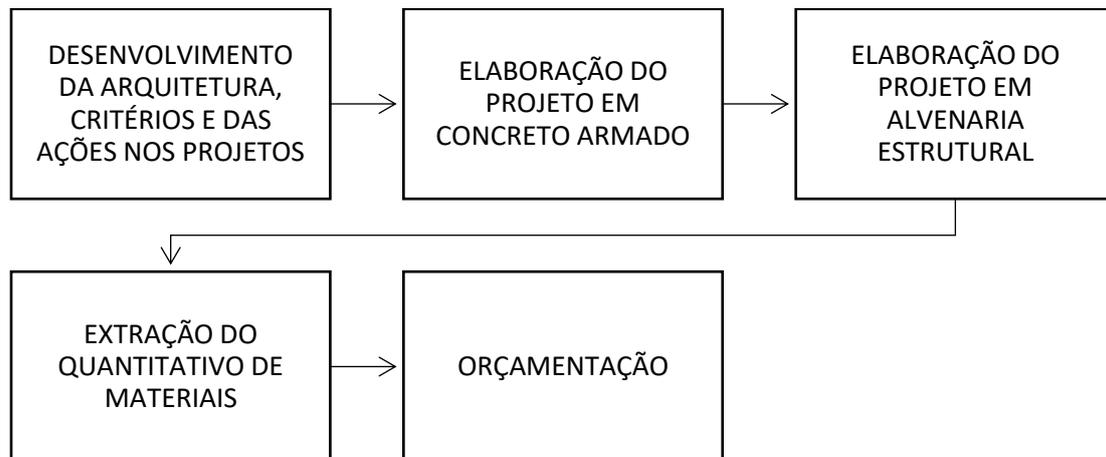
6 METODOLOGIA GERAL ADOTADA

A metodologia deste trabalho consiste em duas etapas: a parte teórica, e a parte prática, como descrito a seguir:

A etapa teórica deste trabalho consistiu em um levantamento bibliográfico sobre os dois sistemas construtivos, buscando informações técnicas e confiáveis em trabalhos de conclusão de curso, relatórios e livros, além de consultas às normas técnicas e tabelas de composições de preço, como as do SINAPI. Após a coleta dessas informações históricas e técnicas sobre os dois sistemas, elas foram organizadas por subtemas que compõem esta pesquisa, permitindo compreender melhor os conceitos importantes sobre cada sistema.

Para o desenvolvimento da parte prática deste trabalho, que consiste no dimensionamento e orçamento das estruturas, foram utilizadas as seis etapas constantes no fluxograma da Figura 9:

Figura 9 - Fluxograma da metodologia adotada.



Fonte: Autor, 2022.

Desenvolvimento da arquitetura, critérios e ações nos projetos: Esta etapa teve por objetivo principal estabelecer relações para ambos os projetos e adequar o arranjo arquitetônico para o sistema em alvenaria estrutural, de modo a garantir a modulação necessária para este sistema construtivo, além de definir critérios de entrada no software TQS versão estudante e cargas a serem consideradas em ambos os projetos estruturais;

Elaboração do projeto em concreto Armado: Esta etapa teve por objetivo o dimensionamento em concreto armado do edifício base deste trabalho;

Elaboração do projeto em alvenaria estrutural: Esta etapa teve por objetivo o dimensionamento em alvenaria estrutural do edifício base deste trabalho;

Extração do quantitativo de materiais: Esta etapa teve como objetivo reunir os insumos necessários para a estrutura e vedação de cada projeto, para posterior orçamentação;

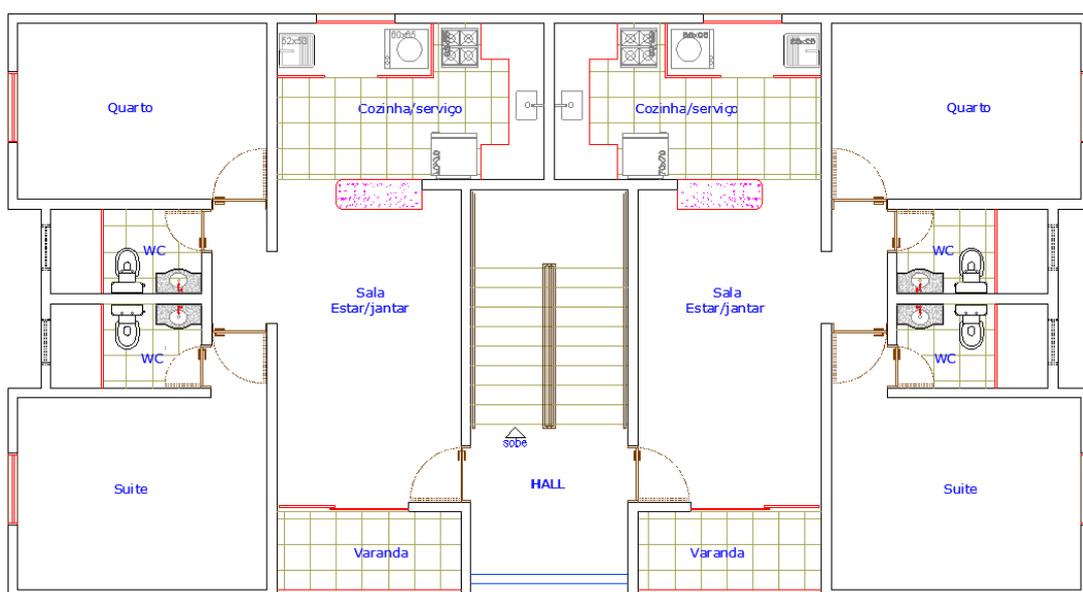
Orçamentação: Esta etapa teve como objetivo orçar o custo total da estrutura e vedação de cada projeto levando em conta o quantitativo de materiais obtido nas etapas anteriores e as composições de custos de material e mão de obra mais próximas possíveis da realidade disponíveis no SINAPI.

Os tópicos 6.1, 6.2, 6.3, 6.4 e 6.5 a seguir apresentam as etapas referentes aos procedimentos metodológicos com os seus respectivos resultados.

6.1 Desenvolvimento da arquitetura, critérios e ações nos projetos

O empreendimento utilizado como base desse estudo trata-se de um edifício residencial, cuja arquitetura final é apresenta na Figura 10. Foram considerados dois pavimentos, cada um com cerca de 259 m², contendo 2 apartamentos cada, e uma caixa d'água elevada. Para a confecção dos projetos estruturais, utilizou-se o software TQS versão estudante, que serviu como ferramenta essencial para a realização de análises e modelagem.

Figura 10 - Planta baixa do pavimento tipo do edifício padrão.



Fonte: Autor, 2022.

Para que se obtivessem resultados mais justos na comparação entre os sistemas em alvenaria estrutural e concreto armado com alvenaria de vedação, foi considerado que ambos os projetos fossem realizados na mesma região, sendo considerada a cidade de Araruna – PB, de modo que alguns fatores importantes como a classe de agressividade ambiental, velocidade básica do vento e resistência do solo fossem as mesmas. A classe de agressividade ambiental considerada foi a moderada, ao passo que a velocidade básica do vento foi determinada conforme as isopletas de vento, sendo esses fatores definidos dentro do software TQS estudante. Quanto à resistência do solo, não foram obtidos dados de sondagem na região de Araruna, sendo considerada a resistência do solo com base na experiência local.

Além disso, foram realizados pequenos ajustes na arquitetura para que as dimensões de projeto fossem compatíveis com a modulação necessária para o sistema em alvenaria estrutural. A modulação do projeto consiste em adaptar as dimensões das paredes em planta e em elevação para que sejam múltiplas do módulo. O módulo, nada mais é do que a dimensão do bloco (em planta ou em elevação) adicionado mais 1 centímetro referente a junta de argamassa padrão estabelecida pela ABNT NBR 16868 – 1 (2020). Os dados preliminares considerados para a elaboração dos dois projetos estruturais se encontram no Quadro 3:

Quadro 3 - Dados preliminares para cada projeto.

PROJETO EM CONCRETO ARMADO	PROJETO EM ALVENARIA ESTRUTURAL
<p>Norma: NBR 6118:2014;</p> <p>Concreto: C25 para todos os elementos estruturais;</p> <p>Agregado graúdo: Granito;</p> <p>Módulo de elasticidade inicial: 28 GPa;</p> <p>Módulo de elasticidade secante: 24 GPa;</p> <p>Aço: CA-50 e CA-60;</p> <p>Classe de agressividade: II;</p> <p>Resistencia do solo: 2,5 kgf/cm²;</p> <p>Velocidade básica do vento: 30 m/s.</p>	<p>Norma: NBR 16868 – 1: 2020 Blocos de Concreto e Cerâmicos</p> <p>Bloco: Cerâmico – família 29</p> <p>Junta padrão: 1cm</p> <p>Resistência da parede: 70% da resistência do prisma;</p> <p>Eficiência do prisma oco: 0,5</p> <p>Eficiência do prisma cheio: 1,6</p> <p>Resistência do bloco de referência: 4MPa;</p> <p>Resistência da argamassa: 4MPa;</p> <p>Resistência do graute: 15 MPa</p> <p>Aço: CA-50 e CA-60;</p> <p>Classe de agressividade: II;</p> <p>Resistencia do solo: 2,5 kgf/cm²;</p> <p>Velocidade básica do vento: 30 m/s.</p>

Fonte: Autor, 2022.

As ações que foram consideradas em ambos os projetos estão presentes no Quadro 4, organizado por pavimento e cargas. Estas ações foram definidas com base na ABNT NBR 6120 (2019), que trata das ações para o cálculo de estruturas de edificações.

Quadro 4 - Cargas permanentes e acidentais consideradas nos projetos.

Pavimento	Carga Permanente	Carga Acidental
Térreo	A carga permanente foi definida considerando-se 2 centímetros de nivelamento na laje ($2400\text{kg/m}^3 \times 0,02\text{m} = 48 \text{ kg/m}^2$; cerca de 50 kg/m^2 de revestimento; 25 kg/m^2 de forro; e 5 kg/m^2 de instalações elétricas/hidráulicas, totalizando cerca de $0,13 \text{ tf/m}^2$.	A carga acidental foi definida por ocupação, seguindo as recomendações da NBR 6120, utilizando-se: $0,15 \text{ tf/m}^2$ para quartos, salas, banheiros e varandas; $0,2 \text{ tf/m}^2$ para cozinhas/área de serviço; e $0,25 \text{ tf/m}^2$ para a escadas e hall.
Cobertura	Considerou-se um telhado cerâmico e estrutura de madeira de 70kg/m^2 ; 25 kg/m^2 de forro; e 5 Kg/m^2 de instalações elétricas/hidráulicas, totalizando $0,1 \text{ tf/m}^2$.	Carga de manutenção de $0,1 \text{ tf/m}^2$.
Caixa D'água	Segundo o projeto arquitetônico, estava previsto a existência de 2 caixas d'água de 2500L cada uma, com uma base de 1,8 metros de diâmetro. Com a área da base de cada caixa e a carga de água, obteve-se uma carga de cerca de 1tf/m^2 , aplicada nas regiões da caixa d'água como carga distribuída por área.	Carga de manutenção de $0,1 \text{ tf/m}^2$.

Fonte: Autor, 2022.

6.2 Elaboração do projeto em concreto armado

Inicialmente foi realizada uma concepção estrutural do edifício, como ilustrado no Quadro 5:

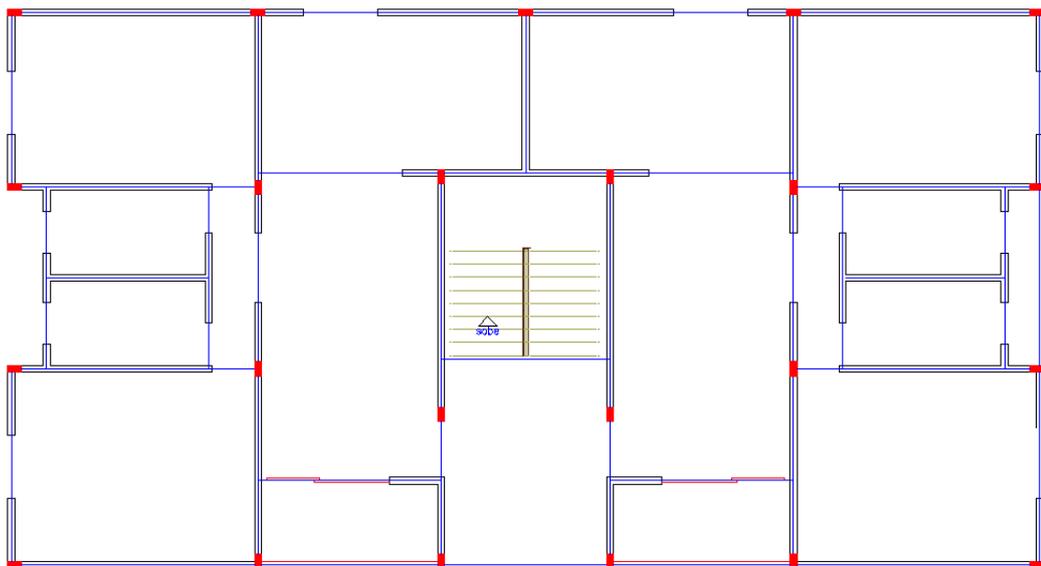
Quadro 5 - Dimensões dos elementos na concepção estrutural.

Elemento	Dimensão (cm)
Lajes	H = 12 cm: tr08644 + 4cm de capa
Vigas	15x40 cm
Pilares	15x30 cm

Fonte: Autor, 2022.

A espessura de 15cm dos pilares e vigas foi definida desta forma levando em consideração que a vedação seja realizada com blocos cerâmicos de 11,5 cm de espessura, de forma que no final, os pilares e vigas não interfiram na arquitetura do edifício, ficando embutidos nas paredes após realizados os acabamentos.

Quanto à altura das vigas, foram padronizadas em 40 cm para facilitar a execução, tendo em vista que esta, atendia a maior parte das vigas pelo pré-dimensionamento de cerca de 10% do vão. Já o pé direito, entendido pelo TQS como a distância de piso a piso entre cada pavimento, foi de 3 metros, exceto a caixa, que ficou elevada apenas 2 metros acima da cobertura. A Figura 11 apresenta a concepção estrutural do pavimento térreo, sendo os pilares representados em vermelho e as vigas pelas linhas azuis.

Figura 11 - Primeira concepção estrutural do pavimento térreo.

Fonte: Autor, 2022.

Após o processamento global utilizando o software TQS versão estudante, verificou-se que o Estado Limite Último (ELU) foi atendido, mas algumas vigas e lajes, incluindo a escada, apresentaram problemas quanto ao Estado Limite de Serviço, verificado pela análise de grelha não linear.

Os problemas nas vigas estavam relacionados a flechas excessivas e abertura de fissuras, analisadas pelas combinações quase permanente e frequente, respectivamente. Para sanar tais problemas, foi necessário aumentar a altura de algumas vigas para 50 centímetros.

As lajes treliçadas em maioria, não passaram na análise do ELS, apresentando flechas acima do limite. A solução foi incluir reforços nas vigotas e aplicação de contra-flechas, que foram calculadas a partir de planilhas pessoais. O resumo das vigotas, reforços e contra flechas aplicadas para cada pavimento são apresentados no Quadro 6 e Quadro 7. As plantas de forma e detalhamento das vigotas estão disponíveis no Anexo A.

Quadro 6 - Vigotas do Pavimento Térreo.

LAJES DO TÉRREO								
LAJE	TIPO	CAPA (cm)	VÃO (cm)	REFORÇO +	BITOLA (mm)	CF (cm)	Nº vigotas	Reforço (m)
201	TR 08644	4	380	2	6,3	1	11	86,372
202	TR 08644	4	350	2	6,3	1	12	87,024
203	TR 08644	4	350	2	6,3	1	12	87,024
204	TR 08644	4	380	2	6,3	1	11	86,372
206	TR 08644	4	200	-	-	-	8	-
207	TR 08644	4	200	-	-	-	8	-
208	TR 08644	4	110	-	-	-	8	-
209	TR 08644	4	110	-	-	-	8	-
210	TR 08644	4	200	-	-	-	8	-
211	TR 08644	4	400	3	6,3	1	15	185,67
212	TR 08644	4	400	3	6,3	1	15	185,67
213	TR 08644	4	200	-	-	-	8	-
214	TR 08644	4	165	-	-	-	7	-
215	TR 08644	4	425	1	10	1	11	48,95
216	TR 08644	4	262	1	5	-	7	19,04
217	TR 08644	4	425	1	10	1	11	48,95
218	TR 08644	4	185	-	-	-	8	-
219	TR 08644	4	185	-	-	-	8	-
220	TR 08644	4	70	-	-	-	7	-

Fonte: Autor, 2022.

Quadro 7 - Vigotas do Pavimento Cobertura.

LAJES DA COBERTURA								
LAJE	TIPO	CAPA (cm)	VÃO (cm)	REFORÇO +	BITOLA (mm)	CF (cm)	Nº vigotas	Reforço (m)
301	TR 08644	4	380	2	6,3	1	11	86,372
302	TR 08644	4	350	2	5	-	12	86,4
303	TR 08644	4	350	2	5	-	12	86,4
304	TR 08644	4	380	2	6,3	1	11	86,372
305	TR 08644	4	200	-	-	-	8	-
306	TR 08644	4	200	-	-	-	8	-
307	TR 08644	4	110	-	-	-	8	-
308	TR 08644	4	110	-	-	-	8	-
309	TR 08644	4	365	2	6,3	-	11	83,072
310	TR 08644	4	200	-	-	-	8	-
311	TR 08644	4	395	2	6,3	1	15	122,28
312	TR 08644	4	395	2	6,3	1	15	122,28
313	TR 08644	4	200	-	-	-	8	-
314	TR 08644	4	425	3	6,3	1	11	144,408
315	TR 08644	4	425	3	6,3	1	11	144,408
316	TR 08644	4	328	2	5	-	7	47,32
317	TR 08644	4	185	-	-	-	8	-
318	TR 08644	4	185	-	-	-	8	-

Fonte: Autor, 2022.

A laje adotada para o projeto foi a treliçada TR 08644 com enchimento de EPS (08/33/120cm) pois reduz bastante o peso próprio da laje, resultando num dimensionamento mais econômico, prevendo também uma malha de aço de 3,4mm a cada 15 cm em toda a laje para combater a fissuração. Em locais específicos como a laje da caixa d'água, foi necessário a utilização de uma laje maciça, devido à alta sensibilidade da laje treliçada para cargas elevadas. Quanto à escada, a solução foi analisar as flechas separadamente através de cálculos manuais, pois elementos inclinados geralmente apresentam problemas na análise não linear de grelhas no TQS.

Devido à alta complexidade quando se tratando de pilares, para analisar os resultados, foram realizadas análises dos relatórios gerados e verificações através do programa PCalc, versão gratuita. A Figura 12 mostra uma das verificações realizada no lance do pilar mais armado do projeto (P17).

Figura 12 - Verificação do pilar P17 no PCalc.

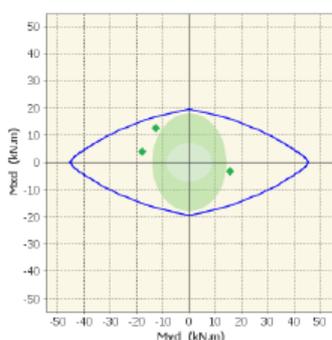


Figura: Diagrama de interação (Comb. 1)

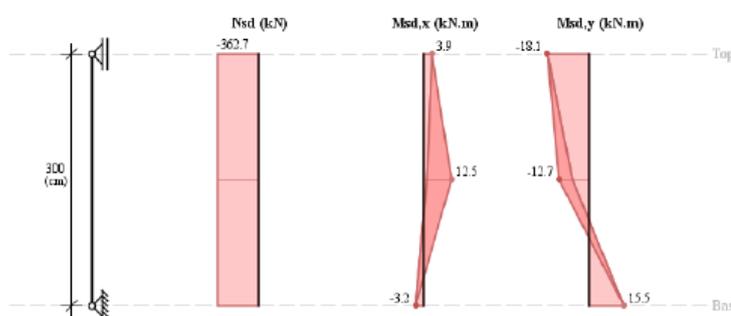


Figura: Esforços solicitantes de cálculo (Comb. 1)

Fonte: PCalc, 2022.

Para a realização dessa verificação, foram lançadas as armaduras longitudinais e a seção do pilar, bem como todas as informações dos materiais e esforços em cada direção do pilar, sejam eles normais ou momentos fletores. A envoltória em azul representa a resistência do pilar, enquanto os pontos verdes representam os esforços solicitantes, encontrando-se todos esses esforços dentro da envoltória. Essa verificação foi realizada para todos os pilares, que se encontraram dentro da envoltória de resistência em todos os casos.

As fundações foram escolhidas como sendo sapatas isoladas e assentadas a uma profundidade de 1,6 metros, onde foi considerado um solo com a resistência de $2,5 \text{ kgf/cm}^2$ e realizado um pré-dimensionamento para que a tensão admissível não ultrapassasse o limite. Após o processamento, poucas sapatas tiveram suas dimensões diferentes das lançadas inicialmente, dessa forma a quantidade de erros graves durante o processamento foi bastante reduzida.

A estabilidade global do edifício foi verificada através do parâmetro “alfa” de instabilidade para estrutura reticulada simétrica, tendo em vista que o parâmetro de estabilidade “gama z” só é válido para edifícios de no mínimo 4 andares, e que o edifício de estudo apresenta simetria em uma direção. A Figura 13 apresenta os parâmetros de estabilidade global obtidos no edifício de concreto armado:

Figura 13 - Parâmetros de estabilidade global do edifício em concreto armado.

Caso	Ang	CTot	M2	CHor	M1	Mig	γ_z	α	Obs
5	90.00	491.95	2.22	9.01	44.95	7.85	1.07	0.589	
6	270.00	491.95	2.22	9.01	44.95	7.85	1.07	0.589	
7	0.00	491.95	1.65	5.43	28.96	7.85	1.08	0.656	B
8	180.00	491.95	1.65	5.43	28.96	7.85	1.08	0.656	B

Fonte: TQS, 2022.

O valor de referência para indicar se o edifício é de nós fixos pelo coeficiente alfa é de 0,6 quando o contraventamento é feito com associação de pilares parede e pórticos e de 0,5 quando o contraventamento é feito somente pelos pórticos. Desta forma, o valor limite para este edifício seria 0,5, e o parâmetro alfa deste edifício indica que a estrutura é de nós móveis, sendo os esforços majorados e nenhuma redistribuição de momentos aplicada neste projeto. Quanto à verificação dos deslocamentos horizontais máximos ($H/1700$), e deslocamento máximo entre pisos ($H_i/850$), o edifício passou com folga, como mostra a Figura 14 e a Figura 15.

Figura 14 - Deslocamentos horizontais máximos do edifício.

Caso	Ang	DeslH	Relat1	Obs
5	90.00	0.17	H/ 5685.6	D
6	270.00	0.17	H/ 5685.6	
7	0.00	0.15	H/ 6481.5	
8	180.00	0.15	H/ 6481.5	

Fonte: TQS, 2022.

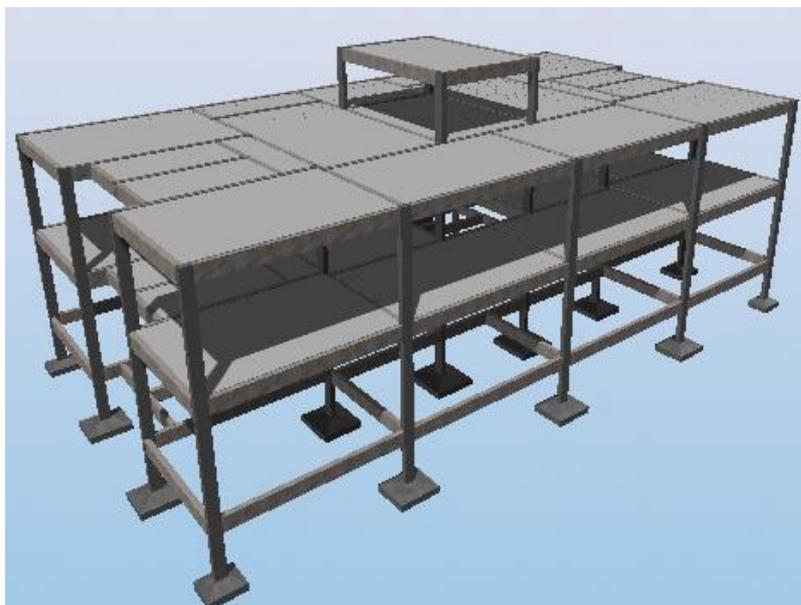
Figura 15 - Deslocamentos horizontais máximos entre pisos.

Caso	Ang	Piso	DeslHp	Relat3	Obs
5	90.00	2	0.08	Hi/ 3607.2	DE
6	270.00	2	0.08	Hi/ 3607.2	
7	0.00	2	0.07	Hi/ 4550.5	
8	180.00	2	0.07	Hi/ 4550.5	

Fonte: TQS, 2022.

Com o projeto pronto e realizadas as devidas edições de armadura, extraiu-se o quantitativo de materiais do projeto, que será apresentado no tópico 6.4. A Figura 16 apresenta como ficou o projeto em concreto armado finalizado:

Figura 16 - 3D do projeto pronto.



Fonte: TQS, 2022.

6.3 Elaboração do projeto em alvenaria estrutural não armada de blocos cerâmicos

Para a modulação do projeto estrutural, foi escolhido o bloco cerâmico estrutural de paredes vazadas da família 14x19x29cm, como mostra a Figura 17, utilizando-se 1 centímetro de junta de argamassa em todas as ligações entre blocos.

Figura 17 -Blocos cerâmicos estruturais utilizados no projeto.

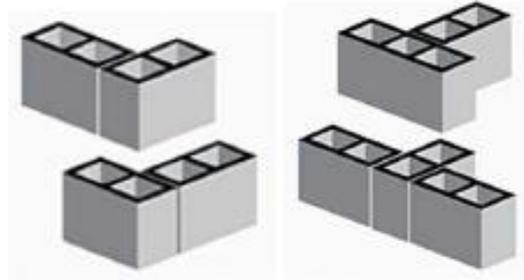


Fonte: Autor, 2022.

A modulação da primeira e segunda fiada de todas as paredes estruturais foram realizadas através de amarração direta, de modo a evitar juntas a prumo, e conseqüentemente,

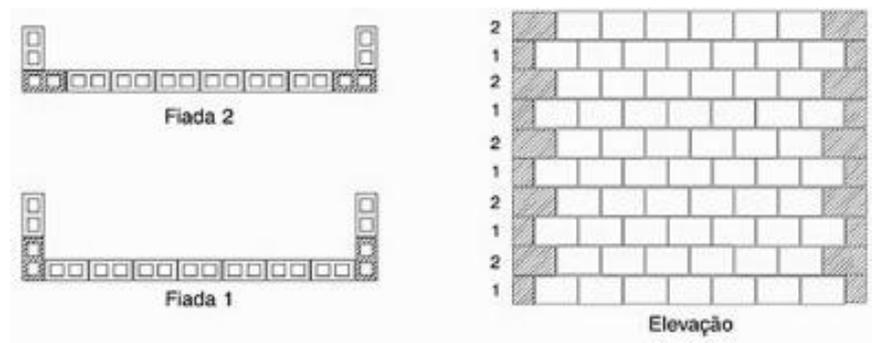
o surgimento de patologias na estrutura. A Figura 18 ilustra exemplos de amarração direta, enquanto a Figura 19 mostra como fica a elevação de uma parede sem juntas a prumo.

Figura 18 - Amarração direta em cantos e encontros de paredes.



Fonte: Ramalho; Corrêa 2003.

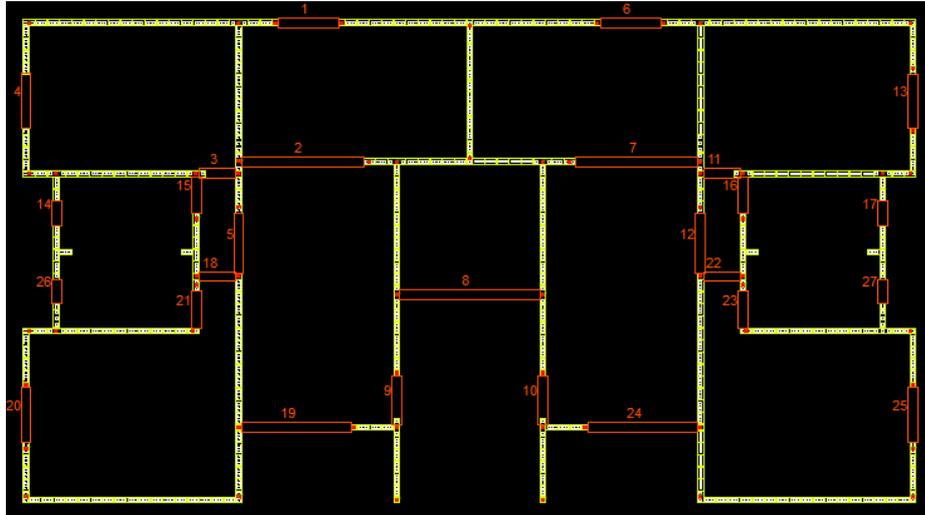
Figura 19 - Fiadas 1 e 2 e elevação de uma parede sem juntas a prumo.



Fonte: Ramalho; Corrêa, 2003

Seguindo o critério da amarração direta, foi realizada a modelagem da primeira e segunda fiada no software TQS Alvest da versão estudante, bem como a inserção de aberturas de portas, janelas e vãos. Como critério de projeto, foi definido a aplicação de graute e armadura em todas essas aberturas e nos cantos e encontros de paredes. A Figura 20 mostra como ficou a modulação da primeira fiada, os pontos de graute, e as aberturas de portas e janelas.

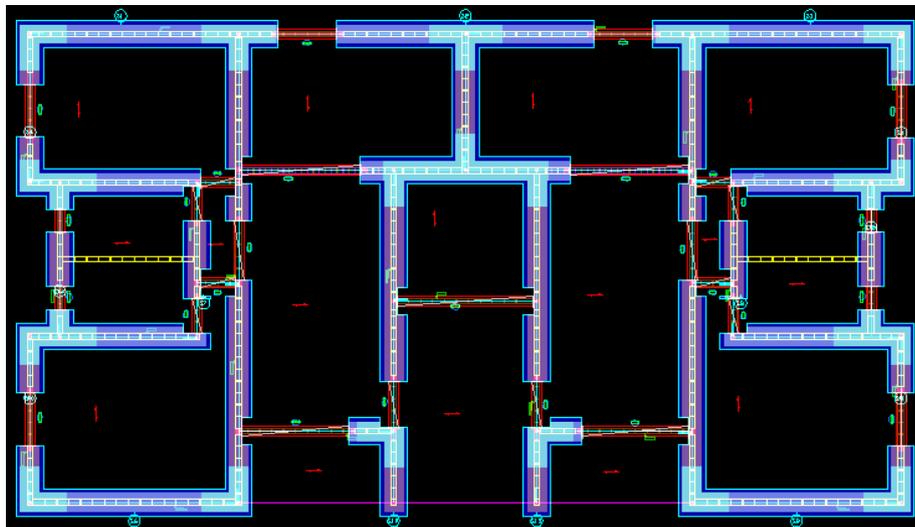
Figura 20 - Modulação da primeira fiada do térreo e aberturas nas paredes.



Fonte: TQS, 2022.

No software TQS Alvest na versão estudante, o lançamento da primeira fiada já é o suficiente para a realização automática das elevações, mas em alguns pontos, o software acaba se perdendo, dessa forma, foi lançada também a segunda fiada, para que os erros de juntas a prumo não ocorressem no projeto. Com isso, foram definidas as paredes estruturais e subestruturas, ilustradas na Figura 21, que permitiram o lançamento das lajes. As paredes estruturais são aquelas paredes consideradas na absorção dos esforços do projeto, não podendo serem removidas posteriormente sem o acompanhamento de um profissional habilitado. Já as subestruturas são grupos de paredes estruturais que são separados pelas aberturas de paredes.

Figura 21 - Subestruturas do pavimento térreo.



Fonte: TQS, 2022.

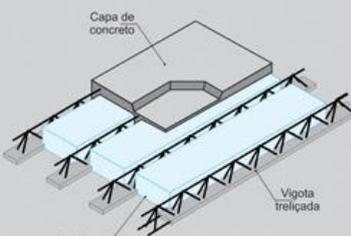
Como o sistema Alvest do software TQS foi criado para o dimensionamento de alvenaria estrutural, ainda não é possível lançar lajes treliçadas nem dimensionar os elementos em concreto armado dentro desse sistema. Dessa forma, as lajes do projeto em alvenaria também foram dimensionadas através da mesma planilha utilizada no projeto de concreto armado, e as cargas dessas lajes e das escadas na alvenaria, foram lançadas através do lançamento de lajes maciças de mesma espessura, fazendo as devidas compensações para que as cargas permanentes nos dois projetos fossem praticamente as mesmas.

As compensações de cargas citadas foram realizadas da seguinte forma: como o software TQS já calcula o peso próprio dos elementos estruturais automaticamente, ao lançar uma laje maciça de 12 cm de espessura ele identifica o peso de uma laje maciça de 12 cm de espessura (considerando o peso específico do concreto armado de 2500kg/m^3 e espessura de 12cm, tem-se um peso de 300 kg/m^2). Uma laje treliçada com enchimento de EPS, segundo catálogo da Laje Salema, pesa em média, metade desse valor, como mostra a Figura 22. Com isso, foi feita uma redução na sobrecarga da laje maciça de modo a compensar os 150 kg/m^2 identificados à mais no peso próprio.

Figura 22 - Dados de laje treliçada com EPS.

Laje Treliçada Unidirecional c/ EPS
Com o uso da lajota de EPS (isopor) se reduz o peso da laje e aumenta a capacidade de sobrecarga. Também proporciona isolamento térmico e acústico.

Laje Acabada	Capa de Concreto	Altura Treliça	EIXO (m)	SOBRECARGA (KGF/m ²) X VAO LIVRE(m)			PESO PRÓPRIO (Kgf/m ²)	CONSUMO CONCRETO (m ³ /m ²)
				100	200	300		
12	04	08	0.43	5,10	4,85	4,45	150	0.052
14	04	10	0.43	6,10	5,60	5,20	164	0.058
16	04	12	0.43	6,90	6,70	6,40	176	0.063
20	04	16	0.43	8,40	8,25	7,80	202	0.073
25	05	20	0.43	10,00	9,70	9,35	252	0.093
30	05	25	0.43	11,50	10,90	10,00	303	0.113



Fonte: <http://www.lajesalema.com.br/lajetrelica.html>.

O resultado do dimensionamento das lajes para o pavimento térreo e cobertura do projeto em alvenaria estrutural se apresenta no Quadro 8 e Quadro 9, respectivamente.

Quadro 8 - Vigotas do Pavimento térreo.

LAJES DO TÉRREO								
LAJE	TIPO	CAPA (cm)	VÃO (cm)	REFORÇO +	BITOLA (mm)	CF (cm)	Nº. Vigotas	Reforço (m)
1	TR 08644	4	350	2	6	1	13	94,12
2	TR 08644	4	350	2	6	1	13	94,12
3	TR 08644	4	380	2	6	1	12	94,08
4	TR 08644	4	380	2	6	1	12	94,08
6	TR 08644	4	350	2	6	1	9	65,16
7	TR 08644	4	110	-	-	-	5	-
8	TR 08644	4	110	-	-	-	5	-
9	TR 08644	4	350	2	6	1	9	65,16
10	TR 08644	4	395	3	6	1	15	183,15
11	TR 08644	4	395	3	6	1	15	183,15
12	TR 08644	4	365	3	6	1	13	147,03
13	TR 08644	4	425	2	8	1,5	12	105,84
14	TR 08644	4	425	2	8	1,5	12	105,84
15	TR 08644	4	395	3	6	1	5	61,05
16	TR 08644	4	395	3	6	1	5	61,05
VC 13 14	TR 08645	4	110	1	6	-	4	4,88

Fonte: Autor, 2022.

Quadro 9 - Vigotas do Pavimento Cobertura.

LAJE COBERTURA								
LAJE	TIPO	CAPA (cm)	VÃO (cm)	REFORÇO +	BITOLA (mm)	CF (cm)	Nº. Vigotas	Reforço (m)
101	TR 08644	4	350	2	5	-	13	93,6
102	TR 08644	4	350	2	5	-	13	93,6
103	TR 08644	4	380	2	6	1	12	94,08
104	TR 08644	4	380	2	6	1	12	94,08
105	TR 08644	4	350	2	5	-	9	64,8
106	TR 08644	4	110	-	-	-	5	-
107	TR 08644	4	110	-	-	-	5	-
108	TR 08644	4	365	2	6	-	12	90,48
109	TR 08644	4	350	2	5	-	9	64,8
110	TR 08644	4	395	2	6	1	15	122,1
111	TR 08644	4	395	2	6	1	15	122,1
112	TR 08644	4	425	3	6	1	12	157,32
113	TR 08644	4	425	3	6	1	12	157,32
114	TR 08644	4	365	2	6	-	9	67,86
115	TR 08644	4	395	2	6	1	5	40,7
116	TR 08644	4	395	2	6	1	5	40,7
VC 113 114	TR 08644	4	110	1	6	-	4	4,88

Fonte: Autor, 2022.

Para dar travamento ao edifício como um todo e uniformizar a reação da laje na alvenaria, foram dispostas cintas na última fiada das paredes e estabelecido também o uso de cintas intermediárias nas paredes internas com comprimento superior a 10 metros e nas paredes externas, com o objetivo de combater os efeitos da retração e variação da temperatura. Essas cintas intermediárias foram dispostas na sexta fiada, de modo a serem utilizadas concomitantemente como contravergas.

Feito o lançamento de todos os elementos e cargas nos demais pavimentos, foi realizado o primeiro processamento estrutural com um f_{bk} - resistência característica do bloco à compressão - de referência de 4 MPa. A Figura 23 apresenta o resultado para o bloco de 4 MPa de resistência à compressão:

Figura 23 - Resultado do dimensionamento para o bloco de 4 MPa.

Subestrutura	λ	N				N + M				V
		Compressão		Situação		Flexo-compressão	Flexo-tração	Situação ¹		
		N_{sd}/N_{Rd}	N_{sd}/N_{RdArm}	Não armada	Armada	$f_{pk\ nec}/f_{pk}$	$f_{tk\ nec}/f_{tk}$	Não armada	Armada	
S1	21	0.526 a 0.526	-	OK	-	0.29 a 0.559	0 a 0	OK	-	OK
S2	21	0.863 a 0.863	-	OK	-	0.454 a 0.898	0 a 0	OK	-	OK
S3	21	0.536 a 0.536	-	OK	-	0.297 a 0.569	0 a 0	OK	-	OK
S4	21	0.624 a 0.624	-	OK	-	0.338 a 0.638	0 a 0	OK	-	OK
S5	21	0.628 a 0.628	-	OK	-	0.343 a 0.642	0 a 0	OK	-	OK
S6	21	0.54 a 0.54	-	OK	-	0.298 a 0.576	0 a 0	OK	-	OK
S7	21	0.697 a 0.697	-	OK	-	0.362 a 0.709	0 a 0	OK	-	OK
S8	21	0.697 a 0.697	-	OK	-	0.362 a 0.709	0 a 0	OK	-	OK
S9	21	0.548 a 0.548	-	OK	-	0.303 a 0.584	0 a 0	OK	-	OK
S10	21	0.632 a 0.632	-	OK	-	0.339 a 0.646	0 a 0	OK	-	OK
S11	21	0.678 a 0.678	-	OK	-	0.366 a 0.691	0 a 0	OK	-	OK
S12	21	0.763 a 0.763	-	OK	-	0.401 a 0.778	0 a 0	OK	-	OK
S13	21	0.76 a 0.76	-	OK	-	0.399 a 0.775	0 a 0	OK	-	OK
S14	21	0.522 a 0.522	-	OK	-	0.29 a 0.53	0 a 0	OK	-	OK
S15	21	0.529 a 0.529	-	OK	-	0.293 a 0.536	0 a 0	OK	-	OK

Fonte: TQS, 2022.

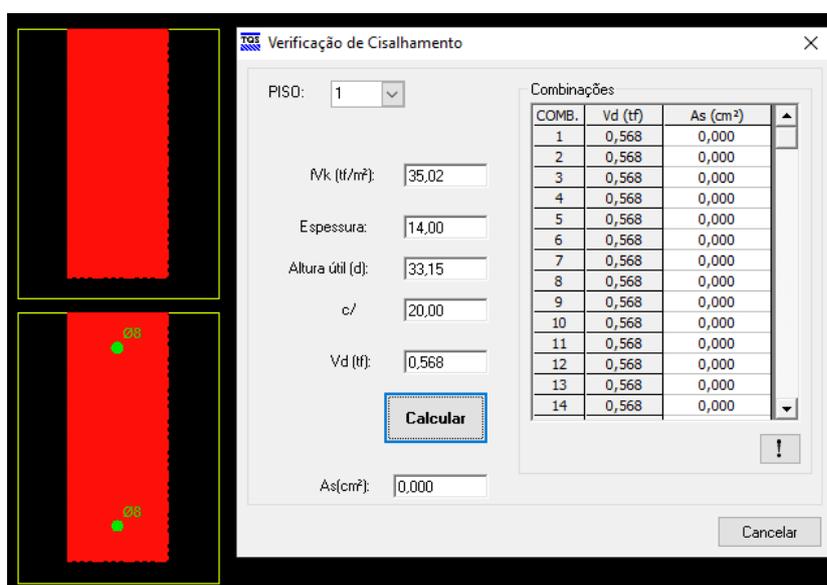
O resultado mostra que com o bloco de 4 MPa, já é possível atender a resistência necessária para os esforços de compressão, tração e cortante em todos os pavimentos, sem a necessidade de armar a alvenaria.

O próximo passo foi a verificação do dimensionamento das vergas. As vergas que não passaram inicialmente no dimensionamento tiveram suas alturas aumentadas para duas fiadas e foram processadas novamente. Com isso, apenas três delas no pavimento térreo e duas no primeiro andar não passaram no dimensionamento, sendo verificadas manualmente e constatado que de fato, não poderiam ser executadas como vigas em alvenaria estrutural pois

não garantiam a ductibilidade, adotando-se então, o uso de vigas de concreto armado, dimensionadas manualmente.

Vale a pena ressaltar que as vergas com duas fiadas que passaram no dimensionamento, não apresentaram esforço cortante suficiente para requisitarem uma área de aço para esse esforço, não sendo detalhada nenhuma armadura de cisalhamento no TQS, conforme apresentado pela Figura 24:

Figura 24 - Verificação ao cisalhamento e armadura da verga na abertura 1.



Fonte: TQS, 2022.

Porém, uma das novidades da ABNT NBR 16868-1 (2020) no item 11.4.3 diz que “em vigas de alvenaria com duas ou mais fiadas de altura, deve-se incluir a armadura de cisalhamento e respeitar a armadura mínima”. Essa armadura mínima foi calculada conforme a norma, sendo 0,07% do produto entre a largura da viga e o espaçamento da armadura, sendo ela adicionada no projeto e levada em conta no quantitativo de materiais, conforme ilustra a FIGURA C. 2, no Apêndice C.

As vergas do pavimento térreo que não passaram no dimensionamento estão representadas na Figura 20 com os números 2, 7 e 8. Esse resultado já era esperado, tendo em vista que a abertura 8 foi lançada para simular uma viga para apoiar a escada da edificação e as aberturas 2 e 7, se trata de vãos de cerca de 3 metros, muito mais difíceis de serem vencidos em alvenaria estrutural dependendo da carga aplicada.

Em todas as alvenarias que receberam vigas de concreto armado perpendiculares à parede, foi adotado o uso de coxins de concreto armado para melhor distribuir as tensões, tendo em vista o mal comportamento da alvenaria quando submetida a cargas concentradas. Quanto à estabilidade global do edifício, pelos mesmos motivos já citados no projeto de concreto armado, foi verificada pelo parâmetro alfa, apresentado na Figura 25:

Figura 25 - Parâmetros de estabilidade global do edifício em alvenaria estrutural.

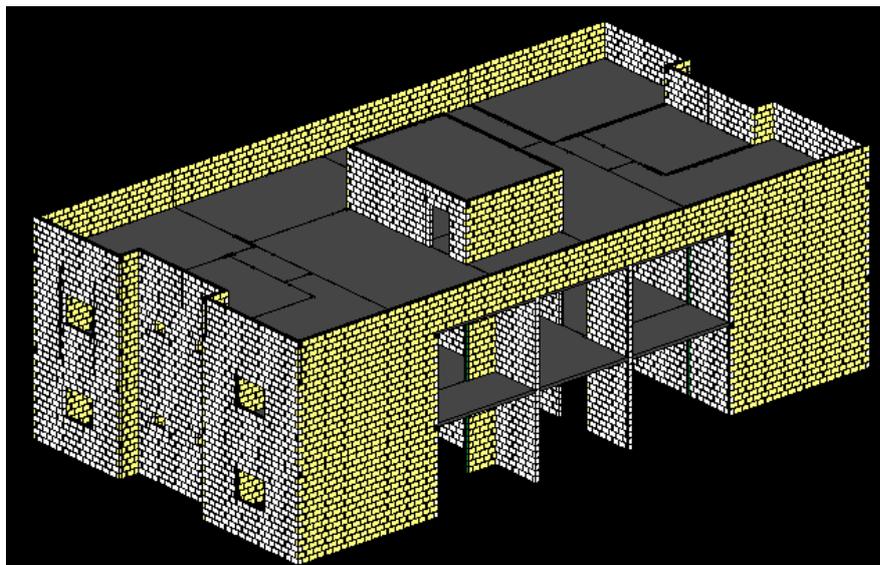
Caso	Ang	CTot	M2	CHor	M1	Mig	γ_z	α	Obs
5	90.00	441.84	0.03	6.96	33.43	7.13	1.00	0.089	
6	270.00	441.84	0.03	6.96	33.43	7.13	1.00	0.089	
7	0.00	441.84	0.02	4.37	22.25	7.13	1.00	0.078	H
8	180.00	441.84	0.02	4.37	22.25	7.13	1.00	0.078	H

Fonte: TQS, 2022.

O valor do coeficiente alfa indica que o edifício é de nós fixos. O valor do coeficiente “gama z”, apesar de não ser utilizado para classificar a estrutura, também mostra que os momentos de segunda ordem são muitos pequenos em relação aos momentos de primeira ordem, sendo a estrutura do edifício praticamente indeslocável devido ao grande número de paredes e pouca altura, fazendo com que os valores de deslocamento máximos (H/1700) e entre pisos (H/850) no edifício ficassem zerados.

Para a fundação do edifício, utilizou-se uma fundação corrida em concreto ciclópico, tendo em vista o seu baixo custo e facilidade na execução. A tensão admissível do solo considerada foi a mesma do projeto em concreto armado, de 2,5 kgf/cm². O detalhe da fundação considerada se encontra na FIGURA C.1, do Apêndice C. A Figura 26 apresenta como ficou o 3D do projeto em alvenaria estrutural já finalizado:

Figura 26 - 3D do projeto em alvenaria estrutural pronto.



Fonte: TQS, 2022.

6.4 Extração do quantitativo de materiais

Os quantitativos de materiais de ambos os projetos foram obtidos por meio dos relatórios do software TQS na versão estudante, enquanto aqueles materiais que não foram modelados no software foram calculados manualmente. Os materiais foram separados por elemento estrutural para que se pudesse utilizar as composições mais detalhadas do SINAPI, objetivando a realização de orçamentos mais próximos possíveis da realidade. Os materiais para o projeto em concreto armado e alvenaria estrutural se encontram no Quadro 10 e 11, respectivamente. Não foi considerado percentual de desperdício ou retrabalho no quantitativo de materiais.

Quadro 10 - Quantitativo de materiais para o projeto em concreto armado.

MATERIAIS POR ELEMENTO ESTRUTURAL							
ELEM.	AÇO	BIT. (mm)	PESO (kg)	FORMAS (m²)	CONCRETO 25 MPa(m³)	C. MAGRO (m²)	ALV.VED (m²)
SAPATAS	CA-60	5	6,31	0	7,86	1,51	819,83
	CA-50	8	180,52				
	CA-50	10	172,14				
VIGAS	CA-50	6,3	661,80	427,66	31,13	0	
	CA-50	8	208,96				
	CA-50	10	859,97				
	CA-50	12,5	349,09				
	CA-50	16	130,97				
PILARES	CA-60	5	147,69	164,52	8,22	0	
	CA-50	6,3	84,04				
	CA-50	10	400,43				
	CA-50	12,5	276,38				
	CA-50	16	48,92				
	CA-50	20	81,38				
ESCADA	CA-50	6,3	54,39	12,93	2,49	0	
	CA-50	8	37,92				
	CA-50	12,5	76,08				
LAJES	CA-60	5	205,43	17,59	28,66	0	
	CA-50	6,3	811,95				
	CA-50	8	73,87				
	CA-50	10	63,00				
	CA-50	12,5	6,26				

Fonte: Autor, 2022.

Quadro 11 - Quantitativo de materiais para o projeto em alvenaria estrutural.

MATERIAIS POR ELEMENTO ESTRUTURAL								
ELEM.	AÇO	BIT. (mm)	PESO (kg)	FORMA (m ²)	CONCRETO 25 MPa(m ³)	CONC. CICLÓ PICO. (m ³)	GRAUTE (m ³)	ALV. (m ²)
FUND.	-	-	-	0	0	11,97	0	957,2
VIGAS/ COXIM	CA-60	5	12,6973	19,12	1,08	0	0	
	CA-50	8	27,38					
	CA-50	12,5	7,67					
ESCADA	CA-50	6,3	54,39	12,93	2,49	0	0	
	CA-60	8	37,92					
	CA-60	12,5	76,08					
LAJES	CA-60	5	205,10	17,59	28,66	0	0	
	CA-50	6,3	585,56					
	CA-50	8	157,48					
CINTAS/ GRAUTE VERT.	CA-50	10	821,84	0	0	0	6,7/1,96	
VERGAS/ C. VERGAS	CA-60	5	32,8328	0	0	0	1,682	
	CA-50	8	35,43					
	CA-50	10	57,36					

Fonte: Autor, 2022.

Todos os materiais utilizados no orçamento estão presentes no Quadro 10 e 11, exceto as vigotas treliçadas, enchimento e malha de aço, que foram contabilizados através de uma composição criada para as lajes, devido a não existência de composições detalhadas para lajes nervuradas com enchimento de EPS no SINAPI. Com os quantitativos de materiais de cada projeto definidos, foi possível realizar um orçamento aproximado para ambos os projetos, que será descrito no próximo tópico.

6.5 Orçamentação

As referências de preços e custos utilizadas neste trabalho foram extraídas do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI, utilizando-se o relatório de insumos e composições sem desoneração, do mês de referência Setembro de 2022 da unidade de federação da Paraíba. Para agilizar a coleta das composições, utilizou-se o software Orça Fascio em sua versão gratuita.

Apesar de ser um tipo de laje bastante utilizado, as lajes com vigotas treliçadas e enchimento de EPS não tem composições contempladas na base de dados do SINAPI, como já mencionado anteriormente. Para contornar o problema, foi realizada uma composição com os dados de mercado e os dados do SINAPI, considerando o preço de 7 reais a peça de EPS e aproximadamente 15,98 reais cada metro de vigota treliçada, valores fornecidos por engenheiros de Araruna, cidade considerada para a execução dos projetos.

Os reforços das vigotas foram considerados no orçamento como armação de laje e a composição realizada para as lajes, não apresentou grandes diferenças entre os dois projetos, ficando a composição do projeto de alvenaria estrutural cerca de 2,16 reais acima da composição do projeto de concreto armado devido a uma maior quantidade de vigota treliçada.

As composições realizadas para as lajes com a integralização de dados de mercado aos dados do SINAPI se apresentam nas planilhas orçamentárias de cada projeto com a sigla SINAPI-CM, indicando a sigla CM que foram adicionados alguns dados de custos de mercado. Essas planilhas orçamentárias para o projeto em concreto armado e alvenaria estrutural foram organizadas no Excel e se encontram no QUADRO A.1 e QUADRO B.1, do Apêndice A e B, respectivamente.

7 ANÁLISE DOS RESULTADOS

De acordo com o Sinduscon - Sindicato da Indústria da Construção Civil de João Pessoa - para o mês de referência de outubro de 2022, o CUB/m², que são os Custos Unitários Básicos de Construção, referente a projetos do padrão residencial normal, foi de 1586,95 reais.

As tabelas do CUB independem do sistema construtivo utilizado, dessa forma, é possível determinar a diferença do custo da estrutura de ambos os sistemas em relação ao custo total. Os custos referentes à estrutura, fundação e vedação de cada projeto foram obtidos por meio da orçamentação realizada neste trabalho, onde foram consideradas composições de custo por meio de orçamento analítico das etapas de serviço, como mostra o Quadro A.1 e Quadro B.1, presente nos Apêndices.

Já o custo total da obra foi calculado utilizando o índice previsto no CUB, que engloba todo o restante dos elementos necessários em uma edificação, sendo este, o valor da obra já acabada. O custo total da obra foi calculado multiplicando-se o CUB/m² pela área total construída, que foram dois pavimentos de 259 m². O percentual do valor total da obra para cada projeto está presente na Tabela 1:

Tabela 1 - Percentual do custo total da obra segundo o CUB.

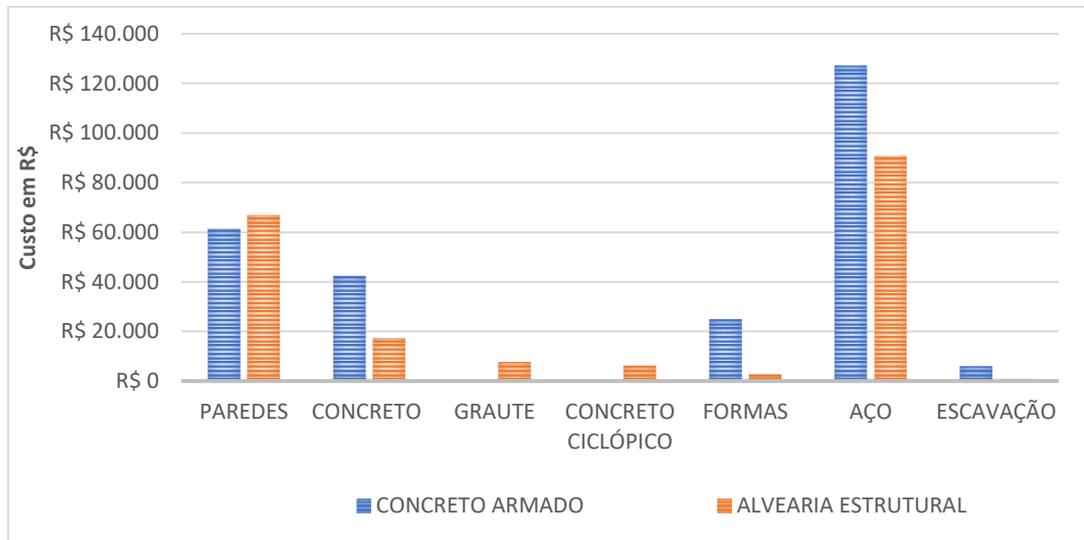
	CONCRETO ARMADO (R\$)	ALVENARIA ESTRUTURAL (R\$)
FUNDAÇÕES, ESTRUTURA E VEDAÇÃO	261.905,67	192.326,85
CUSTO TOTAL	822040,1	822040,1
% CUSTO TOTAL	32%	23%

Fonte: Autor, 2022.

Pode-se observar que a estrutura em alvenaria estrutural se demonstrou ser 9% mais econômica que a estrutura em concreto armado, quando comparada ao custo total da obra. Confrontando os resultados obtidos no orçamento, como ilustrado na Figura 26, pode-se perceber que, assim como previsto na bibliografia, os custos com aço, concreto e formas do projeto de concreto armado foram superiores aos de alvenaria estrutural, ao passo que, os custos com alvenaria, foram um pouco mais elevados no projeto de alvenaria estrutural. Vale a pena destacar também que no projeto em concreto armado não foi considerado o consumo de graute

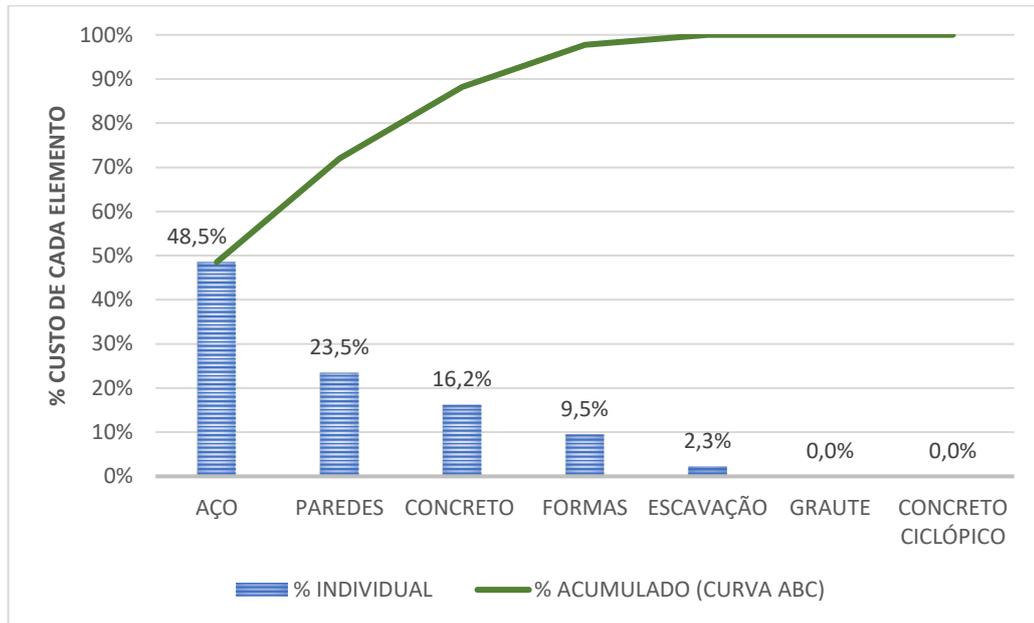
e concreto ciclópico, pois todos os elementos estruturais foram dimensionados e orçados considerando-se apenas o uso de concreto armado e concreto magro.

Figura 27 - Comparativo de custos por elementos em cada sistema construtivo.



Fonte: Autor, 2022.

Analisando os custos do projeto em concreto armado, ilustrado na Figura 28, verificou-se que o aço, as paredes de vedação e o concreto, foram os elementos que mais demandaram recursos, representando cerca de 48,5%, 23,5% e 16,2% do custo total orçado, respectivamente. Em seguida, as formas apresentaram um percentual de 9,5% do custo total do projeto. Era de se esperar um maior percentual para as formas, que não se concretizou devido ao fato de que, no orçamento, foi considerado o reaproveitamento de formas com 3 utilizações, de modo que a concretagem dos elementos não fosse realizada de uma vez só, pois o quesito prazo não seria avaliado neste trabalho.

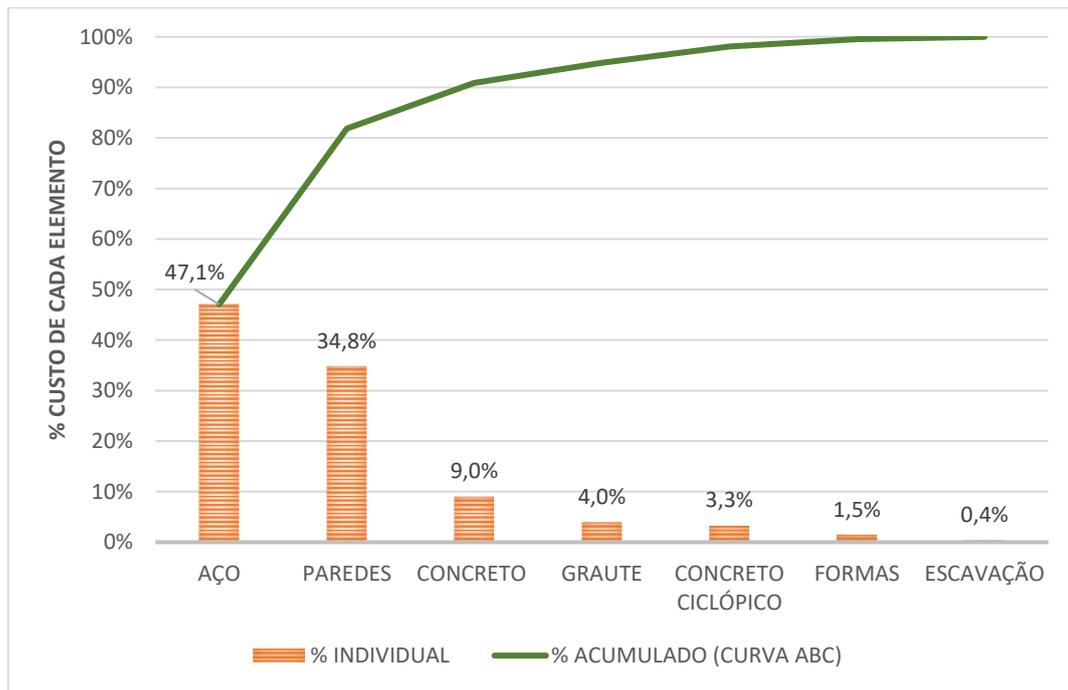
Figura 28 - Percentual de custos para o projeto em concreto armado.

Fonte: Autor, 2022.

Quanto aos custos para o projeto em alvenaria estrutural, o aço, as paredes e o concreto foram responsáveis pela maior demanda de recursos, de cerca de 47,1%, 34,8% e 9%, respectivamente, como ilustrado na Figura 29. A presença do aço como elemento de maior custo no projeto de alvenaria estrutural pode ser justificada pelo fato de que nele, também foram considerados elementos em concreto armado, ou seja, além de ser usado em cintas, vergas, contravergas, e pontos de graute, o aço também foi necessário em lajes, escada e inclusive em vigas de concreto, justificando também a presença do concreto entre os elementos com maior custo.

O alto percentual das paredes sobre o custo do projeto em alvenaria estrutural já era esperado, tendo em vista que elas são o principal elemento estrutural e o preço dos blocos que a compõem é mais elevado.

Figura 29 - Percentual de custos para o projeto em alvenaria estrutural.



Fonte: Autor, 2022.

Analisando-se o valor total orçado para cada projeto deste trabalho, verifica-se que para o edifício base desse estudo, o sistema construtivo ideal, levando-se em conta o quesito custo total da estrutura e vedação do edifício, seria o sistema com a estrutura em alvenaria estrutural, com uma economia de R\$ 69.578,82 reais (26,56%) em relação ao sistema convencional em concreto armado, considerando-se as etapas de serviço FUNDAÇÕES, ESTRUTURA E VEDAÇÃO, conforme ilustrado na Figura 30.

Figura 30 - Custo total englobando fundações, estrutura e vedação de cada projeto.



Fonte: Autor, 2022.

Considerando os dois pavimentos construídos de 259 m² cada, a economia gerada ao se optar pela estrutura em alvenaria estrutural seria em torno de 134,32 reais por metro quadrado. Apesar da alvenaria estrutural se apresentar como um sistema que na maioria das vezes elimina a necessidade de vigas e pilares, no projeto base de estudo deste trabalho esses elementos não foram totalmente evitados, ocorrendo a necessidade de uso de vigas de concreto armado, que acabaram por encarecer um pouco o valor da obra, porém mesmo assim o dimensionamento em alvenaria estrutural se apresentou como o mais econômico.

Outras pesquisas com temas semelhantes ao deste trabalho também chegaram a resultados próximos, como o realizado por Arcary (2010), apontando a alvenaria estrutural como 19,12% mais econômica em relação ao concreto armado, e as mais recentes como a de Balduino (2016) e Oliveira (2018), apontando também a alvenaria estrutural como 16,69% e 22% mais vantajosa, respectivamente.

8 CONCLUSÕES

Entre os dimensionamentos realizados, o que utiliza a alvenaria estrutural como sistema construtivo apresentou-se como o mais econômico. Comparando os custos dos dois sistemas construtivos, verifica-se que o edifício em alvenaria estrutural é cerca de 26,56% mais econômico que o edifício em concreto armado, resultando numa economia de R\$ 69.578,82 reais.

Comparando os valores orçados através das composições de custo do SINAPI para a fundação, estrutura e vedação de cada projeto com o custo total da obra calculado pelo CUB, que engloba as demais etapas da obra, também foi verificado uma vantagem econômica para a alvenaria estrutural de 9% em relação ao concreto armado.

Dessa forma, este trabalho comprovou que o sistema construtivo em alvenaria estrutural pode ser uma alternativa bastante competitiva e atraente para a redução de custos nas construções. Contudo, o quesito custo por si só não é suficiente para que se faça a escolha do melhor sistema construtivo, outros fatores como prazo e desperdício devem ser analisados para que se faça a escolha do melhor sistema construtivo.

Ademais, este trabalho apresenta certas limitações, como a elaboração dos projetos estruturais por um profissional não experiente, a não consideração da disponibilidade de mão de obra da região, além da não existência de composições de preços para itens específicos da alvenaria estrutural, sendo o orçamento um documento com valores aproximados. Contudo, essas limitações não anulam os resultados obtidos.

8.1 Propostas para trabalhos futuros:

- a) Analisar uma maior quantidade de pavimentos, de modo a verificar até quantos pavimentos é mais vantajoso economicamente construir em alvenaria estrutural;
- b) Comparar a influência entre os dois tipos de estruturas no custo de outros itens, como fundações, instalações e acabamentos;
- c) Avaliar o desperdício de cada sistema construtivo e o prejuízo econômico e ambiental gerado por eles;
- d) Por fim, sugere-se um trabalho que analise a viabilidade de estruturas feitas em tijolo maciço e alvenaria amarrada para edificações térreas.

REFERÊNCIAS

ACCETTI, Kristiane Mattar et al. **Contribuições ao projeto estrutural de edifícios em alvenaria**. São Carlos, 1998. Disponível em: < <https://pdfs.semanticscholar.org/c4e2/7c41469c8a751dba3a8c0a25533962032148.pdf> >. Acesso em 28/07/22.

ARCARI, Andrey. **Alvenaria estrutural e estrutura apertada de concreto armado: estudo comparativo de custos para execução de empreendimento habitacional de interesse social**. 2010. Disponível em:< <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/28550>>. Acesso em: 22/07/22.

ASSAHI, Paulo Nobuyoshi. Sistema de fôrma para estrutura de concreto. **SIMPÓSIO SOBRE ESTRUTURAS DE CONCRETO**, v. 5, 2005. Disponível em:< http://www.deecc.ufc.br/Download/TB736_construcao%20de%20edificios/Estruturas%20de%20Concreto%20Armado_agosto%20de%202005/Texto%20Paulo%20Assahi%20-%20SISTEMAS%20DE%20F%20D4RMAS.pdf>. Acesso em: 28/07/22.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10837: **Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15961-1: **Alvenaria Estrutural - Blocos de Concreto – Parte 1: Projeto**. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15961-1: **Alvenaria Estrutural – Parte 1: Projeto**. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

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

BALDUINO, Gabriel Mônaco. **Comparativo econômico entre os sistemas construtivos: estrutura apertada de concreto armado com fechamento em blocos cerâmicos e alvenaria estrutural com blocos vazados de concreto—estudo de caso**. 2016.

CARDOSO, Roberto Sales. **Orçamento de obras em foco**. Oficina de Textos, 2020. Disponível em: < https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=4bFZEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT11&dq=or%C3%A7amento+de+obras&ots=mMahdEa_d4&sig=AeOUpPfrVLU-QDDzBS0_tD8wyHg#v=onepage&q=or%C3%A7amento%20de%20obras&f=false >. Acesso em: 25/07/2022.

CARVALHO, R. Chust. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. 4.ed. São Carlos. EdUFSCar, 2021.

CUB/m². **Custos unitários básicos de construção**. Sinduscon. 2022. Disponível em: <<https://sindusconjp.com.br/wp-content/uploads/2022/11/2022-10-Tabela-CUB-m2.pdf>>. Acesso em: 27/11/22.

DA SILVA RAMOS, Jefferson; NOIA, Angye Cássia. **A construção de políticas públicas em habitação e o enfrentamento do déficit habitacional no Brasil: uma análise do Programa Minha Casa Minha Vida**. Desenvolvimento em questão, v. 14, n. 33, p. 65-105, 2016.)

DELLATORRE, Lázaro Augusto. **Análise comparativa de custo entre edifício de alvenaria estrutural e de concreto armado convencional**. Santa Maria, RS, Brasil. Trabalho de conclusão de curso apresentado na Universidade Federal de Santa Maria, 2014.

ESTRUTURAS, Paulinho das. **O que muda com a nova norma de alvenaria estrutural: NBR 16868?**. 2020. Disponível em: <<https://www.paulinhodasestruturas.com/2020/09/12/o-que-muda-com-a-nova-norma-de-alvenaria-estrutural-nbr-16868/>>. Acesso em: 28/07/22.

FERREIRA, B. L.O.; POMPEU JUNIOR, L.G.C. **Alvenaria estrutural de blocos de concreto- método executivo, vantagens e desvantagens de seu uso**. 2010. 85 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal da Amazônia, Belém, 2010. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/PriscilaHonorio/alvenaria-estruturalblococoncreto>>. Acesso em 19/09/22.

FRANCO, Luiz Sérgio. **Desenvolvimento de processos construtivos em alvenaria estrutural**. 1991, Anais.. Florianopolis: Ufsc, 1991. . Acesso em: 20 set. 2022.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit habitacional no Brasil – 2016-2019**. Belo Horizonte: FJP, 2021. 169p. Disponível em: <http://fjp.mg.gov.br/wp-content/uploads/2021/04/21.05_Relatorio-Deficit-Habitacional-no-Brasil-2016-2019-v2.0.pdf>. Acesso em: 28 junho 2022.

HELENE, Paulo; ANDRADE, Tibério. Concreto de cimento Portland. Isaia, Geraldo Cechella. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, v. 2, p. 905-944, 2007.

HENDRY, A. W. Engineered design of masonry buildings: fifty years development in Europe. **Progress in Structural Engineering and Materials**, v. 4, n. 3, p. 291-300, 2002.

JOAQUIM, Maurício Martinelli et al. **Flexão e flexo-compressão em elementos de alvenaria estrutural**. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999. Disponível em: <http://sistemas.set.eesc.usp.br/static/media/producao/1999ME_MauricioMartinelliJoaquim.pdf>. Acesso em: 28/07/22.

KAEFER, Luís Fernando. **A evolução do concreto armado**. São Paulo, v. 43, 1998.

OLIVEIRA, Luis Marcelo Gomes de. **Comparação de custos entre projetos de alvenaria estrutural e concreto armado em edifícios de pequeno porte**. 2018.

OLIVIER, Bianca Gonçalves et al. **Estudo comparativo de custos entre um edifício executado em alvenaria estrutural e em concreto armado**. 2016.

RAMALHO, Márcio A.; CORRÊA, Marcio RS. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. 2003.

REIS, Walmir Costa dos. **Alvenaria estrutural com blocos de concreto vazados**, 2016.

ROMAN, Humberto Ramos; DO NASCIMENTO MUTTI, Cristine; DE ARAÚJO, Hércules Nunes. **Construindo em alvenaria estrutural**. Editora da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 1999. Disponível em:<
https://www.researchgate.net/publication/44343728_Construindo_em_alvenaria_estrutural_Humberto_Ramos_Roman_Cristine_do_Nascimento_Mutti_Hercules_Nunes_de_Araujo>. Acesso em 20/09/22.

SABBATINI, Fernando Henrique; AGOPYAN, Vahan. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia**. 1989. Disponível em:<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-30082017-091328/publico/FernandoHenriqueSabbatini_T.pdf>. Acesso em: 23/07/2022.

SANTOS, Marcus Daniel Friederich dos. **Técnicas construtivas em alvenaria estrutural: contribuição ao uso**. 1998.

SILVA, F. et al. **Efeito barganha e cotação: Fenômenos que permitem a ocorrência de superfaturamento com preços inferiores às referências oficiais**. 13th SINAOP— **Simpósio Nacional de Auditoria de Obras Públicas**, 2010. Disponível em:<
http://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/ccr5/noticias-1/eventos/audiencia-publica/efeito_barganha_e_cotacao.pdf>. Acesso em 25/07/22.

SILVA, Tiago Ferreira da. **Pirâmide de Quéops**. **InfoEscola**. Disponível em:< Pirâmide de Quéops - Civilização Egípcia - InfoEscola>. Acesso em: 17/09/22

SOUZA JUNIOR, T. F. **Estruturas de concreto armado**. Lavras, [200-]. 23p. **Notas de aulas**. **Universidade Federal de Lavras**. Disponível em:<
<https://docente.ifrn.edu.br/valtencirgomes/disciplinas/construcao-de-edificios/apostila-concreto>>. Acesso em: 27/07/22.

TORRES, Ana; EL RAYO, Mitos; **LEYENDAS, Ciencia. Tecnología**. 2002. Disponível em:<http://200.20.120.44/~webde2/prof/ethomaz/lobocarneiro/lobo_tec_conc.pdf >. Acesso em 27/07/22.

TRIGO, Luciano. **Joseph Gire, o arquiteto francês que mudou a paisagem urbana do RioG1**, 2015. Disponível em:< <https://g1.globo.com/pop-arte/blog/maquina-de-escrever/post/joseph-gire-o-arquiteto-frances-que-mudou-paisagem-urbana-do-rio.html>>. Acesso em: 27/07/22.

APÊNDICES

APÊNDICE A – PLANILHA ORÇAMENTÁRIA PARA O PROJETO EM CONCRETO

QUADRO A. 1- Planilha orçamentária do projeto em concreto armado.

ORÇAMENTO DA ESTRUTURA EM CONCRETO ARMADO COM ALVENARIA DE VEDAÇÃO							
ITEM	CÓDIGO	BANCO	DESCRIÇÃO	UNID.	QUANT.	VALOR UNIT.	TOTAL
1	PAREDES						
1.1	103329	SINAPI	ALVENARIA DE VEDAÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS FURADOS NA HORIZONTAL DE 9X19X19 CM (ESPESSURA 9 CM) E ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO COM PREPARO MANUAL.	m ²	819,83	74,92	61421,66
2	CONCRETO						
2.1	96619	SINAPI	LASTRO DE CONCRETO MAGRO, APLICADO EM BLOCOS DE COROAMENTO OU SAPATAS, ESPESSURA DE 5 CM.	m ²	30,145	28,99	873,90
2.2	94965	SINAPI	CONCRETO FCK =25 MPA, TRAÇO 1:2,3:2,7 (EM MASSA SECA DE CIMENTO/AREIA MÉDIA/BRITA 1) - PREPARO MECÂNICO COM BETONEIRA 400 L.	m ³	7,86	463,02	3639,34
2.3	103675	SINAPI	CONCRETAGEM DE VIGAS E LAJES, FCK=25 MPA, PARA LAJES MACIÇAS OU NERVURADAS COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO.	m ³	59,79	537,57	32141,31
2.4	103184	SINAPI	CONCRETAGEM DE ESCADAS EM EDIFICAÇÕES MULTIFAMILIARES FEITAS COM SISTEMA DE FÓRMAS MANUSEÁVEIS - CONCRETO USINADO AUTOADENSÁVEL, FCK 25 MPA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO.	m ³	2,49	551,77	1373,91
2.5	103672	SINAPI	CONCRETAGEM DE PILARES, FCK = 25 MPA, COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO.	m ³	8,22	537,05	4414,55
3	FORMAS						
3.1	92263	SINAPI	FABRICAÇÃO DE FÓRMA PARA PILARES E ESTRUTURAS SIMILARES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E = 17 MM. (3 utilizações)	m ²	54,84	154,18	8455,23
3.2	92265	SINAPI	FABRICAÇÃO DE FÓRMA PARA VIGAS, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E = 17 MM.(3 utilizações)	m ²	142,55	100,32	14300,62
3.3	92267	SINAPI	FABRICAÇÃO DE FÓRMA PARA LAJES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E = 17 MM.	m ²	17,59	29,65	521,54
3.4	101986	SINAPI	FABRICAÇÃO DE FÓRMA PARA ESCADAS, COM 2 LANCES EM "U" E LAJE CASCATAS, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E= 17 MM.	m ²	12,93	127,51	1648,70
4	AÇO						
4.1	96543	SINAPI	ARMAÇÃO DE BLOCO, VIGA BALDRAME E SAPATA UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5 MM - MONTAGEM.	KG	6,31	17,55	110,74

4.2	96545	SINAPI	ARMAÇÃO DE BLOCO, VIGA BALDRAME OU SAPATA UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 8 MM - MONTAGEM.	KG	180,52	15,61	2817,92
4.3	96546	SINAPI	ARMAÇÃO DE BLOCO, VIGA BALDRAME OU SAPATA UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10 MM - MONTAGEM.	KG	172,14	14,01	2411,68
4.4	92759	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5,0 MM - MONTAGEM.	KG	147,69	14,66	2165,14
4.5	92760	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 6,3 MM - MONTAGEM.	KG	745,84	14,34	10695,35
4.6	92761	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 8,0 MM - MONTAGEM.	KG	208,96	13,81	2885,74
4.7	92762	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10,0 MM - MONTAGEM.	KG	1260,4	12,54	15805,42
4.8	92763	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 12,5 MM - MONTAGEM.	KG	625,47	10,67	6673,76
4.9	92764	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 16,0 MM - MONTAGEM.	KG	179,89	10,41	1872,65
4.10	92765	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 20,0 MM - MONTAGEM.	KG	81,38	11,93	970,86
4.11	95944	SINAPI	ARMAÇÃO DE ESCADA, DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 6,3 MM - MONTAGEM.	KG	54,39	19,67	1069,85
4.12	95945	SINAPI	ARMAÇÃO DE ESCADA, DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 8,0 MM - MONTAGEM.	KG	37,92	16,72	634,02
4.13	95947	SINAPI	ARMAÇÃO DE ESCADA, DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 12,5 MM - MONTAGEM.	KG	76,08	11,06	841,44
4.14	92768	SINAPI	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5,0 MM - MONTAGEM.	KG	205,43	14,28	2933,54
4.15	92769	SINAPI	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 6,3 MM - MONTAGEM.	KG	811,95	13,94	11318,58

4.16	92770	SINAPI	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 8,0 MM - MONTAGEM.	KG	73,97	13,43	993,42
4.17	92771	SINAPI	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10,0 MM - MONTAGEM.	KG	63	12,17	766,71
4.18	92772	SINAPI	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 12,5 MM - MONTAGEM.	KG	6,26	10,33	64,67
4.19	-	SINAPI-CM	VIGOTA TR08644, ENCHIMENTO EPS, MALHA 3,4 MM A CADA 15CM, PREGO, ESCORA, FORMA E MÃO DE OBRA.	m ²	518	119,84	62077,12
5	ESCAVAÇÃO						
5.1	96522	SINAPI	ESCAVAÇÃO MANUAL PARA BLOCO DE COROAMENTO OU SAPATA (SEM ESCAVAÇÃO PARA COLOCAÇÃO DE FÔRMAS).	m ³	48,43	124,02	6006,29
TOTAL GERAL			R\$ 261.905,67				

Fonte: Autor, 2022.

APÊNDICE B – PALNILHA ORÇAMENTÁRIA PARA O PROJETO EM ALVENARIA ESTRUTURAL

QUADRO B. 1 - Planilha orçamentária para o projeto em alvenaria estrutural.

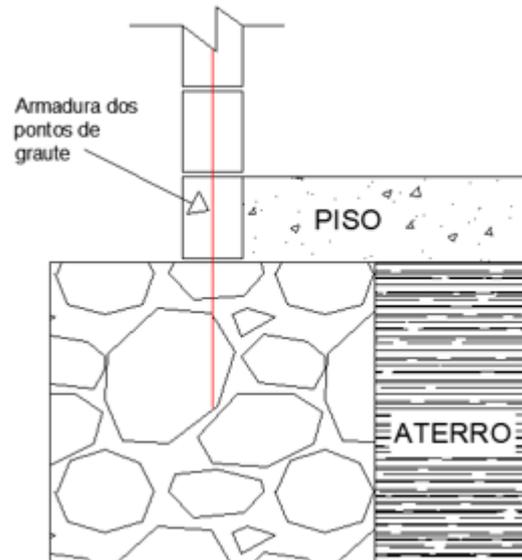
ORÇAMENTO DA ESTRUTURA EM ALVENARIA ESTRUTURAL							
ITEM	CÓDIGO	BANCO	DESCRIÇÃO	UNID.	QUANT.	VALOR UNIT.	TOTAL
1	PAREDES						
1.1	89296	SINAPI	ALVENARIA ESTRUTURAL DE BLOCOS CERÂMICOS 14X19X29, (ESPESSURA DE 14 CM), PARA PAREDES COM ÁREA LÍQUIDA MAIOR OU IGUAL A 6M², COM VÃOS, UTILIZANDO PALHETA E ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO COM PREPARO EM BETONEIRA.	m²	957,18	69,89	66897,31
2	CONCRETO/GRAUTE						
2.1	102487	SINAPI	CONCRETO CICLÓPICO FCK = 15 MPA, 30% PEDRA DE MÃO EM VOLUME REAL, INCLUSIVE LANÇAMENTO.	m³	11,97	522,9	6259,11
2.2	103675	SINAPI	CONCRETAGEM DE VIGAS E LAJES, FCK=25 MPA, PARA LAJES MACIÇAS OU NERVURADAS COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO.	m³	29,74	537,57	15987,33
2.3	103184	SINAPI	CONCRETAGEM DE ESCADAS EM EDIFICAÇÕES MULTIFAMILIARES FEITAS COM SISTEMA DE FÔRMAS MANUSEÁVEIS - CONCRETO USINADO AUTOADENSÁVEL, FCK 25 MPA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO.	m³	2,49	551,77	1373,91
2.4	89995	SINAPI	GRAUTEAMENTO DE CINTA SUPERIOR OU DE VERGA EM ALVENARIA ESTRUTURAL.	m³	6,7	877,41	5878,65
2.5	89993	SINAPI	GRAUTEAMENTO VERTICAL EM ALVENARIA ESTRUTURAL.	m³	1,96	907,07	1777,86
3	FORMAS						
3.1	101986	SINAPI	FABRICAÇÃO DE FÔRMA PARA ESCADAS, COM 2 LANCES EM "U" E LAJE CASCATA, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E= 17 MM.	m²	12,93	127,51	1648,70
3.2	92265	SINAPI	FABRICAÇÃO DE FÔRMA PARA VIGAS, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E = 17 MM.(3 utilizações)	m²	6,38	100,32	640,04
3.3	92267	SINAPI	FABRICAÇÃO DE FÔRMA PARA LAJES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E = 17 MM.	m²	17,59	29,65	521,54
4	AÇO						
4.1	92759	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5,0 MM - MONTAGEM.	KG	45,54	14,66	667,62
4.2	92761	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 8,0 MM - MONTAGEM.	KG	27,38	13,81	378,12
4.3	92763	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 12,5 MM - MONTAGEM.	KG	7,67	10,67	81,84

4.4	95944	SINAPI	ARMAÇÃO DE ESCADA, DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 6,3 MM - MONTAGEM.	KG	54,39	19,67	1069,85
4.5	95945	SINAPI	ARMAÇÃO DE ESCADA, DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 8,0 MM - MONTAGEM.	KG	37,92	16,72	634,02
4.6	95947	SINAPI	ARMAÇÃO DE ESCADA, DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 12,5 MM - MONTAGEM.	KG	76,08	11,06	841,44
4.7	92768	SINAPI	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5,0 MM - MONTAGEM.	KG	205,1	14,28	2928,83
4.8	92769	SINAPI	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 6,3 MM - MONTAGEM.	KG	585,56	13,94	8162,71
4.9	92770	SINAPI	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 8,0 MM - MONTAGEM.	KG	157,48	13,43	2114,96
4.10	89999	SINAPI	ARMAÇÃO DE VERGA E CONTRAVERGA DE ALVENARIA ESTRUTURAL; DIÂMETRO DE 8,0 MM.	KG	35,43	16,03	567,94
4.11	90000	SINAPI	ARMAÇÃO DE VERGA E CONTRAVERGA DE ALVENARIA ESTRUTURAL; DIÂMETRO DE 10,0 MM.	KG	57,36	13,3	762,89
4.12	89998	SINAPI	ARMAÇÃO DE CINTA DE ALVENARIA ESTRUTURAL; DIÂMETRO DE 10,0 MM.	KG	821,84	11,09	9114,21
4.13	-	SINAPI - CM	VIGOTA TR08644, ENCHIMENTO EPS, MALHA 3,4 MM A CADA 15CM, PREGO, ESCORA, FORMA E MÃO DE OBRA.	m ²	518	122	63196
5	ESCAVAÇÃO						
5.1	93358	SINAPI	ESCAVAÇÃO MANUAL DE VALA COM PROFUNDIDADE MENOR OU IGUAL A 1,30 M.	m ³	11,97	68,67	821,98
TOTAL GERAL			R\$ 192.326,85				

Fonte: Autor, 2022.

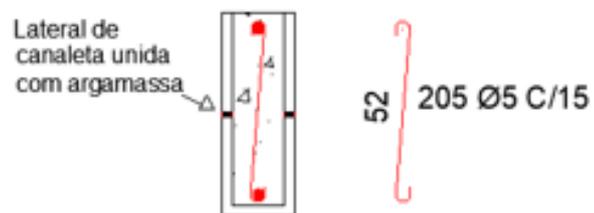
APÊNDICE C – DETALHES DA FUNDAÇÃO E ARMAÇÃO DE VERGAS COM DUAS FIADAS

FIGURA C. 1 - Detalhe do tipo de fundação considerada no projeto de alvenaria



Fonte: Autor, 2022.

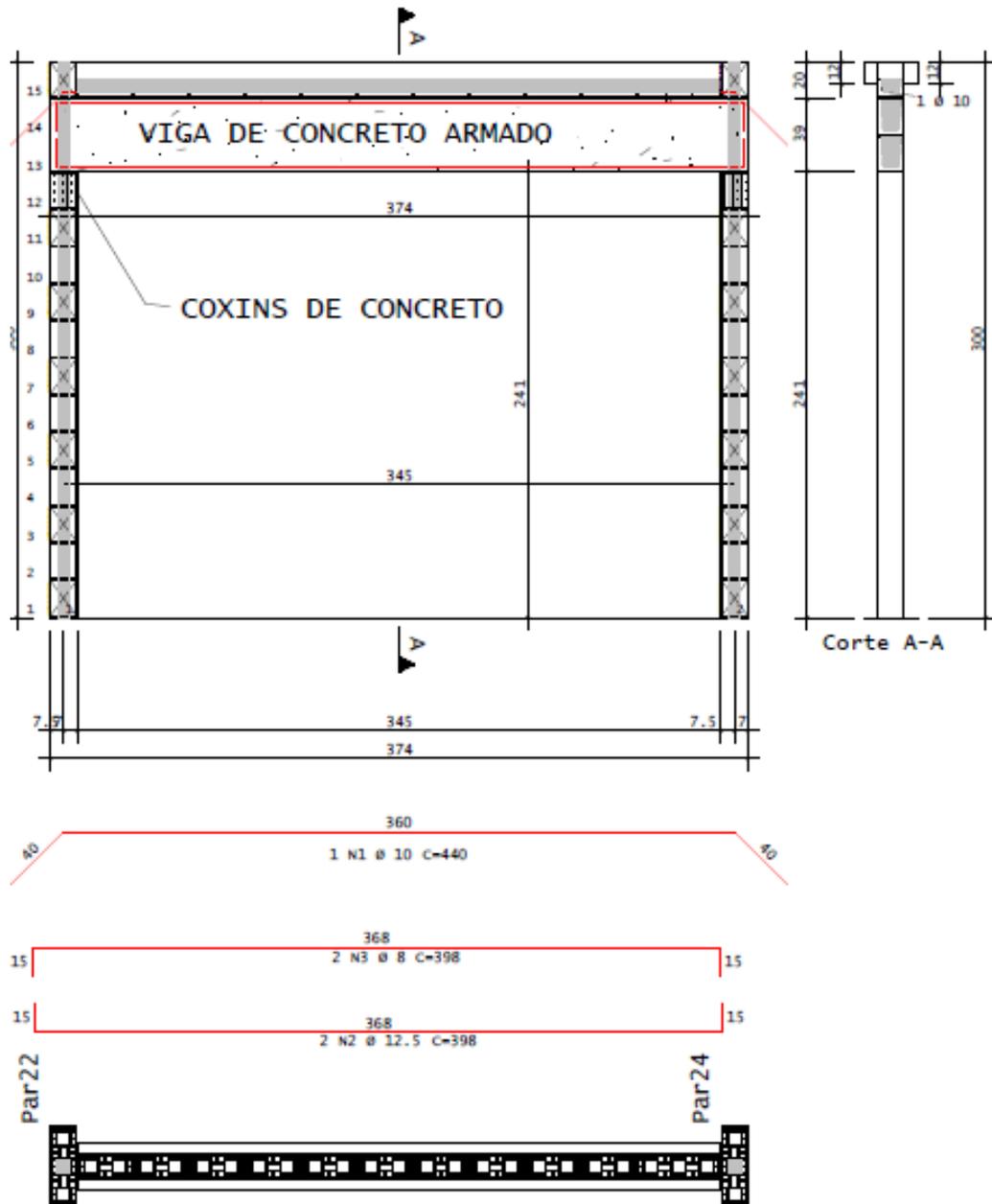
FIGURA C. 2 - Detalhe de estribos das vergas com 2 fiadas.



Fonte: Autor, 2022.

APÊNDICE D – DETALHES DE VIGAS DE CONCRETO NO PROJETO DE ALVENARIA

FIGURA D. 1- Exemplo de uma das elevações do projeto em alvenaria com elementos de concreto armado.



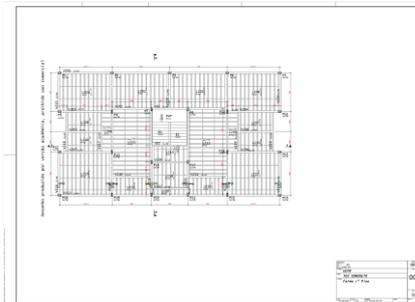
Fonte: Autor, 2022.

ANEXOS

ANEXO A – PLANTAS DE FORMAS E PEDIDOS DE LAJE TRELIÇADA PARA O PROJETO DE CONCRETO

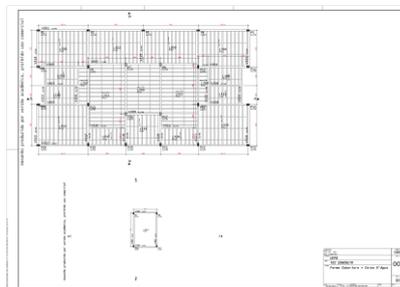
“Dê um duplo clique nas imagens no documento Word para visualizar os arquivos no seu leitor de PDF”

Figura A. 1- Planta de forma para o 1º piso.



Fonte: Autor, 2022.

Figura A. 2 - Planta de forma para a cobertura.



Fonte: Autor, 2022.

Figura A. 3 - Resumo para pedido de vigotas.

A technical drawing showing a summary table for the request of beams. The table is organized into several columns and rows, detailing the specifications and quantities for the beams. A small table in the bottom right corner contains project information.

Fonte: Autor, 2022.