

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS

CAMPUS GOIÂNIA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

DAVY FOGAÇA NOGUEIRA

**ASPECTOS CONSTRUTIVOS E DE DIMENSIONAMENTO DE UMA HABITAÇÃO
UNIFAMILIAR EM PAINÉIS MONOLÍTICOS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO
(EPS)**

Goiânia, GO

2022

Davy Fogaça Nogueira

**ASPECTOS CONSTRUTIVOS E DE DIMENSIONAMENTO DE UMA HABITAÇÃO
UNIFAMILIAR EM PAINÉIS MONOLÍTICOS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO
(EPS)**

**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação de
Engenharia Civil, do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de
Goiás, Campus Goiânia, como parte dos
requisitos necessários para obtenção
do título de Bacharel em Engenharia
Civil**

**Orientador: Prof. Ms. Cláudio Marra
Alves**

Goiânia, GO

2022

N778a Nogueira, Davy Fogaça.

Aspectos construtivos e de dimensionamento de uma habitação unifamiliar em painéis monolíticos de poliestireno expandido (EPS) / Davy Fogaça Nogueira. – Goiânia : Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2021.
48f.

Orientação: Prof. Ms. Cláudio Marra Alves.

TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) – Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.
Inclui apêndice.

1. Poliestireno expandido. 2. Construção civil. I. Alves, Cláudio Marra (orientação). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. III. Título.

CDD 668.423 3

**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO
NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Davy Fogaça Nogueira

Matrícula: 20181011050413

Título do Trabalho: Aspectos construtivos e de dimensionamento de uma habitação unifamiliar em painéis monolíticos de poliestireno expandido (EPS).

Autorização - Marque uma das opções

1. (x) Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. () Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. () Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- () O documento está sujeito a registro de patente.
() O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
() Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnicocientífica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Goiânia, 17/03/2022.

Local Data



Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS GOIÂNIA

ATA DA SESSÃO PÚBLICA DE APRESENTAÇÃO E DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

No dia 18/02/2022 , às 15:00 h, via Google Meet para o Instituto Federal de Goiás, Câmpus Goiânia , Estado de Goiás, foi realizada a sessão pública de apresentação e defesa do Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil de **Davy Fogaça Nogueira** . A banca foi composta pelos seguintes membros: Me. Claudio Marra Alves (orientador), Dr. Liana de Lucca Jardim Borges ; Me. Glydson Ribeiro Antonelli, sob a presidência da primeira(o). O trabalho de conclusão de curso tem como título “ **ASPECTOS CONSTRUTIVOS E DE DIMENSIONAMENTO DE UMA HABITAÇÃO UNIFAMILIAR EM PAINÉIS MONOLÍTICOS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)** ”. Após a apresentação do Trabalho de Conclusão de Curso, tendo sido o autor arguido pela Banca Examinadora, a nota obtida foi 9,7. Eu, Profa. Matilde Batista Melo, dato e assino a presente ata que segue assinada por todos os membros da banca.

Me. Claudio Marra Alves (orientador)

Me. Glydson Ribeiro Antonelli

Dr. Liana de Lucca Jardim Borges

Documento assinado eletronicamente por:

- Liana de Lucca Jardim Borges, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 20/02/2022 20:50:14.
- Claudio Marra Alves, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 19/02/2022 15:13:26.
- Glydson Ribeiro Antonelli, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 18/02/2022 18:18:20.
- Matilde Batista Melo, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 18/02/2022 16:53:24.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 18/02/2022. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 248506
Código de Autenticação: 5cacb9ab23



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Rua 75, nº 46, Centro, GOIÂNIA / GO, CEP 74055-110
(62) 3227-2736 (ramal: 2736)

DEDICATÓRIA

Agradeço primeiramente a minha mãe, Raquel Fogaça, que já faleceu, mas que sempre apoiou os meus estudos. Família é amor.

Agradeço também, Adalberto Machado da Silva Filho, dono de uma das franquias da empresa EPS Brasil, pela colaboração e ter disponibilizado acesso a obra na cidade de Senador Canedo, sendo de suma importância para o desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, agradeço ao professor Cláudio Marra por ter me orientado nesse trabalho e por ter tirado as minhas diversas dúvidas que eu tive durante o percurso.

RESUMO

ASPECTOS CONSTRUTIVOS E DE DIMENSIONAMENTO DE UMA HABITAÇÃO UNIFAMILIAR EM PAINÉIS MONOLÍTICOS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)

AUTOR: Davy Fogaça
ORIENTADOR: Cláudio Marra

Empregando como base o projeto técnico de uma habitação unifamiliar disponibilizado no site da Fundação Nacional de Saúde (Funasa), órgão do Ministério da Saúde, por meio do programa de Melhorias Habitacionais para o Controle da Doença de Chagas, lançado em 2013, este trabalho tem por objetivo analisar a utilização de paredes sanduíche compostas de argamassa armada com núcleo de POLIESTIRENO EXPANDIDO. Neste trabalho é apresentado o sistema construtivo, como aspectos históricos, conceituação básica, aspectos construtivos e de dimensionamento. Por fim, há um comparativo de custo de obra, comparando o custo da obra tradicional com o custo de uma obra em painéis monolíticos de EPS, observando a viabilidade do sistema construtivo.

Palavras-chave: Poliestireno Expandido; EPS; Paredes Sanduíche

ABSTRACT

CONSTRUCTION AND SIZING ASPECTS OF A SINGLE-FAMILY HOUSING IN EXPANDED POLYSTYRENE MONOLITHIC PANELS (EPS)

AUTHOR: Davy Fogaça
ADVISOR: Cláudio Marra

Using as a basis the technical project of a single-family housing available on the website of the National Health Foundation (Funasa), an agency of the Ministry of Health, through the Housing Improvements program for the Control of Chagas Disease, launched in 2013, this work has in order to analyze the use of sandwich walls composed of reinforced mortar with an EXPANDED POLYSTYRENE core. In this work, the construction system is presented, as historical aspects, basic concept, construction and dimensioning aspects. Finally, there is a comparison of the cost of work, comparing the cost of the traditional work with the cost of a work in monolithic EPS panels, observing the feasibility of the construction system.

Key-words: Expanded polystyrene; EPS; Sandwich walls

Listas de Figuras

Figura 1.1 - Painel monolítico de EPS.....	15
Figura 2.1 - Planta baixa do projeto base.....	21
Figura 2.2 - Vergas sobre e sob os vãos.....	23
Figura 2.3 - Detalhe de nivelamento da elevação da alvenaria.....	24
Figura 2.4 - Detalhe de prumada da elevação da alvenaria	24
Figura 2.5 - Detalhe da Cinta de amarração do respaldo e baldrame.....	25
Figura 2.6 - Vista frontal de um projeto com cinta de amarração	26
Figura 2.7 - Perspectiva 3d externa do projeto.....	27
Figura 3.1 - Núcleo de EPS com Armaduras.....	29
Figura 3.2 - EPS de forma granular.....	32
Figura 3.3 - Pérola antes da expansão e granulado após a expansão	32
Figura 3.4 - Processo moldagem de um bloco de EPS.....	33
Figura 3.5 - Blocos de EPS	34
Figura 3.6 - Painéis de EPS cortado	34
Figura 3.7 - Tela soldada Q61 15x15 fio 3.4mm - 6x2,45m	38
Figura 3.8 - Máquina para telas eletrosoldadas MMES 01.....	39
Figura 3.9 - Esquema da parede sanduíche	40
Figura 4.1 - Disposição das barras de ancoragem.....	43
Figura 4.2 - Ancoragem dos painéis.....	43
Figura 4.3 - Amarração das telas entre si	44
Figura 4.4 - Reforços em laterais e cantos das aberturas.....	45
Figura 4.5 - Reforço com duas barras CA-50 de 8mm	45
Figura 4.6 - Gabaritos em formato de L, T e X.....	46
Figura 4.7 - Gabaritos sendo utilizado na união das paredes para auxiliar no esquadro	46
Figura 4.8 - Visão Esquemática 3D do painel e instalações	47

Figura 4.9 - Abertura de sulcos para instalações complementares.....	47
Figura 4.10 - Travamento das paredes com sarrafos e escoras de madeira	48
Figura 4.11 - Projeção de argamassa nas paredes	49
Figura 4.12 - Parede de EPS coberta de argamassa.....	49
Figura 4.13 -Laes treliçacadas montadas obre as paredes de EPS.....	50
Figura 5.1 - Tipos de composição de uma seção sanduíche. a) Composição total ; b) Composição parcial; c) Não-composta ;d) Não-composta com uma face resistente	53
Figura 5.2 - Diagrama dos domínios de deformações.....	54
Figura 5.3 - Equilíbrio das forças normais na flexo-tração e flexo compressão com grande excentricidade	54
Figura 5.4 - Comprimento equivalente l_e	57
Figura 5.5 - Classe de Agressividade Ambiental.....	60
Figura 5.6 - Correspondência entre Classe de Agressividade e Qualidade do concreto	60
Figura 5.7 - Planta da cobertura do projeto da Funasa	62
Figura 5.8 - Planta de forma do Projeto	63
Figura 5.9 - Planta de Esforços normais	65
Figura 5.10 - Vinculação dos painéis analisados	70

Listas de Tabelas

Tabela 3.1 – Tabela características do EPS	35
Tabela 3.2 – Preço dos blocos de EPS da Isoeste Kingspan.....	35
Tabela 3.3 – Telas soldadas para autoconstrução.....	36
Tabela 3.4 – Aplicações da tela soldada para autoconstrução	37
Tabela 5.1 – Peso próprio de cada estrutura	61
Tabela 5.2 – Ações permanentes em cada parede.....	64
Tabela 5.3 – Ação variável	64
Tabela 5.4 – Telas soldadas	66
Tabela 5.5 – Verificação da armadura Q61.....	69
Tabela 5.6 – Verificação da armadura Q75.....	69
Tabela 5.7 – Verificação da armadura Q92.....	69
Tabela 6.1 – Total de materiais utilizados na estrutura da edificação	71
Tabela 6.2 – Traço utilizado para Argamassa	72
Tabela 6.3 – Total de constituintes da argamassa.....	72
Tabela 6.4 – Quantitativo do aço em quilos	72
Tabela 6.5 – Quantitativo da tela eletrosoldada	73
Tabela 6.6 – Planilha orçamentária sintética - Tradicional	74
Tabela 6.7 – Planilha orçamentária sintética – Paredes Sanduíche	75

Listas de Abreviaturas

FUNASA - Fundação Nacional de Saúde

ABRAPEX – Associação Brasileira do Poliestireno Expandido

EPS – Poliestireno Expandido

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

SINAT– Sistema Nacional de Avaliações Técnicas de Produtos Inovadores e Sistemas Convencionais

MHCDCh – Programa de Melhorias Habitacionais para o Controle da Doença de Chagas

SINAPI– Sistema Nacional de Pesquisas de Custos e Índices

IPT – Insituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo

IBTS– Instituto Brasileiro de Telas Soldadas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Objetivo Geral	16
1.2	Objetivo específico	16
1.3	Metodologia	16
1.4	Apresentação	17
2	APRESENTAÇÃO DO PROJETO DA FUNASA	19
2.1	Projeto Funasa	19
2.2	Projeto Base	20
3	PAINEL MONOLÍTICO DE POLIESTIRENO EXPANDIDO	28
3.1	Histórico	28
3.2	Normatização	30
3.3	Composição	31
3.3.1	EPS	31
3.3.2	Tela Soldada	36
3.3.3	Conectores	39
4	MONTAGEM DOS PAINÉIS	41
4.1	Detalhes construtivos	42
4.2	Projeção de argamassa	48
4.3	Montagem e execução de laje	50
5	DIMENSIONAMENTO	51
5.1	Introdução	51
5.2	Estado Limite último	51
5.2.1	Flexão Composta	53
5.2.2	Avaliação do índice de esbeltez das paredes sanduíches	57
5.3	Estrutura em paredes de EPS	58
5.3.1	Considerações iniciais de Projeto	59
5.3.2	Ações consideradas	61
5.3.2.1	Ações	64

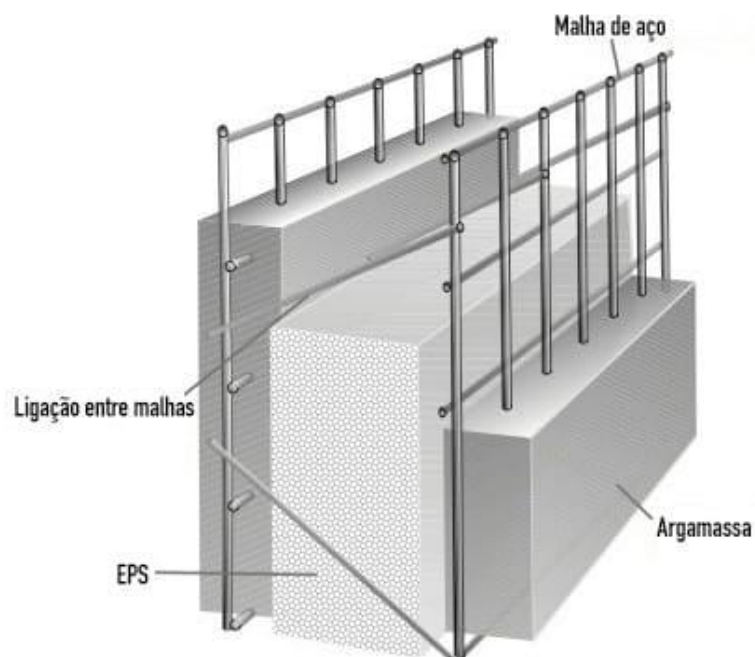
5.3 Dimensionamento	65
6 QUANTITATIVO E ORÇAMENTOS DOS MATERIAIS EMPREGADOS NO SISTEMA CONSTRUTIVO APRESENTADO	71
6.1 Quantitativo do sistema construtivo em paredes sanduíche	71
6.2 Comparação do custo entre o sistema construtivo tradicional e o sistema em argamassa armada	73
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	76
7.1 Conclusões	76
7.2 Sugestões para futuros trabalhos de conclusão de curso	77
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
APÊNDICE A – ORÇAMENTO EPS ISOESTE KINGSPAN	83
APÊNDICE B – PROJETO ARQUITETÔNICO DA OBRA DE SENADOR CANEDO DA EPS BRASIL.....	84
APÊNDICE C –CÁLCULO PESO PRÓPRIO	85
APÊNDICE D – CÁLCULO DE AÇÕES PERMANENTES, ACIDENTAIS E VARIÁVEIS	87
APÊNDICE E – MEMÓRIA DE CÁLCULO DOS QUANTITATIVOS	88
APÊNDICE F –TRAÇOS E PROPRIEDADAS DAS ARGAMASSAS	89

1 INTRODUÇÃO

O Poliestireno Expandido além de ser um material 100% reciclável tem como características uma grande diversidade de formatos, baixa condutividade térmica, composta em 98% de ar, excelente comportamento na absorção de impactos e uma boa resistência à compressão. Na construção civil, o baixo peso próprio do EPS, apresenta excelente relação custo benefício, aliviando as cargas sobre pilares e vigas, além de facilitar o manuseio na montagem. O painel monolítico de poliestireno expandido deixa a construção muito mais leve, tem alta resistência à compressão, à vibração mecânica e baixa absorção de umidade. É indicado como solução para a industrialização da construção civil, pois consegue proporcionar qualidade, velocidade, racionalização, além de diminuir atividades artesanais no canteiro de obras (ABRAPEX, 2021).

Conforme a Figura 1, em síntese, painéis monolíticos em EPS, são a junção de malhas de aço eletrossoldadas nos dois lados do painel industrializado em poliestireno expandido; onde serão efetuadas as montagens hidráulicas e elétricas e posteriormente a argamassa.

Figura 1.1: Painel monolítico de EPS



Fonte: Vivadecora (2019)

Com tantas características benéficas, o painel monolítico vem ganhando espaço na construção civil, mais especificamente como alvenaria, os painéis monolíticos podem ser utilizados tanto como fechamento estrutural, bem como estrutura de vedação.

1.1 OBJETIVO GERAL

Tem-se como objetivo geral demonstrar os aspectos construtivos e de dimensionamento na utilização de painéis monolíticos de EPS como painéis de vedação e estrutural de uma habitação unifamiliar proposta pela Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), disponibilizado no próprio site da FUNASA.

1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Apresentar o processo construtivo dos painéis monolíticos de EPS;
- Apresentar um modelo de dimensionamento para a seção dos painéis sanduíche isolados;
- Realizar um comparativo de custo, mão de obra e material, entre o uso dos painéis monolíticos e a alvenaria utilizada no projeto de habitação unifamiliar proposto pela Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), abrangendo os conhecimentos necessários para sua elaboração.

1.3 METODOLOGIA

A ideia deste projeto baseou-se no desejo de conhecimento dos Painéis Monolíticos de EPS. Para isto optou-se por utilizar o mesmo projeto utilizado no trabalho de conclusão de curso Mota (2021): *Análise de Soluções sustentáveis para moradia unifamiliar*, que tratou de buscar as principais soluções e tecnologias sustentáveis sendo utilizadas atualmente e avaliar os custos para implementação em um projeto de residência unifamiliar. Neste citado trabalho, MOTA (2020), com base no projeto da FUNASA, apresentou recursos e soluções que possam ser empregados na construção de residências sustentáveis, e fazendo um comparativo entre as

construções sustentáveis e as construções tradicionais, por fim, observou a viabilidade econômica da implementação de técnicas sustentáveis.

Para o desenvolvimento do referencial teórico utilizou-se as seguintes normas técnicas:

- a) ABNT NBR 6120, Ações para o cálculo de estruturas de edificações;
- b) ABNT NBR 7480, Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificação;
- c) SINAT DIRETRIZ 11, Paredes, moldadas no local, constituídas por componentes de poliestireno expandido (EPS), aço e argamassa, microconcreto ou concreto;
- d) ABNT NBR 15575, Edificações habitacionais — Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais;
- e) ABNT NBR 11173, Projeto e execução de argamassa armada;
- f) ABNT NBR 6118, Projeto de estruturas de concreto – Procedimentos.

Para o estudo voltado ao emprego de painéis monolíticos de poliestireno expansível em casas, este trabalho de conclusão de curso irá se basear em pesquisas bibliográficas pretendendo encontrar métodos de cálculos estruturais possíveis para dimensionar os painéis monolíticos para o projeto referido.

1.4 APRESENTAÇÃO

Este trabalho tem o intuito de estudar as chamadas casas de EPS.

Discorre-se sobre o assunto, desde a criação do EPS, sua utilização na construção civil, obras referenciais e cálculos dos painéis de EPS.

Destaca-se também os benefícios deste tipo de construção, além do mais dar-se-á ênfase em sua agilidade na construção e ser um tipo de obra limpa e sustentável.

Apresenta-se o projeto base utilizado com especificações técnicas, detalhes de plantas e perspectivas 3d uma habitação unifamiliar da FUNASA.

Com o projeto proposto apresentado, desenvolvem-se os cálculos para o dimensionamento das paredes de forma que suportem todas os carregamentos solicitantes obedecendo as normas técnicas.

Por fim, elaboram-se planilhas orçamentárias comparando o custo da construção tradicional com o custo da construção com painéis monolíticos.

2 APRESENTAÇÃO DO PROJETO DA FUNASA

2.1 PROJETO FUNASA

A Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) é um órgão vinculado ao Ministério da Saúde do governo do Brasil responsável por proporcionar saneamento básico à população. A FUNASA é também a instituição responsável por formular e implementar ações de promoção e proteção à saúde relacionadas com as ações estabelecidas pelo Subsistema Nacional de Vigilância em Saúde Ambiental (FUNASA, 2018).

Em suas funções, a FUNASA direciona as ações de saneamento para as comunidades em que as pesquisas de saúde demonstram a presença de enfermidades provocadas pela falta da inadequação de saneamento.

A FUNASA também tem a função de prestar apoio financeiro no combate, controle e redução da mortalidade infantil e da incidência de doenças de veiculação hídrica ou causadas pela falta de saneamento básico e ambiental.

No Brasil é intitulada como base em indicadores sanitários, epidemiológicos, ambientais e sociais por ser a mais antiga e contínua entidade com experiências em ações de saneamento no País.

A FUNASA lançou em 2013 o programa de Melhorias Habitacionais para o Controle da Doença de Chagas que propõe a Melhoria da Habitação em que suas condições físicas não favorecem a colonização de triatomíneos associados à pressão de exemplares de procedência silvestre reinfestando o peri e o intradomicílio, assim facilitando o controle desses vetores (FUNASA, 2017).

O Programa de Melhorias Habitacionais para o Controle da Doença de Chagas (MHCDCh) fomenta a execução dos seguintes objetos:

- Restauração - reforma de domicílio, visando à melhoria das condições físicas da casa, bem como do ambiente externo (peridomicílio);
- Reconstrução - caso especial, quando a estrutura da habitação não suporte as melhorias necessárias, a mesma deverá ser demolida e reconstruída.

No site da FUNASA é disponibilizado modelos de projetos técnicos de engenharia (arquitetônico, fundação, estrutural, elétrico e hidrossanitário) para os casos de reconstrução das habitações que não suportem estruturalmente as melhorias necessárias.

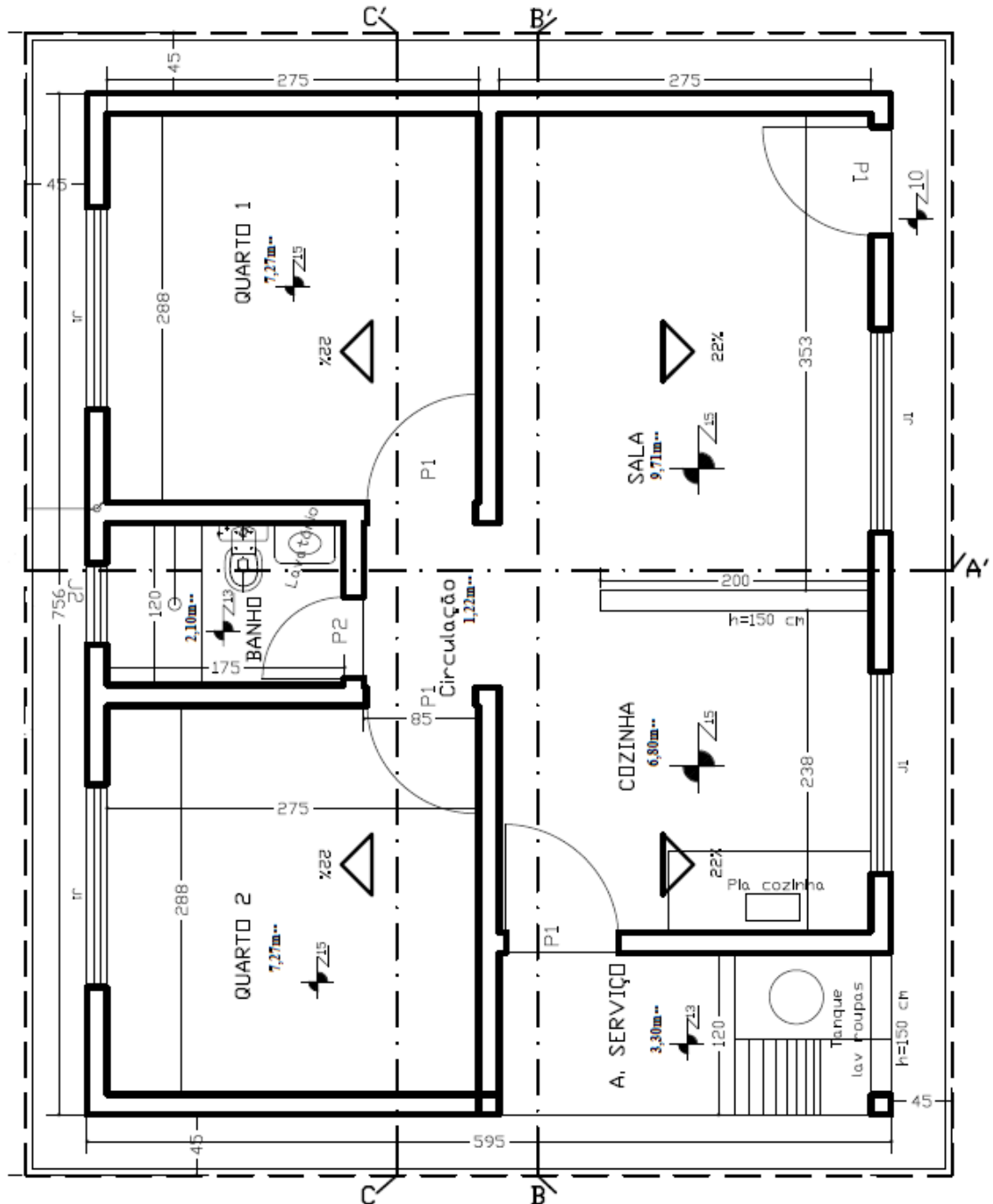
Estes modelos não pretendem padronizar os projetos, possuem apenas o objetivo de oferecer subsídios e sugestões e devem obrigatoriamente ser adequados às características da localidade.

O projeto da FUNASA que será utilizado como base para realização deste trabalho apresenta como método construtivo soluções tradicionais utilizadas perenemente na construção civil. Neste caso será proposto a alteração da alvenaria e estrutura tradicional para uma construção com painéis monolíticos de EPS. Serão mantidas as dimensões do projeto e especificações técnicas oferecidas pela FUNASA.

2.2 PROJETO BASE

Apresenta-se na Figura 2.1 o projeto base da FUNASA, referência para o desenvolvimento deste trabalho. Com uma área total construída aproximada de 45 m², a habitação unifamiliar é composta por dois quartos, banheiro social, sala e cozinha integrados, e varanda com área de serviço.

Figura 2.1 Planta baixa do projeto base



PLANTA BAIXA

Fonte: FUNASA (2017)

Conforme o material da FUNASA, algumas especificações técnicas do projeto são definidas a seguir:

- *Locação da obra*

A casa e demais obras deverão ser locadas de forma que o terreno naturalmente propicie o fluxo dos esgotos na direção do tanque séptico e em seguida para o sumidouro e, de preferência, que a frente da casa esteja voltada para o nascente.

- *Fundação*

A fundação da casa deverá ser executada em alvenaria de pedra calcária e ou quartzosa em junta seca, ou estrutura equivalente, conforme a disponibilidade do material na região e construída de forma a garantir a estabilidade das edificações. A alvenaria de fundação deverá ter as seguintes dimensões:

- Largura igual a 30 cm (trinta centímetros);
- Altura (profundidade) igual a 40 cm (quarenta centímetros);
- O comprimento deverá apoiar todas as paredes da casa, inclusive as paredes que apoiam a pia e o tanque de lavar roupas.

- *Alvenaria*

As paredes de alvenaria da casa deverão ser executadas com blocos cerâmicos de vedação, com dimensões nominais de 10x20x20 cm, e deverão ser assentados em juntas de 1,0 cm argamassadas, traço 1:5 de cimento e areia média lavada.

As construções dos cantos devem ser executadas com todas as medidas corretas (nivelamento, perpendicularidade, prumo, espessura das juntas), passando os cantos a constituírem-se em gabarito para a construção em si, das paredes.

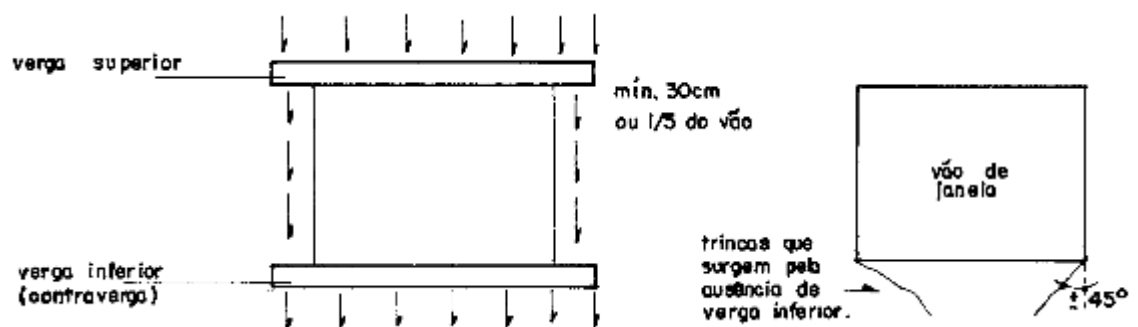
Na elevação de paredes relativamente esbeltas, em regiões sujeitas a ventos fortes, é conveniente escorar a parede lateralmente, numa fase em que sua capacidade de resistência ainda não foi atingida; na colocação de formas e cimbramentos para a construção de vergas, cintas ou lajes, deve-se evitar o destacamento de blocos recém-assentados pois tais destacamentos poderão se manifestar posteriormente nas faces das paredes, mesmo nas revestidas.

As alvenarias apresentam como regra geral, bom comportamento às cargas verticais centradas que produzem tensões de compressão axial; o mesmo não ocorre com as tensões de cisalhamento, provenientes, por exemplo, de recalques de fundação, ou com tensões de tração, naquelas de carregamentos verticais excêntricos.

Na execução das paredes são deixados os vãos de portas e janelas. Sobre o vão das portas e sobre e sob os vãos das janelas devem ser construídas vergas (Figura 2.2). Quando trabalha sobre o vão, a função da verga é evitar as cargas nas esquadrias e quando trabalha sob o vão, têm a finalidade de distribuir as cargas concentradas uniformemente pela alvenaria inferior.

As vergas podem ser pré-moldadas ou moldadas no local, e devem exceder ao vão no mínimo 30 cm ou 1/5 do vão.

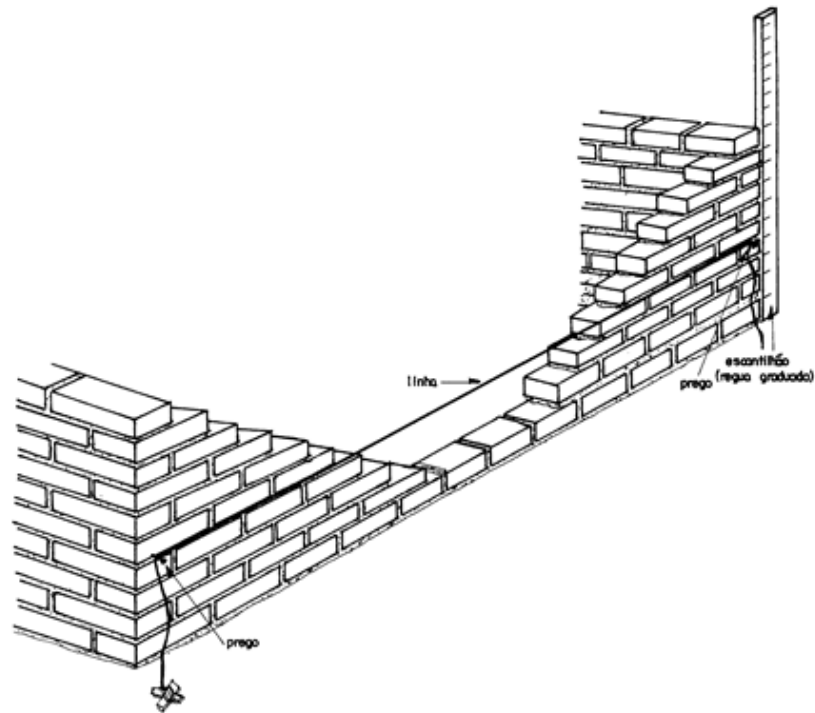
Figura 2.2 Vergas sobre e sob os vãos



Fonte: FUNASA (2017)

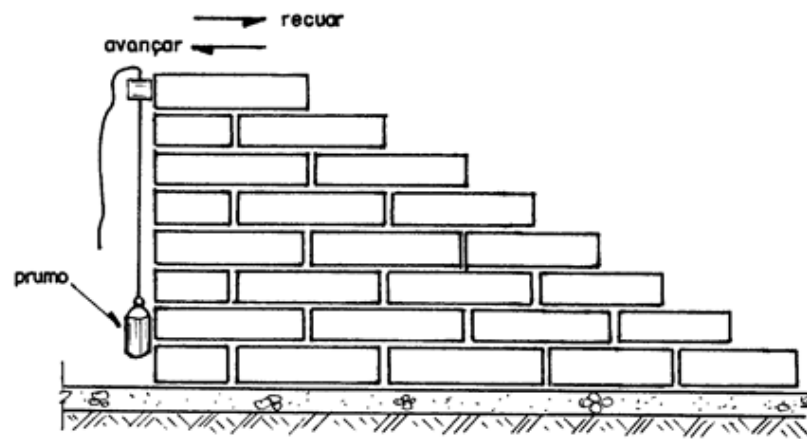
As paredes serão erguidas conforme o projeto de arquitetura. O serviço é iniciado pelos cantos (Figura 2.3) após o destacamento das paredes (assentamento da primeira fiada), obedecendo ao prumo de pedreiro para o alinhamento vertical (Figura 2.4) e o escantilhão no sentido horizontal (Figura 2.3). As imagens abaixo apresentadas são de tijolos maciços, porém os tijolos utilizados na construção da alvenaria são de tijolos cerâmicos.

Figura 2.3 Detalhe de nivelamento da elevação da alvenaria



Fonte: FUNASA (2017)

Figura 2.4 Detalhe de prumada da elevação da alvenaria



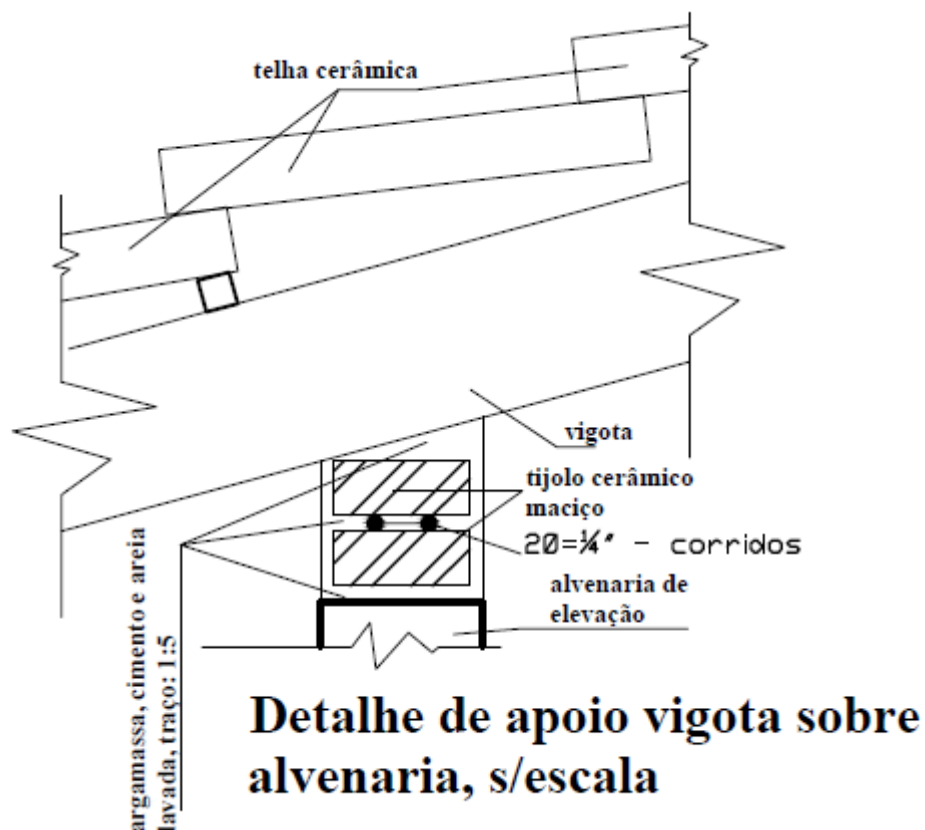
Fonte: FUNASA (2017)

- *Estrutura*

A residência unifamiliar terá laje pré-fabricada para forro do banheiro com altura de 8cm. As vergas das portas e janelas serão pré-moldadas 10x10 cm, com concreto $f_{ck}=20$ Mpa.

A amarração da estrutura (respaldo e baldrame) será feita em tijolo cerâmico maciço – 10x20x05cm, com duas camadas e com duas barras de vergalhão CA-50 6.3mm, corridos (Figura 2.5).

Figura 2.5 Detalhe da cinta de amarração do respaldo e baldrame

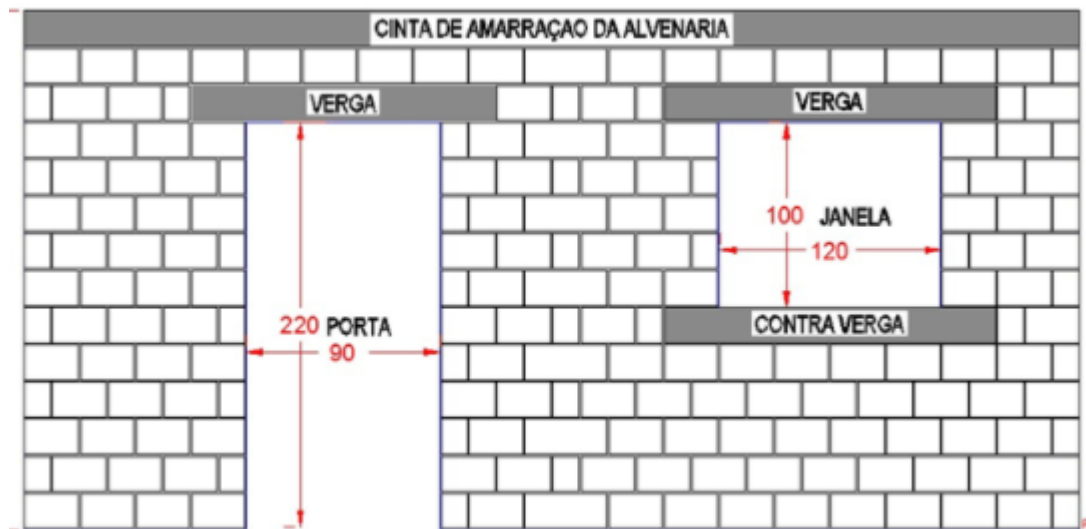


Fonte: FUNASA (2017)

Conforme as especificações técnicas do projeto da FUNASA, a residência unifamiliar terá ausência de vigas e pilares na parte estrutural. A Figura 2.6, ilustra

bem como funciona esse tipo de construção, com vergas e cinta de amarração, e sem vigas e pilares. A Figura 2.7 apresenta perspectiva 3d da construção.

Figura 2.6 Vista frontal de um projeto com cinta de amarração



Fonte: EP Blocos (2021)

Figura 2.7 Perspectiva 3d externa do projeto



FONTE: Antunes (2020)

3 PAINEL MONOLÍTICO DE POLIESTIRENO EXPANDIDO

3.1 HISTÓRICO

O sistema de painel monolítico de poliestireno expandido, foi desenvolvido por volta do ano de 1980 por uma empresa italiana chamada *Monolite*, que na época nomeou como *Sistema Monolite*. O desenvolvimento deste sistema se deu por aspectos necessários para construção na época, como para atender as exigências técnicas, construtivas e climáticas das regiões, atender necessidades específicas de locais sujeitos a altas temperaturas com o calor ou em locais com temperaturas baixas no em invernos rigorosos, e também, para atender solicitações críticas das estruturas, como no caso de regiões com abalos sísmicos. (Bertoldi, 2007)

Este sistema está presente a mais de 30 anos na construção civil de países como Itália, França, Inglaterra, Alemanha, EUA e entre outros. O sistema construtivo *Monolite*, em síntese, é um sistema de construção anti-sísmico, isolante térmico e acústico e de alta resistência ao impacto. É composto principalmente por argamassa, que é integrada numa placa de poliestireno expandido de grande dimensão, e por duas malhas de aço de alta resistência, interligadas por barras de aço eletrosoldadas. (Lello, Faria e Sousa, 2000)

O EPS (poliestireno expandido) é utilizado na construção civil brasileira com crescente aceitação, sendo empregado em juntas de dilatação, caixão perdido, isolamento e fundação de estradas. O EPS também é utilizado muito na execução de lajes. (LUEBE, 2004)

No Brasil, sistema *Monolite* chegou por volta do ano 1990, quando foi submetido a análises apresentando resultados positivos em relação ao comportamento estrutural, conforto térmico e impermeabilidade (Bertoldi, 2007).

O sucesso de tal sistema é justificado por alguns fatores como obra limpa com baixa produção de resíduos, baixa contaminação de solo, água e ar, e economia de água na execução e por ser composto de material reciclável. O material demonstra segurança por possuir propriedades retardante a chama, com eficiência termo/acústica, inerente e resistente à agressão de agente biológicos. Outros fatores importantes são a facilidade de fixar as tubulações, redução do consumo de aço,

otimização do tempo da construção e elevada produtividade e serialização da construção. Outra característica importante seria facilidade de transporte por ser um material leve e compacto, pesando entre 2,5kg/m² a 4kg/m² (antes da aplicação da argamassa), ao contrário da alvenaria tradicional que podem chegar a 120kg/m². (JJ DESING, 2016)

Este sistema monolítico foi desenvolvido para distribuir de maneira uniforme as cargas sobre as fundações, característica de grande vantagem quanto à estabilidade da edificação (Figura 3.1).

Figura 3.1 Núcleo de EPS com Armaduras



Fonte: Própria (2021)

3.2 NORMATIZAÇÃO

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é um órgão voltado para a concepção de diferentes normas que objetivam a padronização de diversos procedimentos dentro do país. Portanto, a partir destas normas, são designados os padrões das formas de atuação e elaboração dos projetos. Além do mais, existe o Sistema Nacional de Avaliação Técnica (SINAT), que tem o compromisso de atender assuntos ainda não tratados nas normas técnicas, isso se dá, principalmente em relação a métodos construtivos inovadores que ainda não foram compreendidos nas normas técnicas prescritivas.

O poliestireno expandido (EPS) é utilizado na construção civil desde os anos 60, em obras de prédios e residências, pontes, ferrovias. E assim, como qualquer insumo da construção civil, há normas regulamentadoras. Algumas dessas normas são:

- ABNT NBR 8081, Espuma rígida de poliuretano para fins de isolamento térmica- Permeabilidade ao valor de água:
- ABNT NBR 7973, Poliestireno expandido para isolamento térmica – Determinação de absorção de água:
- ABNT NBR 8082 1983, Espuma rígida de poliuretano para fins de isolamento térmica – Resistência à compressão – Método de ensaio:
- ABNT NBR 11948, Poliestireno expandido para isolamento térmica – Determinação da flamabilidade;
- ABNT NBR 11949, Poliestireno expandido para isolamento térmica – Determinação da massa específica aparente;
- ABNT NBR 12094, Espuma rígida de poliuretano para fins de isolamento térmico – Determinação de condutividade térmica – Método de ensaio.

Ao citar construções de edificações habitacionais atentar-se à norma NBR 15575 (ABNT, 2013) - Desempenho de edificações habitacionais. A norma foi formulada com objetivo de garantir que empresas do setor da construção civil acatem um critério mínimo de qualidade e segurança em suas obras.

Nas construções de painéis monolíticos de EPS, os construtores devem se atentar à NBR 7480 (ABNT, 2007), aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado de acordo com a tela de aço soldada, ao SINAT, a partir da diretriz nº011 -

Diretriz para Avaliação Técnica de Paredes, moldadas no local, constituídas por componentes de poliestireno expandido, aço e argamassa, microconcreto ou concreto, e a norma NBR 11173 (ABNT, 1990), projeto e execução de argamassa armada.

3.3 COMPOSIÇÃO

O painel monolítico, é composto por EPS, telas soldadas e conectores

3.3.1 EPS

O EPS hoje atende uma vasta demanda de atividades, desde indústrias de eletrônicos, fármacos, alimentos e bebidas, utilitários e decorativos à construção civil. Devido as suas características, como isolante térmico, peso reduzido com alta resistência e sua facilidade de manuseio, o EPS é utilizado comumente nas obras de construção civil (Neto, 2008).

De acordo com a definição DIN ISO-1043/78, o EPS é a sigla internacional do Expanded Polystyrene. Descoberto na Alemanha em 1949, os químicos Fritz Stasnt e Karl Buchholz, por meio de experimentos, conseguiram fabricar um novo tipo de material, o EPS, que é conhecido popularmente como Isopor®, marca que foi registrada pela Knauf isopor LTDA. Sendo o EPS um plástico celular rígido proveniente da polimerização do estireno em água. Em sua fase de polimerização é adicionado um elemento expansivo, um hidrocarboneto, geralmente o pentano, que entra em ebulição à temperatura ambiente além de serem adicionados aditivos para melhorar as propriedades do poliestireno e sua resistência ao fogo. Mostrando-se o material de aspecto vítreo e forma granulada (ABRAPEX,2016), demonstrado na Figura 3.2 e Figura 3.3.

Figura 3.2 EPS de forma granular



Fonte: Mundo Isopor (2016)

O EPS, expande-se 20 a 50 vezes o volume inicial dos grânulos de poliestireno vítreo quando apresentado a ação do vapor saturado, resultando em blocos de EPS. Segundo ABRAPEX (2016, p.7),

Expandidas, as pérolas apresentam em seu volume até 98% de ar e apenas 2% de poliestireno. Em 1m³ de EPS expandido, por exemplo, existem de 3 a 6 bilhões de células fechadas e cheias de ar. Os produtos finais de EPS são inodoros, não contaminam o solo, água e ar, são 100% reaproveitáveis e recicláveis e podem voltar à condição de matéria-prima.

Figura 3.3 Pérola antes da expansão e granulado após a expansão



Fonte: ABRAPEC (2006) *apud* Neto (2008)

Após a expansão, o granulado é posto num lugar adequado durante um certo período para se estabelecer térmica e quimicamente. O ar circundante preenche o espaço dentro das células pois nesta fase o material cria uma zona de depressão no interior das células enquanto resfria. Assim, o material atinge seu volume máximo desejado. Em seguida, colocado em moldes com tamanhos e formas pré-definidas, o material granular estabilizado pelo armazenamento é aquecido novamente por meio da exposição a vapor de água causando a união dos grãos e formando um material rígido e monolítico, com grande quantidade de ar. Para a utilização do EPS em várias áreas inclusive na engenharia, é preciso de regulação no processo da fabricação como o valor da expansão, geometria do molde e etc. (NETO, 2008)

A Figura 3.4, ilustra um exemplo de moldagem de um bloco de EPS.

Figura 3.4 Processo moldagem de um bloco de EPS



Fonte: ABRAPEC (2006) *apud* Neto (2008)

A princípio, para a produção dos painéis, o núcleo é obtido a partir de blocos de poliestireno produzidos com as características necessárias (Figura 3.5). Os recortes são realizados com auxílio de pantógrafos que são recortadores programáveis que efetuam recortes de blocos. As espessuras de corte do EPS são variadas conforme a necessidade do projeto. O núcleo de poliestireno expandido utilizado no sistema construtivo, possui formas retangulares, apresentadas na Figura 3.6.

Figura 3.5 Blocos de EPS



FONTE: Isoart (2020)

Figura 3.6 Painéis de EPS cortado



Fonte: Própria (2021)

As propriedades básicas do EPS são apresentadas na Tabela 3.1. Corriqueiramente, na montagem dos painéis monolíticos utiliza-se o EPS do tipo 3, pois além de ser mais barato que o EPS de tipo 4, 5, 6 e 7, apresenta uma boa

resistência mínima a flexão e à cisalhamento e boa densidade aparente mínima e nominal, sendo assim o melhor custo-benefício dos tipos de EPS apresentados. Na tabela 3.2 tem-se o preço dos blocos de EPS.

Tabela 3.1 – Tabela características do EPS

Propriedades	Norma	Unid.	Tipos de EPS (Isopor ®)						
			Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5	Tipo 6	Tipo 7
Densidade aparente nominal	NBR 11949	kg/m³	10	12	14	18	22,5	27,5	32,5
Densidade aparente mínima	NBR 11949	kg/m³	9	11	13	16	20	25	30
Condutividade térmica máxima (23°C)	NBR 12094	W/m.k	–	–	0,042	0,039	0,037	0,035	0,035
Tensão por compressão com deformação de 10%	NBR 8082	KPa	≥33	≥42	≥65	≥80	≥110	≥145	≥165
Resistência mínima à flexão	ASTM C-203	KPa	≥50	≥60	≥120	≥160	≥220	≥275	≥340
Resistência mínima ao cisalhamento	EN-12090	KPa	≥25	≥30	≥60	≥80	≥110	≥135	≥170
Flamabilidade (se material classe F)	NBR 11948	Material retardante à chama							

Fonte: Kanuf (2020)

Tabela 3.2 – Preço dos blocos de EPS em dezembro de 2021

DESCRIÇÃO	UNID	QUANT	PREÇO UNIT. (R\$) C/ IPI (5%)	PREÇO TOTAL (R\$)
BLOCO PRIMÁRIO DE EPS TIPO 1F	m3	4,80	213,49	1.024,75
BLOCO PRIMÁRIO DE EPS TIPO 2F	m3	4,80	246,64	1.183,87
BLOCO PRIMÁRIO DE EPS TIPO 3F	m3	4,80	266,58	1.279,58
BLOCO PRIMÁRIO DE EPS TIPO 4F	m3	4,80	330,13	1.584,62
BLOCO PRIMÁRIO DE EPS TIPO 5F	m3	4,80	401,53	1.927,34
BLOCO PRIMÁRIO DE EPS TIPO 6F	m3	4,80	480,88	2.308,22
BLOCO PRIMÁRIO DE EPS TIPO 7F	m3	4,80	560,24	2.689,15

Fonte: Própria (2021)

3.3.2 TELA SOLDADA

Tela soldada é uma armadura pré-fabricada constituída de fios de aço longitudinais e transversais, sobrepostos e soldados em todos os pontos de contato (nós) por resistência elétrica, com objetivo de formar rede de malhas para armar o concreto (IBTS, 1990).

As telas soldadas são produzidas a partir do fio máquina, com baixo teor de carbono, que submetido ao processo de trefilação, torna-se mais resistente. A soldagem dos fios é feita por corrente elétrica (caldeamento), com o controle adequado da pressão dos eletrodos, corrente elétrica e tempo de soldagem. Esse processo de soldagem não reduz a resistência à tração original do fio (IBTS, 1990).

Conforme observa-se na Tabela 3.3, corriqueiramente, para construção civil são produzidas as telas específicas para a autoconstrução, com denominação própria de cada fabricante. O conceito de autoconstrução, abrange telas padronizadas que são utilizadas constantemente para atender obras convencionais. Essas telas por serem padrão tem um custo menor de aquisição, ao contrário das telas sob medida, que não entram no conceito de autoconstrução e tem um custo mais elevado.

Tabela 3.3 – Telas soldadas para autoconstrução

Fio	Tipo	Malha (cm)	Bitola (mm)	Seções (cm ² /m)	Dimensões (m)	Peso do Pannel (kg)
Liso	Leve	20 x 20	3,4 x 3,4	0,45 x 0,45	2,0 x 3,0	4,3
	Médio	15 x 15	3,4 x 3,4	0,61 x 0,61	2,0 x 3,0	6,0
Nervurado	Reforçado	15 x 15	4,2 x 4,2	0,92 x 0,92	2,0 x 3,0	9,0
	Pesado	10 x 10	4,2 x 4,2	1,38 x 1,38	2,0 x 3,0	13,2

Fonte: IBTS (1990)

Tabela 3.4 – Aplicações da tela soldada para autoconstrução

Fio	Tipo	Aplicações
Liso	Leve	- Ferragem para lajes pré-fabricadas ou treliçadas de cobertura. - Contrapisos e calçados residenciais. - Argamassa de proteção para impermeabilização.
	Médio	- Ferragem para lajes pré-fabricadas ou treliçadas de pisos de residências. - Placas pré-moldadas para execução de muros.
Nervurado	Reforçado	- Ferragem para lajes pré-fabricadas ou treliçadas de pisos de escritórios ou depósitos. - Placas pré-moldadas leves. - Pisos de concreto para quadras, garagens e estacionamentos.
	Pesado	- Ferragem pronta para piscinas de profundidade até 1,20 m (armar lado interno e externo das paredes e fundo). - Pisos de concreto para postos de gasolina e depósitos leves.

Fonte: IBTS (1990)

As telas soldadas padronizadas são designadas através da letra que define seu tipo (Q, L, T, QA, LA, TA), acompanhada da área de aço da armadura principal.

Tipo
Q 283
 armadura principal
 2,83 cm²/m

Conforme a NBR ABNT 7480 as propriedades mecânicas, os fios devem ser classificados nas seguintes categorias:

- a) CA-50, com resistência característica de escoamento (limite convencional) mínimo de $f_{yk} = 500$ MPa;
- b) CA-60, com resistência característica de escoamento (limite convencional) mínimo de $f_{yk} = 600$ MPa.

O elemento indicativo do tipo de tela para armadura para concreto deve ser a armadura principal, conforme os seis tipos a seguir:

- a) Tipo “Q”: - seção por metro da armadura longitudinal igual à seção por metro da armadura transversal, usualmente com malha quadrada; aço CA-60;

- b) Tipo “L”: - seção por metro da armadura longitudinal maior que a seção por metro da armadura transversal, usualmente com malha retangular; aço CA-60;
- c) Tipo “T”: - seção por metro da armadura transversal maior que a seção por metro da armadura longitudinal, usualmente com malha retangular; aço CA-60;
- d) Tipo “QA”: - seção por metro da armadura longitudinal igual à seção por metro da armadura transversal, usualmente com malha quadrada; aço CA-50B;
- e) Tipo “LA”: - seção por metro da armadura longitudinal maior que a seção por metro da armadura transversal, usualmente com malha retangular; aço CA-50B;
- f) Tipo “TA”: - seção por metro da armadura transversal maior que a seção por metro da armadura longitudinal, usualmente com malha retangular; aço CA-50B.

Figura 3.7 Tela soldada Q61 15X15 fio 3.4mm – 6x2,45 m (tela soldada utilizada nos painéis da EPS BRASIL)



Fonte: Própria (2021)

As telas podem ser produzidas com diâmetros iguais ou diferentes nos fios de aço horizontal e vertical. Os diâmetros dos fios variam de 2 a 10 mm, e o espaçamento de 50 a 300 mm. A malha padrão utilizada é de bitola fio 3,4 mm e apresenta espaçamento médio entre os fios de 73 a 150 mm (Bertoldi, 2007).

As telas utilizadas no sistema construtivo são produzidas em aço de alta resistência, com limite de escoamento maior que 600 N/mm² e limite de ruptura superior a 680 N/mm²(ALVES, 2015).

As telas são produzidas em equipamentos eletromecânicos programáveis, como na Figura 3.8, em que os fios entram na máquina, e são submetidos a solda por meio de pinças, em contato com o aço, liberam calor efetuando a solda entre os fios dando forma a malha de tela (BERTOLDI, 2007).

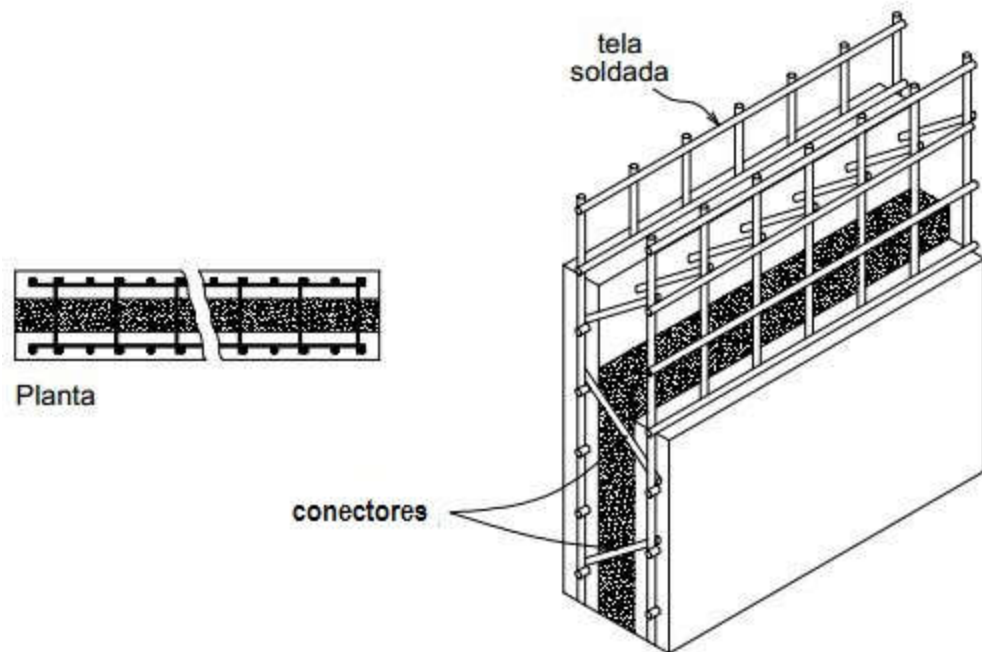
Figura 3.8 Máquina para Telas eletrosoldadas MMES 01



Fonte: SeltecMaquinas (2019)

3.3.1 CONECTORES

O núcleo de EPS garante leveza para a estrutura, facilidade de transporte e montagem, além de garantir excelente isolamento termo acústico. O EPS permite que as placas de argamassa sejam ligadas por conectores de aço que atravessam o núcleo. O aço utilizado é o CA60, inclusive os conectores, que são soldados às duas telas e garantem rigidez construtiva ao painel, facilitando assim a aplicação da argamassa (Figura 3.9).

Figura 3.9 Esquema da parede sanduíche

Fonte: Bertini (2002).

Segundo trabalhos realizados por Hanai e Takeya (1994) o núcleo de EPS é responsável por significativa resistência ao cisalhamento, devido à aderência entre o núcleo e as placas resistentes, e os conectores de aço não oferecem contribuição significativa ao cisalhamento quando os painéis são submetidos a carregamentos perpendiculares as faces.

Para garantir um bom funcionamento estrutural deve existir uma conexão eficiente entre as placas resistentes, feita pelo próprio núcleo ou por meio de conectores e nervuras. O PCI (1997) recomenda que os conectores típicos tenham espaçamentos que variam entre 406 mm x 406 mm e 1219 mm x 1219 mm.

4 MONTAGENS DOS PAINÉIS

Para desenvolvimento deste trabalho, principalmente deste capítulo, foi realizado algumas visitas em uma obra - localizada na cidade de Senador Canedo, no estado de Goiás- em que adotou o modelo construtivo de painéis de EPS. Esta obra está sendo construída pela empresa EPS Brasil, que é uma empresa local pioneira no segmento. Esta obra tem como principal intuito demonstrar e divulgar a casa de EPS para a população. Neste trabalho, apresenta-se algumas imagens da referida obra.

A edificação, cuja o projeto arquitetônico é apresentado no Apêndice B, é uma obra residencial com área construída de 133 m² em um lote de 275 m². A residência possui garagem coberta, sala de estar, banheiro social, cozinha, espaço gourmet, área de serviço, 2 quartos, e 1 suíte. Na área externa será construída uma piscina com deck molhado. Este projeto possui 81 m² de área permeável. O pé direito do imóvel é de 3 m, exceto a sala e cozinha que tem o pé direito de 4 m.

Esta obra adotou praticamente 100% de sua construção em EPS. As alvenarias, platibanda e muros serão construídas com painel monolítico de EPS. As lajes serão do tipo lajotas de EPS.

Para facilitar a execução da obra, para as paredes e platibandas foi-se adotado, uma largura de 120mm, em que o centro é composto por EPS do tipo 3F de 80 mm, e de cada lado tem uma camada de argamassa de 20 mm. As malhas utilizadas nessa construção são as malhas Q61, em que tem abertura de 15 x 15 cm, e o fio do aço é 3.4 mm.

Adotou-se nesta obra fundação do tipo Radier de 87 m² com 15 cm de altura e malhas Q61 dispostas sobre toda a fundação.

O traço da argamassa utilizado nas paredes de EPS, é na proporção 1:3 (cimento: areia fina), em que deste traço se espera no mínimo 15Mpa de resistência à compressão.

4.1 DETALHES CONSTRUTIVOS

Inicialmente, para montagem dos painéis, deve ser realizado a locação e fundação da edificação. A fundação mais indicada é do tipo radier. Os radiers são lajes de concreto em contato direto com o terreno; recebendo as cargas da edificação e descarregam sobre o solo. Este tipo de fundação se assemelha a uma placa ou laje que abrange toda a área da construção, é um tipo de fundação rasa ou direta que distribui toda a carga da edificação de maneira uniforme no terreno. O radier deve atender resistência característica do concreto, aspectos de durabilidade e resistência estrutural conforme a ABNT NBR 6118.

O radier apresenta vantagens como baixo custo e rapidez na execução, além de redução de mão de obra comparada a outros tipos de fundação superficiais ou rasas. Ademais, apresenta redução ao máximo dos recalques diferenciais, sendo um fator importantíssimo na execução de estruturas compostas por paredes sanduíche, que por serem monolíticas, estão bastante suscetíveis a recalques diferenciais. Antes da concretagem são posicionados, quando há a necessidade, os sistemas hidrossanitários, elétricos, de comunicação, segurança e outros. (Medeiros,2017)

Há soluções com o custo menor que o radier, como a sapata corrida. Para isso, o solo deve possuir resistência suficiente para garantir a ausência de recalques diferenciais.

No processo de execução do radier, para ancoragem nos painéis de EPS, são posicionadas verticalmente barras de aço CA-50 de 10mm de diâmetro com 50 cm de comprimento, intercaladas (Figura 4.1) com comprimento de ancoragem de 10cm no radier. Essas barras (arranques) também podem ser posicionadas após a execução do radier, em que se executam furos no radier para que sejam colocadas as barras e sejam fixadas com chumbador químico, como *compound* adesivo ou similar (AECWEB, 2021).

Figura 4.1 Disposição das barras de ancoragem



Fonte: Própria (2021)

Figura 4.2 Ancoragem dos painéis



Fonte: Própria (2021)

Após colocar os painéis entre os arranques, são amarrados entre si (barras de ancoragem e painéis) com o arame galvanizado BWG 10. Os painéis são ligados entre si, pelos dois lados do painel, interno e externo, por meio de telas nervuradas soldadas, a mesma utilizada na montagem do painel (Figura 4.3) e amarrados pelo arame galvanizado.

Figura 4.3 Amarração das telas entre si



Fonte: Própria (2021)

Em aberturas de portais, portas e janelas ou extremidades livres, são acrescentadas, nas laterais, telas amarração cortadas e dobradas em formato tipo U (Figura 4.4). Nos cantos existentes nas aberturas, são adicionadas malhas de reforço - as mesmas utilizadas na montagem dos painéis - para combaterem fissuras e deformações. Estas são aplicadas de forma oblíqua, isto é, inclinadas em um ângulo de 45°. (Figura 4.4).

Acima e abaixo de janelas e acima de portas, são executados reforços colocando-se pares de barras de CA-50 de 8 mm de diâmetro (Figura 4.5). No sistema tradicional, estes reforços são chamados de vergas e contravergas.

Figura 4.4 Reforços em laterais e cantos das aberturas



Fonte: Própria (2021)

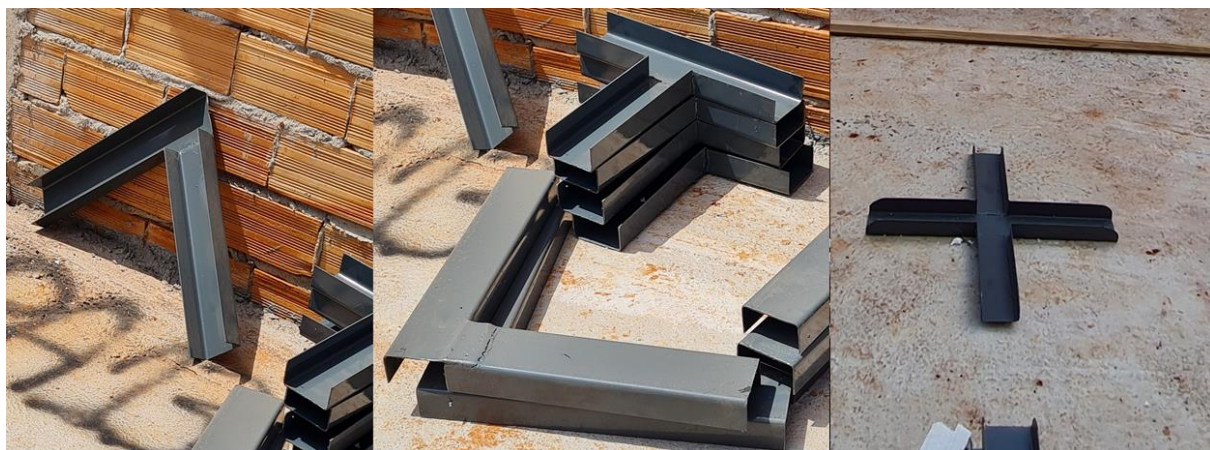
Figura 4.5 Reforço com duas barras CA-50 de 8mm, acima da abertura de uma porta



Fonte: Própria (2021)

Na montagem dos painéis, utilizam-se gabaritos feitos de perfis u simples metálicos em formato de L, T e X. Estes gabaritos auxiliam a colocar as paredes em esquadro. (Figura 4.6)

Figura 4.6 Gabaritos em formato de L, T e X



Fonte: Própria (2021)

Figura 4.7 Gabaritos utilizado na união das paredes (obtenção esquadro)

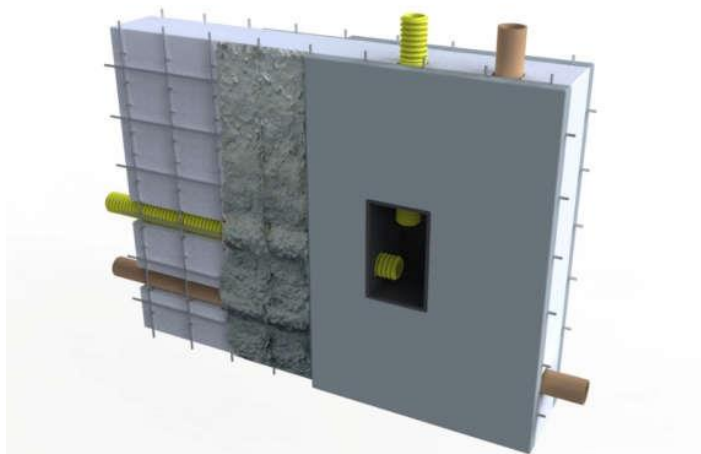


Fonte: Própria (2021)

Após a fixação de todos os painéis e aplicação dos reforços, inicia-se a execução das instalações elétricas, hidrossanitárias e cabeamento estruturado, com a colocação de eletrodutos, tubos e demais elementos (Figura 4.8). Esta etapa tem

início pela execução de aberturas superficiais (sulcos) nos painéis, com a utilização de um soprador térmico com posterior aplicação das tubulações (Figura 4.9).

Figura 4.8 Visão Esquemática 3D do painel e instalações



FONTE: Termotecnica (2014)

Figura 4.9 Abertura de sulcos para instalações complementares



FONTE: Techne (2012).

Para finalizar a montagem são dispostos os elementos de travamento e fixação dos painéis montados. Pode ser utilizado o travamento dos painéis com escoras e réguas metálicas, e também, podem ser utilizados sarrafos e escoras de madeira (Figura 4.10). As paredes montadas devem estar em perfeito alinhamento, com prumo

correto e travadas de tal forma que a montagem da laje e o posterior impacto da argamassa projetada sobre o painel e a concretagem das lajes não provoquem desalinhamento.

Figura 4.10 Travamento das paredes com sarrafos e escoras de madeira



Fonte: Própria (2021)

4.2 PROJEÇÃO DE ARGAMASSA

A aplicação da argamassa e revestimento pode ser manual ou por projeção mecânica, por questões de produtividade, geralmente, utiliza-se sistema de projeção pneumático da argamassa.

Deve ser respeitado os cobrimentos mínimos da armadura, e para isso utiliza-se como base a ABNT NBR 11.173 em que indica cobertura mínimo de 4 mm para ambientes protegidos e 6mm para ambientes não protegidos. A malha soldada deve ser posicionada no meio da face de concreto, obedecendo sempre os cobrimentos mínimos recomendados.

A projeção da argamassa (Figura 4.11) começa de cima para baixo em quantidade suficiente para o preenchimento de camadas que não ultrapassem 10 mm de espessura, aguardando o período de pega inicial para que não ocorra deslizamento das camadas até atingir a espessura requerida, evitando assim o retrabalho. A Figura 4.12 apresenta uma parede coberta de argamassa.

Figura 4.11 Projeção de argamassa nas paredes



Fonte: Própria (2021)

Figura 4.12 Parede de EPS coberta de argamassa



Fonte: Própria (2021)

4.3 MONTAGEM E EXECUÇÃO DA LAJE

Geralmente, para construções de painéis monolíticos de EPS utilizam-se lajes pré-fabricadas com nervuras do tipo treliça ou do tipo vigota e preenchimento com blocos de EPS. Os blocos de EPS são essenciais para diminuir o peso da laje e promover um alívio de esforços para a estrutura. Este tipo de laje é bastante utilizado pela sua versatilidade, facilidade e apresentar bom desempenho estrutural. A montagem é feita a partir da disposição das vigotas ou treliças sobre as vigas ou paredes de apoio conforme estabelecido no projeto. Após esta disposição são colocados os blocos de EPS entre as vigotas ou treliças e a posterior montagem das telas soldadas e armaduras negativas adicionais conforme projeto. Para finalizar é feita a concretagem da laje.

Figura 4.13 Lajes treliçadas montadas sobre as paredes de EPS



Fonte: Própria (2021)

5 DIMENSIONAMENTO

5.1 INTRODUÇÃO

Inicialmente, fez-se uma análise dos esforços em cada um dos painéis participantes da estrutura portante.

Para o dimensionamento dos painéis utilizou-se o Método de dimensionamento de Estruturas conhecido como método dos Estados Limites. O Método dos Estados Limites para dimensionamento de elementos estruturais é o atualmente considerado pelas normas de projeto de estruturas de aço, madeira e concreto. O Estado Limite Último (ELU), da teoria usual do concreto armado, será utilizado para dimensionamento dos painéis, seguindo as orientações da NBR 6.118 (ABNT, 2014). Para o dimensionamento dos painéis estruturais de EPS, considera-se que as duas placas de argamassa armada atuem juntas para combater os esforços solicitantes, considerando o painel composto total entre as placas.

5.2 ESTADO LIMITE ÚLTIMO

A ABNT NBR 6.118 define Estado Limite Último como o estado relacionado ao colapso, ou qualquer outra forma de ruína estrutural, que determine a paralisação do uso da estrutura. Algumas das hipóteses de cálculo a serem consideradas são:

- a. As seções transversais permanecem planas;
- b. Para o encurtamento de ruptura do concreto, considera-se os seguintes valores;

- para concretos de classes até C50:

$$\varepsilon_{c2} = 2,0 \text{ ‰} ;$$

$$\varepsilon_{cu} = 3,5 \text{ ‰} ;$$

- c. Alongamento máximo permitido ao longo da armadura de tração vale 10 ‰;

- d. A distribuição das tensões do concreto na seção se faz de acordo com o diagrama retangular simplificado permitido pela norma;
- e. A tensão na armadura é a correspondente no diagrama tensão-deformação do aço.
- f. O estado limite último é caracterizado quando a distribuição das deformações na seção transversal pertencer a um dos domínios definidos na Figura 5.2.

Para Bertini (2002), a estrutura sanduíche é constituída por duas faces resistentes intercaladas por um material (núcleo), que em geral é de baixa densidade e menos resistente que as faces. O núcleo é responsável tanto por manter as placas resistentes na posição correta, quanto para fazer a transferência de esforços de uma placa para outra. Poliuretano e poliestirenos expandidos, são núcleos pouco eficientes na transferência de esforços e para garantir a transferência das tensões de cisalhamento de uma placa para outra são utilizados conectores, que atravessam o núcleo e são ancorados nas placas de argamassa.

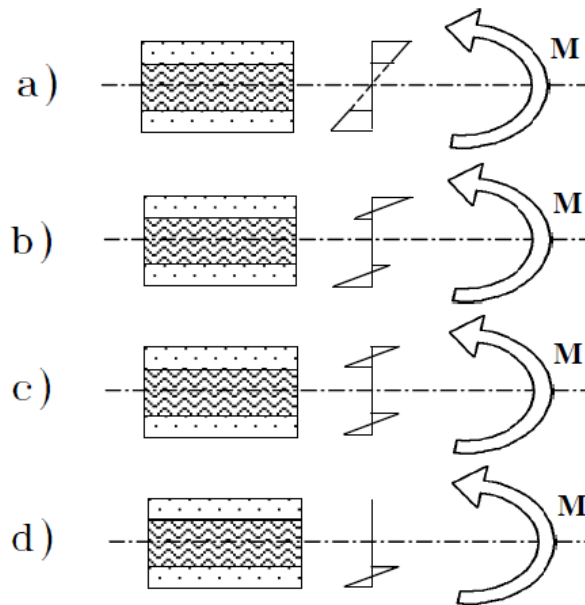
A estrutura é considerada composição total quando há 100% de transferência de cisalhamento. Se a transferência do cisalhamento não for total, havendo uma significativa deformação transversal, será considerada composição parcial. Quando não há nenhuma interação das placas, o elemento é denominado não-composto (Bertini, 2002). A Figura 5.1 ilustra os tipos de composição de uma seção sanduíche.

Como as paredes estão submetidas a esforço normal de compressão e momento fletor tem-se uma situação de flexão composta.

Assim no próximo item aborda-se esta situação no dimensionamento das estruturas de concreto armado.

Figura 5.1 Tipos de composição de uma seção sanduíche.

a) Composição total; b) Composição parcial; c) Não-composta; d) Não-composta com uma face resistente



Fonte: Bertini (2002)

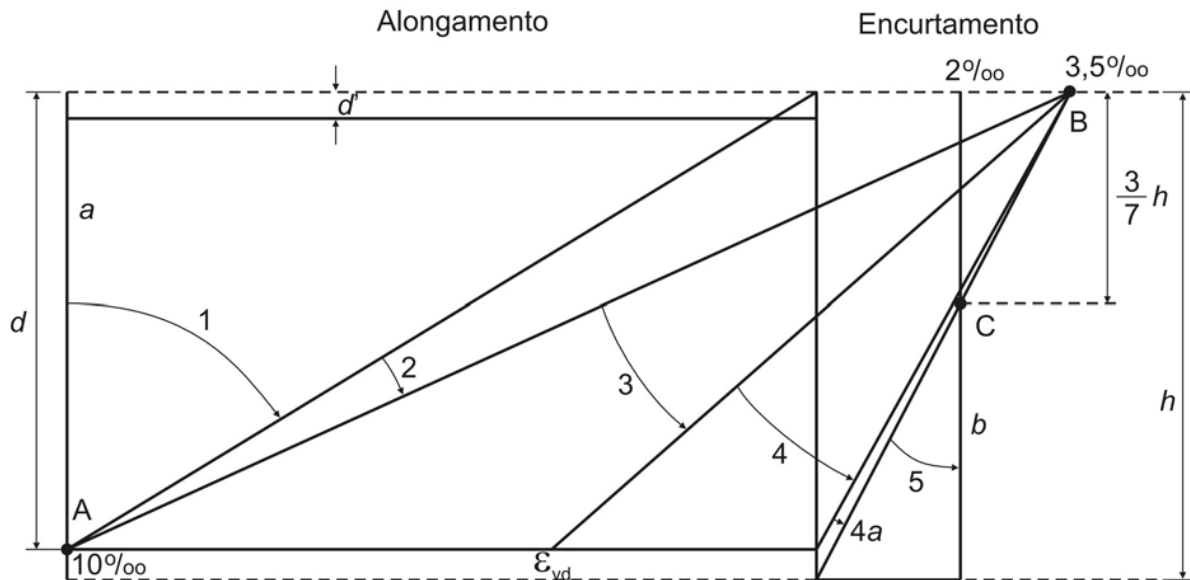
Segundo Fonsêca (1994), a principal consideração a ser feita sobre o uso da teoria do concreto armado no cálculo de painéis sanduíche diz respeito à indeterminação do grau de composição entre as duas placas de concreto. Neste trabalho, optou-se por considerar um grau de composição total entre as placas, tornando assim, o estudo da seção sanduíche idêntico ao de uma seção usual de concreto armado.

5.2.1 Flexão Composta

Segundo Bastos (2021) na Flexão composta com grande excentricidade o esforço predominante é o momento fletor (M). Os domínios que ocorrem são os 2, 3, 4 e 4a (Figura 5.2), e inclui a flexão simples quando a força normal não existe ($N=0$). Como nos domínios 2,3 e 4 a LN encontra-se dentro da seção transversal, uma armadura é tracionada (A_s), e a outra é comprimida (A'_s), Figura 5.3.

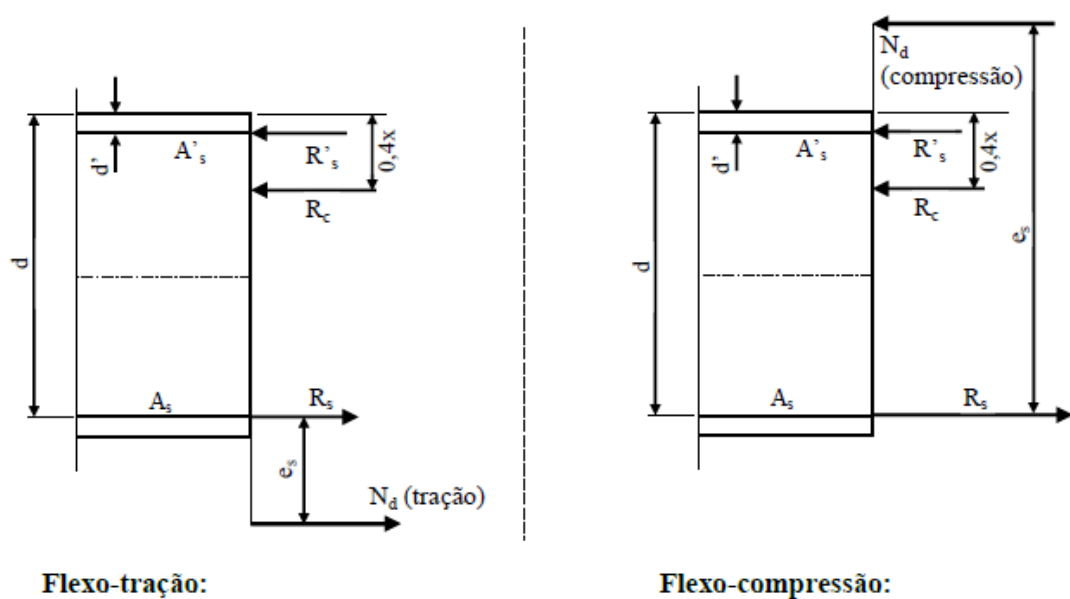
A LN encontra-se no intervalo $0 < x < h$. O ELU é caracterizado pela deformação de alongamento no aço de 10‰ no domínio 2, e pela deformação de encurtamento no concreto de $3,5\text{‰}$ nos domínios 3, 4 e 4a. As equações de equilíbrio são divididas conforme a força normal, se de compressão ou de tração (Figura 5.3).

Figura 5.2 Diagramas dos domínios de deformações



Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014)

Figura 5.3 Equilíbrio de forças normais na flexo-tração e flexo-compressão com grande excentricidade



Fonte: Bastos (2021)

A partir do esquema mostrado, é possível obter as seguintes equações de equilíbrio:

- Equilíbrio das forças normais

- Flexo-tração:

$$N_d = R_s - R_c - R'_s \quad Eq. 1$$

Realizando a somatória de Momentos em relação ao centro de gravidade da armadura inferior, tem-se:

$$N_d e_s = R_c (d - 0,4x) + R'_s (d - d') \quad Eq. 2$$

- Flexo-compressão:

$$N_d = R_c + R'_s - R_s \quad Eq. 3$$

Onde:

N_d – esforço normal de cálculo

R_s – resultante de tração na armadura

R'_s – resultante de compressão na armadura

R_c – resultante de compressão no concreto

d - altura útil da peça

d' - distância do C.G da armadura ao CG do painel

e_s - excentricidade de N_d

x - altura da linha neutra

Realizando a somatória de Momentos em relação ao centro de gravidade da armadura inferior, tem-se:

$$N_d e_s = R_c (d - 0,4x) + R'_s (d - d')$$

As equações contidas acima, podem se tornar idênticas caso a força de N_d para flexo-tração seja colocada com sinal negativo ($N_d < 0$). Tomando as equações da flexo-compressão tem-se:

$$N_d = R_c + R'_s - R_s \quad \text{Eq. 4}$$

$$N_d e_s = R_c (d - 0,4x) + R'_s (d - d') \quad \text{Eq. 5}$$

Com $N_d > 0$ para compressão e $N_d < 0$ para tração, e momento fletor ($M_d = N_d e_s$) tomado no CG da armadura tracionada A_s . As forças resultantes são:

$$R_c = 0,68b \cdot x \cdot f_{cd} \quad , \text{ com diagrama retangular simplificado} \quad \text{Eq. 6}$$

$$R_s = A_s \sigma'_{sd} ; \quad R'_s = A'_s \sigma'_{sd} \quad \text{Eq. 7}$$

Onde:

f_{cd} – resistência de cálculo a compressão do concreto

A_s – área da seção transversal da armadura longitudinal de tração

A'_s – área da seção da armadura longitudinal de compressão

σ'_{sd} – tensões normais solicitantes de cálculo

As equações de compatibilidade de deformações para os domínios 2, 3, 4 e 4a são:

$$\frac{\epsilon_s}{d - x} = \frac{\epsilon'_s}{x - d'} = \frac{\epsilon_c}{x} \quad \text{Eq. 8}$$

$$\frac{\epsilon_s}{1 - \beta_x} = \frac{\epsilon'_s}{\beta_x - \frac{d'}{d}} = \frac{\epsilon_c}{\beta_x} \quad \text{Eq. 9}$$

com $\epsilon_s = 10 \text{ ‰}$ para domínio 2, $\epsilon_s = 3,5 \text{ ‰}$ para domínios 3, 4 e 4a, e com $\epsilon_s < 0$ (negativo) quando armadura A_s for comprimida (somente domínio 4a).

Onde:

ϵ_s – deformação específica do aço da armadura passiva

ϵ'_s – deformação específica

ϵ_c – deformação específica do concreto

β_x - relação x/d

5.2.2 Avaliação do índice de esbeltez das paredes sanduíche

O índice de esbeltez de um pilar é a razão entre o comprimento de flambagem l_e e o raio de giração mínimo:

$$r_{\min} \rightarrow \lambda = \frac{l_e}{r_{\min.}} \quad \text{Eq. 10}$$

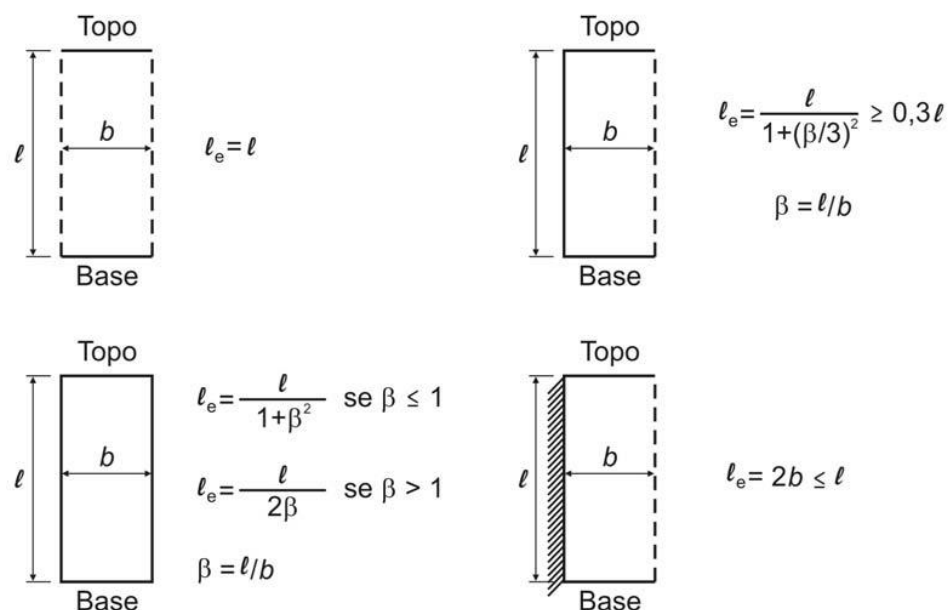
Onde:

$r_{\min}$ - raio de giração mínimo

λ - índice de esbeltez

Para as paredes sanduíche, esta análise é feita de forma similar. O comprimento de flambagem varia de acordo com as condições de contorno. Segundo a NBR 6.118 (2014), o comprimento de flambagem para paredes fixadas no topo e na base está representado na Figura 5.4.

Figura 5.4 Comprimento equivalente l_e



Fonte: ABNT NBR 6118 (2014)

Se o topo e a base forem engastados e $\beta \leq 1$, os valores de λ_1 podem ser multiplicados por 0,85.

Onde:

b – largura do painel

l – altura do painel

Segundo a NBR 6.118 (ABNT, 2014), os pilares devem ter índice de esbeltez menor ou igual a 200 ($\lambda \leq 200$). Para pilares com índice de esbeltez superior a 140, na análise de 2ª ordem, devem-se multiplicar os esforços solicitantes finais de cálculo por um coeficiente adicional:

$$\gamma_{n1} = 1 + \left[0,01 * + \frac{(\lambda - 140)}{1,4} \right]$$

Onde:

γ_{n1} - Coeficiente de segurança para esforço normal de compressão.

Ainda segundo a norma, os efeitos de 2ª ordem podem ser desprezados quando a base e o topo de cada parede estiverem convenientemente fixados às lajes do edifício e o índice de esbeltez λ_1 for menor que 35, que pode ser calculado pela expressão a seguir:

$$\lambda_1 = 3,46 * \frac{l_{ei}}{h_i}, \text{ onde } \lambda_1 \leq 35$$

Onde:

l_{ei} - Comprimento equivalente

h_i - Espessura do painel.

5.3 ESTRUTURA EM PAREDES DE EPS

Da mesma forma que ocorre com outros sistemas construtivos, a partir do projeto arquitetônico é feito a modulação das paredes armadas.

A seguir, são apresentadas as considerações iniciais de projeto, as ações atuantes, a metodologia de dimensionamento, o detalhamento da estrutura, características referentes aos materiais utilizados, e os esforços considerados no cálculo da estrutura.

5.3.1 Considerações Iniciais de Projeto

A edificação foi dimensionada com estrutura e vedações em paredes sanduíche com núcleo de EPS e placas de argamassa estrutural, com paredes de 2,65 m de altura nas extremidades e 3,72 m no centro. As características dos materiais utilizados no dimensionamento estrutural do edifício são:

- Aço CA-50, com resistência característica a tração igual a 500 Mpa ($f_{yk} = 500$ Mpa);
- Aço CA-60, com resistência característica a tração igual a 600 Mpa ($f_{yk} = 600$ Mpa);
- Classe de Agressividade Ambiental II – Moderada (Figura 5.5)
- Resistência característica da argamassa (f_{ck}) de 15 Mpa e a relação água/cimento em massa menor ou igual a 0,60, de acordo com a classe de agressividade ambiental (Figura 5.6).
- O cobrimento das telas eletrosoldadas foi de 10mm para paredes armadas, atendendo o limite mínimo de 6mm estabelecido na ABNT NBR 11.173, Projeto e execução de argamassa armada.

Figura 5.5 Classes de Agressividade Ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Frac	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014)

Figura 5.6 Correspondência entre Classe de Agressividade e Qualidade do Concreto

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014)

5.3.2 Ações consideradas

A seguir, é apresentado o peso próprio de cada parede sanduíche e da cobertura. Os cálculos detalhados são apresentados no Apêndice C.

Para cálculo do peso próprio de cada estrutura, foi considerado alguns dados:

- Adotou-se EPS de 80mm de espessura;
- Paredes
- Telhas Plan = 0,4883 (kN/m²);
- Galga da telha = 0,374(m);
- Absorção da telha 12(%);
- Inclinação do telhado de 30%;
- Beiral do telhado de 45 cm;
- Madeira do telhado Maçaranduba;
- Densidade da madeira Maçaranduba - $\gamma_{\text{maç.}} = 1200 \text{ kg/m}^3$;
- Densidade da argamassa - $\gamma_{\text{conc.}} = 2500 \text{ kg/m}^3$;
- Densidade do EPS - $\gamma_{\text{eps}} = 15 \text{ kg/m}^3$;
- Vigotas 6 cm x 12cm;
- Caibros 5cm x 6 cm.

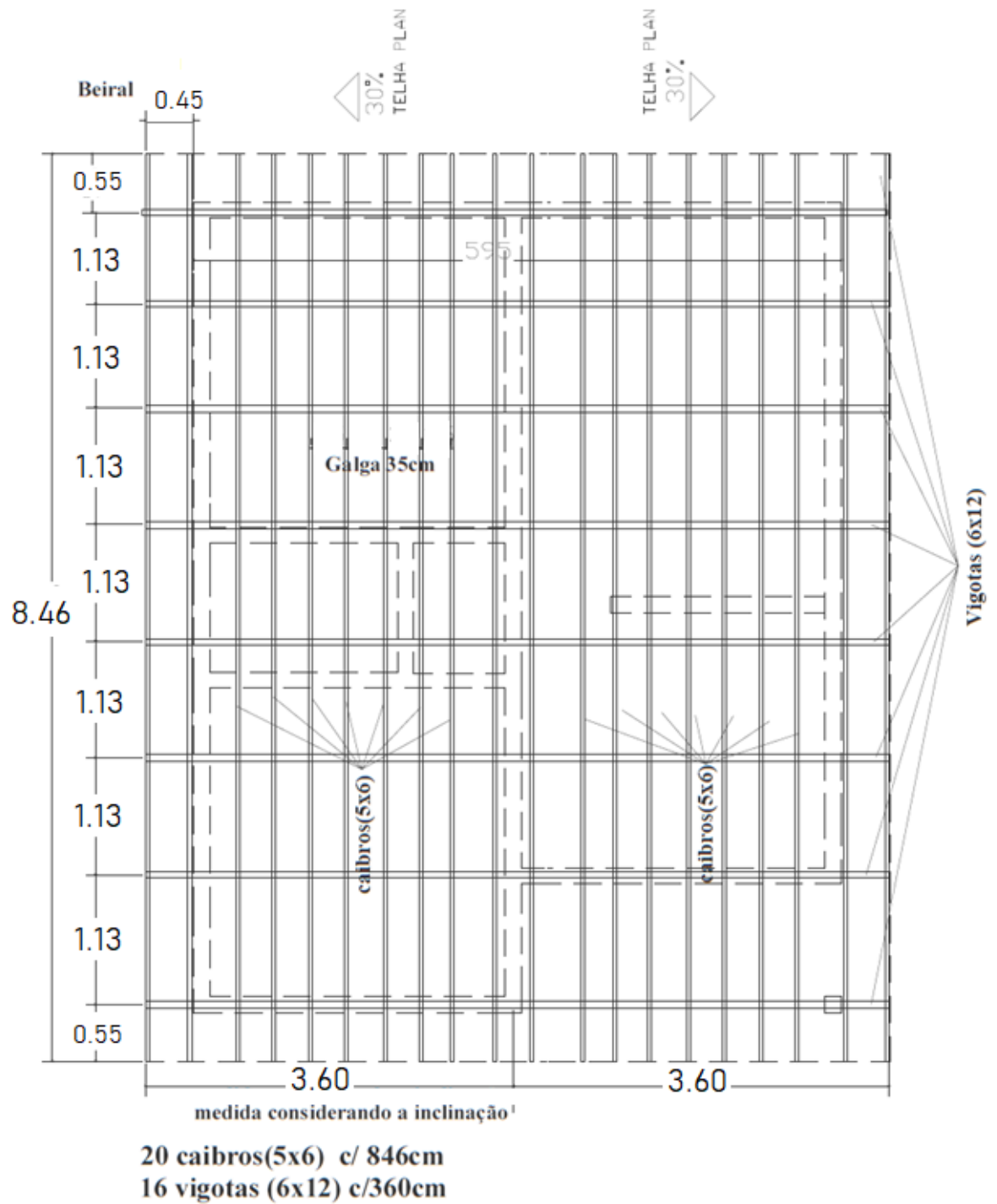
Tabela 5.1 Peso próprio de cada estrutura

Estrutura	Peso Próprio (kN/m)
PAREDE 1	2,680
PAREDE 2	3,770
PAREDE 3	2,680
PAREDE 4	3,210
PAREDE 5	3,210
PAREDE 6	3,210
PAREDE 7	3,210
PAREDE 8	3,210
PAREDE 9	3,400

Estrutura	Peso Próprio (kN/m²)
COBERTURA	0,730

Fonte: Própria (2021)

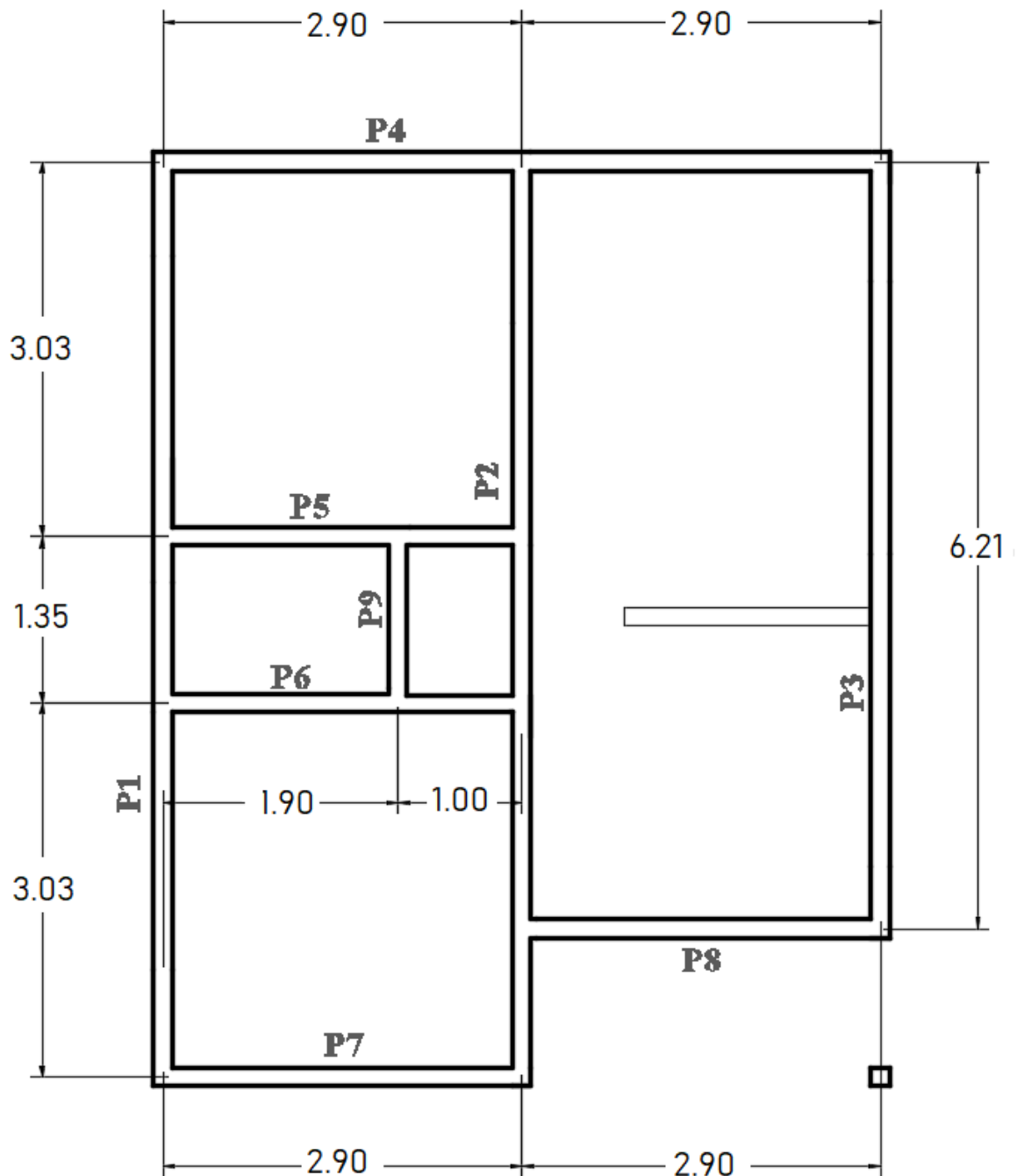
Figura 5.7 Planta da cobertura do projeto da FUNASA



Fonte: Própria (2021)

As paredes sanduíche foram dispostas em todo o projeto da FUNASA. As paredes formadas um núcleo de EPS de 80 mm e duas faces resistentes em argamassa estrutural com 20 mm de espessura cada, totalizando 120 mm de espessura total. Apresenta-se na Figura 5.8 a planta de forma do projeto sem escala e com as cotas em metros.

Figura 5.8 Planta de forma do Projeto.



Fonte: Própria (2021)

5.3.2.1 Ações

A seguir é apresentado as ações permanentes em cada parede (Tabela 5.2), e as ações variáveis (Tabela 5.3). Os cálculos detalhados são apresentados no Apêndice D.

Tabela 5.2 Ações permanentes em cada parede

Ações permanentes	
Estrutura	(kN/m)
PAREDE 1	3,970
PAREDE 2	6,360
PAREDE 3	4,070
PAREDE 4	3,210
PAREDE 5	5,260
PAREDE 6	5,260
PAREDE 7	3,210
PAREDE 8	3,210
PAREDE 9	4,580

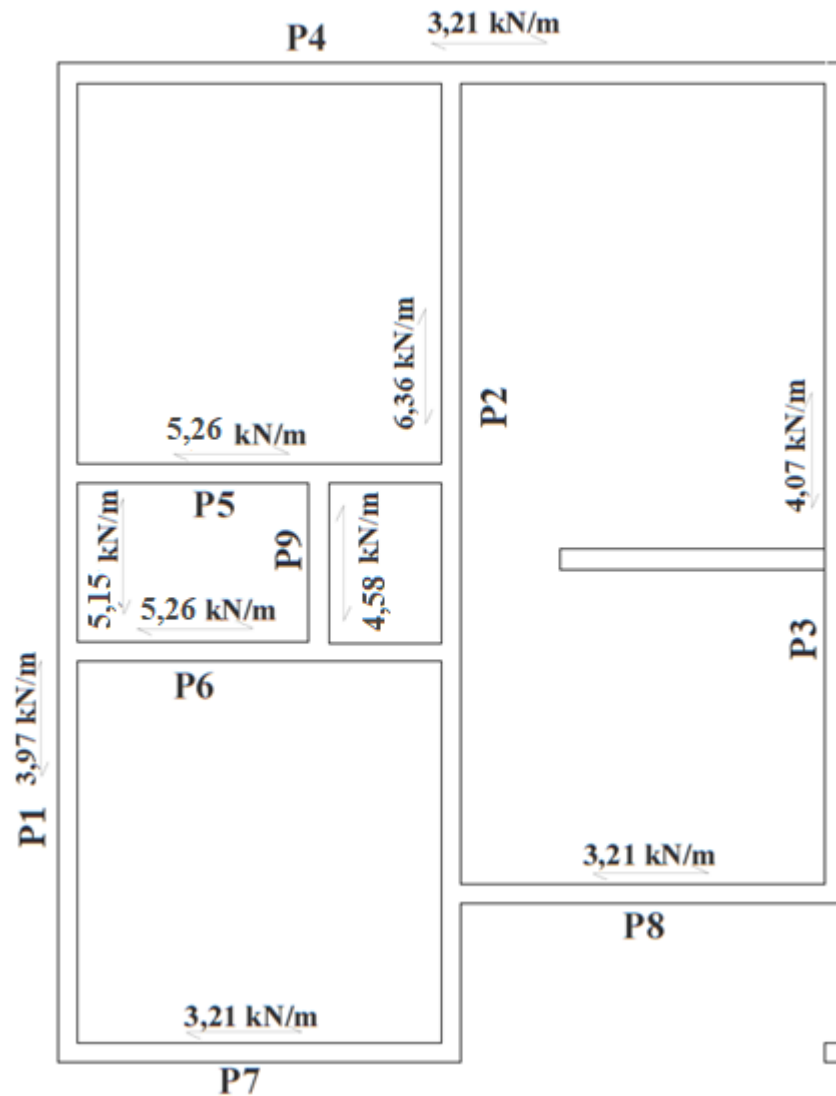
Fonte: Própria (2021)

Tabela 5.3 Ação variável

Ações variáveis (vento)	
	(kN/m)
Pressão Vento	0,520

Fonte: Própria (2021)

Figura 5.9 Planta de Esforços normais



Fonte: Própria (2021)

5.4 DIMENSIONAMENTO

As paredes sanduíche foram dimensionadas pelo modelo demonstrado na seção 5.2. Mantém o momento de cálculo fixo, uma vez que está sendo considerada a mesma carga para todos os painéis.

A seção resistente do concreto utilizada é capaz de suportar todos os esforços solicitantes existentes na edificação.

Abaixo é apresentado as especificações das três principais telas soldadas utilizadas neste tipo de construção (Tabela 5.4).

Tabela 5.4 – Telas soldadas

Aço CA-60		Espaçamento entre fios (cm)		Diâmetro (mm)		Seções (cm ² /m)	
Série	Designação	Long.	Transv.	Long.	Transv.	Long.	Transv.
61	Q 61	15	15	3,4	3,4	0,61	0,61
75	Q 75	15	15	3,8	3,8	0,75	0,75
92	Q 92	15	15	4,2	4,2	0,92	0,92

Fonte: Gerdau (2019)

Iniciaremos os cálculos pela malha Q61, em que a área da seção transversal é (A'_s) = 0,61 cm²/m. Admite-se um momento de cálculo fixo, uma vez que está sendo considerada a mesma carga para todos os painéis.

Considera-se o maior esforço solicitante, que no caso é sobre a parede P2, para cálculo do momento fletor e o momento fletor gerado por uma ação accidental, o vento:

$$q_d = 1,4 \cdot 0,52 = 0,73 \text{ kN/m}$$

$$l_c = 3,72 \text{ m}$$

$$M_{d\text{vento}} = \left(\frac{q_d \cdot l_c^2}{8} \right) \rightarrow \left(\frac{0,73 \cdot 3,72^2}{8} \right) = 1,26 \text{ kN} \cdot \frac{\text{m}}{\text{m}}$$

$$N_d = 6,36 \text{ kN/m} \cdot 1,4 \rightarrow N_d = 8,90 \text{ kN/m}$$

$$e = \frac{M_{d\text{vento}}}{N_d} \rightarrow \frac{1,26}{8,90} \rightarrow e = 0,142 \text{ m}$$

Segundo a ABNT NBR 6118, o momento mínimo de 1ª ordem e excentricidade mínima de 1ª ordem é dada a seguir:

$$M_{1d\text{min}} = N_d(0,015 + 0,03h)$$

$$e_{1\text{min}} = (0,015 + 0,03h)$$

Portanto, o momento fletor mínimo de 1ª ordem e excentricidade mínima de 1ª ordem na parede P2 é:

$$M_{1dmin}P2 = \frac{8,90}{1} \left(0,015 + \frac{0,03}{1} \right) \rightarrow 0,40 kN.m$$

$$e_{1min}P2 = (0,015 + 0,03.1) \rightarrow 0,045m$$

Em que:

h é a altura total da seção transversal na direção considerada, em metros.

Portanto:

$$M_{dtotal} = M_{1dminpar} + M_{dvento} \rightarrow 0,40 + 1,26 \rightarrow M_{dtotal} = 1,66 kN.m$$

Fazendo no limite entre os domínios 3 e 4, tem-se:

$$X = X_{3lim}, \varepsilon_c = 3,5\%, \varepsilon_s = \varepsilon_y = 2,07\% \text{ e } \sigma_{sd} = f_{yd} = 52,17 kN/cm^2$$

$$X_{3lim} = 0,63d \rightarrow 0,63.11 = 6,92 \text{ cm} \rightarrow X = X_{3lim}$$

A deformação na armadura comprimida, com $\varepsilon_c = 3,5\%$, é:

$$\frac{\varepsilon'_s}{x - d'} = \frac{\varepsilon_c}{x} \rightarrow \frac{\varepsilon'_s}{6,92 - 1} = \frac{3,5}{6,92} \rightarrow \varepsilon'_s = 2,99 \%$$

Como $\varepsilon'_s = 2,99\% > \varepsilon_{yd} = 2,07\%$, de modo que também $\sigma_{sd} = f_{yd} = 52,17 kN/cm^2$. A excentricidade de N_d com armadura tracionada é:

$$e_s = e + \frac{h}{2} - d' = \frac{M_d}{N_d} + \frac{12}{2} - 1 \rightarrow \frac{166}{N_d} + 5$$

- Para tela soldada Q61, temos:

$$N_d = R_c + R'_s - R_s$$

$$N_d = 0,68 \cdot 6,92 \cdot \frac{15}{14} + 52,17 \cdot A'_s - 52,17 \cdot A_s \quad \text{Eq. 1}$$

$$N_d e'_s = R_c(d - 0,4x) + R'_s(d - d')$$

$$N_d \cdot \left(\frac{166}{N_d} + 5 \right) = 0,68 \cdot 6,92 \cdot \frac{15}{14} \cdot (11 - 0,4 \cdot 6,92) + 52,17 \cdot A'_s \cdot 8 \quad \text{Eq. 2}$$

Substituindo A'_s por $0,61 \text{ cm}^2/\text{m}$, temos que :

$$N_d = 26,02 \text{ kN}$$

$$A_s = 0,21 \text{ cm}^2/\text{m}$$

- Para tela soldada Q75, temos:

$$N_d = R_c + R'_s - R_s$$

$$N_d = 0,68 \cdot 6,92 \cdot \frac{15}{14} + 52,17 \cdot A'_s - 52,17 \cdot A_s \quad Eq. 1$$

$$N_d e'_s = R_c(d - 0,4x) + R'_s(d - d')$$

$$N_d \cdot \left(\frac{166}{N_d} + 5 \right) = 0,68 \cdot 6,92 \cdot \frac{15}{14} \cdot (11 - 0,4 \cdot 6,92) + 52,17 \cdot A'_s \cdot 8 \quad Eq. 2$$

Substituindo A'_s por $0,75 \text{ cm}^2/\text{m}$, temos que :

$$N_d = 37,71 \text{ kN}$$

$$A_s = 0,03 \text{ cm}^2/\text{m}$$

- Para tela soldada Q92, temos:

$$N_d = R_c + R'_s - R_s$$

$$N_d = 0,68 \cdot 6,92 \cdot \frac{15}{14} + 52,17 \cdot A'_s - 52,17 \cdot A_s \quad Eq. 1$$

$$N_d e'_s = R_c(d - 0,4x) + R'_s(d - d')$$

$$N_d \cdot \left(\frac{166}{N_d} + 5 \right) = 0,68 \cdot 6,92 \cdot \frac{15}{14} \cdot (11 - 0,4 \cdot 6,92) + 52,17 \cdot A'_s \cdot 8 \quad Eq. 2$$

Substituindo A'_s por $0,92 \text{ cm}^2/\text{m}$, temos que :

$$N_d = 51,20 \text{ kN}$$

$$A_s = 0,03 \text{ cm}^2/\text{m}$$

As Tabelas 5.5, 5.6 e 5.7, demonstram o esforço máximo suportado para cada tipo de tela eletrosoldada. É importante salientar que a área de aço de $0,61 \text{ cm}^2/\text{m}$ será utilizada nas duas faces.

Tabela 5.5 Verificação da armadura Q61

Cargas Limite: Faces de 2cm, fck 15 Mpa e Armadura Q61			
N=	18,59	kN/m	Verificação de armadura
Nd=	26,02	kN/m	
Md=	166	kNcm	
fck=	15	Mpa	
tc=	2	cm	
$A'_s =$	0,61	cm ² /m	Armadura Calculada Comprimida
$A_s =$	0,21	cm ² /m	Armadura Calculada Tracionada

Fonte: Própria (2021)

Tabela 5.6 Verificação da armadura Q75

Cargas Limite: Faces de 2cm, fck 15 Mpa e Armadura Q75			
N=	26,92	kN/m	Verificação de armadura
Nd=	37,70	kN/m	
Md=	166	kNcm	
fck=	15	Mpa	
tc=	2	cm	
$A'_s =$	0,75	cm ² /m	Armadura Calculada Comprimida
$A_s =$	0,13	cm ² /m	Armadura Calculada tracionada

Fonte: Própria (2021)

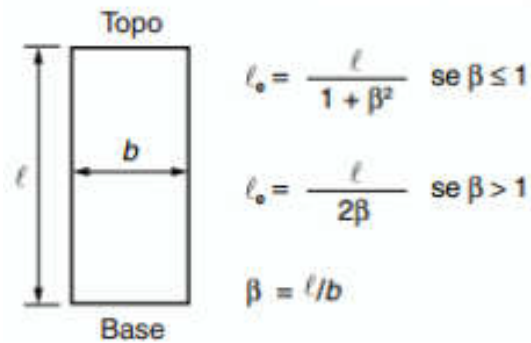
Tabela 5.7 Verificação da armadura Q92

Cargas Limite: Faces de 2cm, fck 15 Mpa e Armadura Q92			
N=	36,57	kN/m	Verificação de armadura
Nd=	51,20	kN/m	
Md=	166	kNcm	
fck=	15	Mpa	
tc=	2	cm	
$A'_s =$	0,92	cm ² /m	Armadura Calculada Comprimida
$A_s =$	0,03	cm ² /m	Armadura Calculada Tracionada

Fonte: Própria (2021)

Em sequência, é realizada a verificação de flambagem para o painel sanduíche. A partir da formulação apresentada na seção 5.1, temos que o painel está fixo na base, no topo e nas laterais, conforme a Figura 5.10.

Figura 5.10 – Vinculação dos painéis analisados



Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014)

Em que:

$$\beta = \frac{3,72}{1,00} = 3,72$$

$$l_e = \frac{3,72}{2 \times 3,72} = 0,50m$$

$$\lambda_i = 3,46 \times \frac{0,50}{0,12} = 14,41$$

Portanto, $\lambda_i < 35$, sendo o painel dispensado da análise de 2ª ordem.

6 QUANTITATIVO E ORÇAMENTOS DO MATERIAIS EMPREGADOS NO SISTEMA CONSTRUTIVO APRESENTADO

Neste capítulo, é apresentado o quantitativo obtido para execução da edificação em estudo, modelada em paredes de EPS.

Para realizar o comparativo de custo da obra tradicional com as paredes de sanduíche, seleciona-se apenas itens referentes à estrutura e alvenaria, pois os restantes dos custos permanecerão os mesmos.

O quantitativo do projeto inicial, da construção tradicional, proposta pela FUNASA, foi retirado do memorial descritivo disponível no próprio site da FUNASA.

O quantitativo da construção em EPS, o quantitativo de volume de argamassa, placas de EPS (núcleo das paredes), telas eletrosoldadas foram obtidos por cálculos manuais. A memória de cálculo dos quantitativos encontra-se no Apêndice E.

6.1 QUANTITATIVO DO SISTEMA CONSTRUTIVO EM PAREDES DE EPS

A partir do desenho de modulação das paredes de EPS do referido sistema construtivo, calculam-se as quantidades de materiais empregados na construção da edificação, onde foi elaborado a Tabela 6.1.

Tabela 6.1 – Total de materiais utilizados na estrutura da edificação

Argamassa (m ³)	Tela eletrosoldada (m ²)	Aço (kg)	EPS - Paredes (m ³)
4,66	232,65	69,94	6,35

Fonte: Própria (2021)

Tomando como base a resistência característica da argamassa em 15 Mpa, é recomendado o traço 1:3 para atingir a resistência solicitada, em que o consumo para cada metro cúbico de argamassa está detalhado na Tabela 6.2.

Tabela 6.2 – Traço utilizado para argamassa

Fck provável (Mpa)	Traço em volume	Cimento (kg)	Areia úmida (l)	Água (l)	Aditivo plastificante (l)
17,20	- 1:3	339	1017	160	1,41

Fonte: Adaptado de PRUDÊNCIO, Luiz R.; OLIVEIRA, Alexandre L., BEDIM, Carlos A. Alvenaria Estrutural de Blocos de Concreto, Florianópolis (p.52) (2002)

Com base nas informações do consumo de materiais utilizados na obra e no traço escolhido, obtém-se a quantidade de componentes da argamassa das paredes de EPS na Tabela 6.3.

Tabela 6.3 – Total de constituintes da argamassa

Argamassa - 15 Mpa		
Traço:	1 :3 (Cimento: Areia umida)	
Descrição	Quantidade	Unidade
Cimento	32,00	sacos (50kg)
Areia úmida (10%)	4,80	m ³
Água	745,60	litros
Aditivo	6,58	litros

Fonte: Adaptado de PRUDÊNCIO, Luiz R.; OLIVEIRA, Alexandre L., BEDIM, Carlos A. Alvenaria Estrutural de Blocos de Concreto, Florianópolis (p.52) (2002)

Após, é apresentado na Tabela 6.4 o levantamento da quantidade de aço em barra que será utilizado na fixação dos painéis.

Tabela 6.4 – Quantitativo do aço em quilos

Bitola (mm)	Ø8.0	Ø6.3
Massa (kg)	29,00	40,94

Fonte: Própria (2021)

A tabela 6.5, apresenta o quantitativo, das malhas eletroldadas utilizadas nos painéis de EPS.

Tabela 6.5 – Quantidade de tela eletrosoldada

Tela	EQ61
Área (m ²)	232,65

Fonte: Própria (2021)

6.2 COMPARAÇÃO DO CUSTO ENTRE O SISTEMA CONSTRUTIVO TRADICIONAL E O SISTEMA EM ARGAMASSA ARMADA

A partir do quantitativo levantado da construção de painéis monolíticos, foram elaboradas planilhas orçamentárias dos materiais utilizados no sistema construtivo.

Para orçamento do custo do sistema construtivo tradicional, utiliza-se as especificações técnicas da construção disponibilizado no site da Funasa. Neste será possível encontrar a planilha orçamentária para o projeto base. Em alguns casos houve a necessidade de adequar e atualizar os itens prescritos na planilha, pois os mesmos estavam desatualizados. Desta forma, foi utilizado banco de dados do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) como base para realizar todas essas atualizações. Foi utilizado a base de dados do SINAPI de dezembro de 2021 para quase todos os insumos, exceto para as placas de EPS resistente a fogo, que foi realizado cotação local para determinar o preço unitário do item.

A planilha orçamentária para os modelos construtivos tradicionais e argamassa armada são apresentadas na Tabela 6.6 e 6.7, respectivamente. O preço unitário de cada item é composto por mão de obra e material.

Tabela 6.6 – Planilha orçamentária sintética - Tradicional

ITENS	Código SINAPI	DESCRIÇÃO	UNID	QUANT	PREÇO UNIT. (R\$)	PREÇO TOTAL (R\$)
6		ESTRUTURA				2.923,19
6.01	SINAPI	LAJE PRÉ-MOLDADA UNIDIRECIONAL, BIAPOIADA, PARA PISO, ENCHIMENTO EM CERÂMICA, VIGOTA CONVENCIONAL, ALTURA TOTAL DA LAJE (ENCHIMENTO+CAPA) = (8+4).	m²	3,08	136,42	420,17
6.02	SINAPI	VERGA PRÉ-MOLDADA COM ATÉ 1,5 M DE VÃO	m	26,20	45,10	1.181,62
6.03	SINAPI	ALVENARIA DE VEDAÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS MACIÇOS DE 5X10X20CM (ESPESSURA 10CM) E ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO COM PREPARO EM BETONEIRA	m²	6,88	112,64	774,96
6.04	SINAPI	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-50, DIÂMETRO DE 6,3 MM, UTILIZADO EM ESTRUTURAS DIVERSAS, EXCETO LAJES.	kg	45,88	11,91	546,43
7		PAREDES E PAINEIS (alvenaria de elevação)				7.879,54
7.01	SINAPI	ALVENARIA DE VEDAÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS FURADOS NA HORIZONTAL DE 9X19X19CM (ESPESSURA 9CM) DE PAREDES COM ÁREA LÍQUIDA MAIOR OU IGUAL A 6M² COM VÃOS E ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO COM PREPARO MANUAL	m²	114,13	69,04	7.879,54
		TOTAL GERAL				10.802,72
* Os códigos SINAPI são referentes ao Estado de Goiás, mês dez/2021. Cada projeto deverá apresentar custo menor ou igual à mediana do SINAPI, tomando por base a tabela de seu estado.						

Fonte: Própria (2021)

Tabela 6.7 – Planilha orçamentária sintética – Paredes Sanduíche

ITENS		DESCRIÇÃO	UNID	QUANT	PREÇO UNIT. (R\$)	PREÇO TOTAL (R\$)
6		ESTRUTURA				420,17
6.01	101963	LAJE PRÉ-MOLDADA UNIDIRECIONAL, BIAPOIADA, PARA PISO, ENCHIMENTO EM CERÂMICA, VIGOTA CONVENCIONAL, ALTURA TOTAL DA LAJE (ENCHIMENTO+CAPA) = (8+4).	m²	3,08	136,42	420,17
7		PAREDE DE EPS				9.631,58
7.01	PRÓPRIA	POLIESTIRENO EXPANDIDO - EPS TIPO 3F	m³	6,35	266,70	1.693,55
7.02	SINAPI	TELA , CA-60, Q-61, (0,97 KG/M2), D = 3,4 MM 6X2,45, = 15 X 15 CM	m²	236,00	9,55	2.253,80
7.03	SINAPI	CIMENTO PORTLAND COMPOSTO CP II-32	kg	1600,00	0,56	896,00
7.04	SINAPI	AREIA FINA - POSTO JAZIDA/FORNECEDOR	m³	4,62	129,95	600,37
7.06	SINAPI	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-50, DIÂMETRO DE 6.3 mm e 8.0mm	kg	69,94	11,91	832,98
7.07	PRÓPRIA	MONTAGEM DOS PAINEIS DE EPS	kg	236,00	3,00	708,00
7.08	SINAPI	CONCRETAGEM DE EDIFICAÇÕES (PAREDES)	m³	4,66	568,00	2.646,88
		TOTAL GERAL				10.051,75
* Os códigos SINAPI são referentes ao Estado de Goiás, mês dez/2021. Cada projeto deverá apresentar custo menor ou igual à mediana do SINAPI, tomando por base a tabela de seu estado.						

Fonte: Própria (2021)

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por ser uma metodologia construtiva pouco conhecida, o estudo referente ao painel sanduíche proporcionou um melhor entendimento sobre o potencial do modelo construtivo, bem como suas vantagens na execução sendo uma construção rápida e limpa.

Utilizando a teoria de dimensionamento do concreto armado, através de pesquisas e análise de normas, foi possível utilizar um modelo de dimensionamento para os painéis sanduíches.

A partir das Tabelas 6.6 e 6.7, é possível fazer um comparativo de custos referentes aos materiais empregados nos dois modelos construtivos, e observa-se que as paredes sanduíches apresenta uma redução de custo em cerca de 7% para o projeto estudado.

7.1 CONCLUSÕES

Adotando-se as telas soldadas Q61, Q75 e Q92, com valores médios calculados de resistência a esforços verticais de 26,02 kN, 37,70 kN e 51,20 kN, observa-se que a seção transversal adotada suporta esforços atuantes superiores ao que é solicitado.

A construção de EPS, ainda é escassa de mão de obra especializada no mercado, por isso, se tratando de pequenas construções, a solução em construção de EPS pode não ser viável para quem procura facilidade na execução da obra, além do fato de não produzir grandes diferenças em valores financeiros.

Em projetos habitacionais como condomínios, bairros planejados, conjuntos habitacionais, em que se planeja a repetição de um mesmo projeto, a construção em EPS seria uma excelente solução, pois apresenta uma redução significativa no tempo de construção, conforme citado anteriormente, e há também a redução no desperdício de materiais, da equipe de trabalho e etc.

7.2 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS DE CONCLUSÃO DE CURSO

- a) Avaliar a durabilidade do modelo construtivo;
- b) Conforme apresentado no capítulo 5, há outras composições dos painéis sanduíches que podem ser consideradas. Propõe-se dimensionar o mesmo projeto apresentado neste trabalho, considerando outro grau de interação, a seção sanduiche como não-composta;
- c) Comparar a relação entre custo de mão-de-obra do modelo construtivo tradicional e do modelo construtivo com painéis de EPS;
- d) Dimensionar lajes e escadas com núcleo de EPS, método semelhante ao de parede de EPS citado neste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: cálculos de detalhamentos de estrutura de concreto armado**, 2014.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120: ações para o cálculo de estruturas de edificações**, 2019.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7480: aço destinado à armaduras para estruturas de concreto armado**, 2007.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8081: Espuma rígida de poliuretano para fins de isolamento térmica - Permeabilidade ao vapor de água**, 2015.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7973: Poliestireno expandido para isolamento térmica - Determinação de absorção de água**, 2007.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8082: Espuma rígida de poliuretano para fins de isolamento térmica — Determinação da resistência à compressão**, 2016.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11173: Projeto e execução de argamassa armada**, 1990.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12094: Espuma rígida de poliuretano para fins de isolamento térmico - Determinação da condutividade térmica - Método de ensaio**, 1991.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16868: Alvenaria estrutural - Parte 1: Projeto**, 2020.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Edificações habitacionais — Desempenho**, 2013.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931: Execução de estruturas de concreto - Procedimento**, 2004.

ABRAPEX, **O que é EPS?** Disponível em: <http://www.abrapex.com.br/01OqueeEPS.html> Acesso em: 25 de julho de 2021.

AECWEB, 2021; **Saiba como monta os painéis monolíticos de eps na obra;** Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/especiais/grupoisorecort/materia/saiba-como-montar-os-paineis-monoliticos-de-eps-na-obra/19235/>. Acesso em 13 de dezembro 2021.

ALVES, João Paulo de Oliveira. **Sistema construtivo em painéis de EPS.** Orientador: Jorge Antônio Da Cunha Oliveira. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2015.

BARRETO, Monalisa Nogueira. **Casa EPS: Edifício residencial em painéis monolíticos de poliestireno expandido.** Orientador: José Jefferson de Sousa. Trabalho final de Graduação (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

BASTOS, Paulo Sergio. **Flexão composta e pilares de concreto armado.** – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2021.

BERTINI, Alexandre Araujo. **Estruturas tipo sanduíche com placas de argamassa projetada.** Orientador: Libânio Miranda Pinheiro. Tese (doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

BERTOLDI, Renato Hercílio. **Caracterização de sistema construtivo com vedações constituídas por argamassa projetada revestindo núcleo composto de poliestireno expandido e telas de aço: dois estudos de caso em Florianópolis.** Orientador: Fernando Barth. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil)- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

EP Blocos, 2021. **Canaleta de concreto.** Disponível em: <https://www.epblocos.com.br/produtos/canaleta-em-u-14x19x39cm/16>. Acesso em 20 de janeiro de 2022.

FONSÊCA, F.J.C 1994; **Projeto de painéis sanduíche de concreto pré-moldado**. Orientador: João Bento de Hanai. Tese (mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1994.

FÜHR, A.G 2017; **Análise estrutural e de custos de estruturas de concreto armado com vedações verticais com painéis monolíticos em EPS e com blocos cerâmica. São Leopoldo**, Orientador: Bernardo Fonseca Tutikian. Tese (mestrado). Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2017.

FUNASA, 2018. **Fundação Nacional de Saúde (FUNASA)**. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/a-funasa1>. Acesso em 29 de julho de 2021.

FUNASA, 2017. **Melhorias habitacionais para o controle da doença de chagas**. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/web/guest/melhorias-habitacionais-para-o-controle-da-doenca-de-chagas>. Acesso em 29 de julho de 2021.

FUNASA, 2017. **Modelo de projeto basico habitação de 2 quartos**. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/modelo-de-projeto-basico-habitacao-de-2-quartos>. Acesso em 29 de julho de 2021.

HANAI, J.B.;TAKEYA,T. **Estudo do comportamento estrutural de painéis MONOLITE CABRINO na flexão simples**. Relatório final, Laboratório de estruturas. São Paulo, 1994.

IBTS - Instituto Brasileiro de Telas Soldadas; **Telas soldadas informações técnicas**, 1990, São Paulo.

ISORECORT, 2016; **Construção com EPS**; Disponível em: www.construcaocomeps.com.br/painéis-autoportantes-com-eps/ . Acesso em 07 de março 2021.

JJ DESIGN ARQUITETURA. **Sistemas Construtivos Sustentáveis**. Disponível em: <http://www.jjdesign.com.br/sustentabilidade/sistemas-construtivos-sustentaveis.html>. Acesso em: 28 de julho de 2021.

L&D em Pré- Fabricação: **alguns contributos do Decivil da FEUP**” (2000), 1.º Congresso Nacional da Indústria da Pré-Fabricação em Betão, Porto, Vol. I, p. 69-95.

LUEBLE, Ana Regina Ceratti Pinto. **Construção de habitações com painéis de EPS e argamassa armada**. In: **Conferência latino-americana de construção**

sustentável x encontro nacional de tecnologia do ambiente construído, 2004, São Paulo.

MEDEIROS, Guilherme Álef Nobrega. **Avaliação de paredes sanduíche em argamassa armada com núcleo de EPS**. Orientador: Givanildo Alves de Azeredo. Trabalho final de Graduação (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Paraíba - UFPB, João Pessoa, 2017.

MOTA, Douglas Antunes. **Análise de soluções sustentáveis para moradia unifamiliar**, Orientador: Patricia Layne Alves Traldi. Trabalho final de Graduação (Graduação em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Goiás, Goiânia, 2021.

MUNDO ISOPOR, 2016; **EPS Isopor, tubo o que você precisa saber**; Disponível em: <https://www.mundoisopor.com.br/knauf/eps-isopor-tudo-o-que-voce-precisa-saber>. Acesso em 21 de dezembro 2021.

NETO, José Orlando Avesani. **Caracterização do comportamento geotécnico do EPS através de ensaios mecânicos e hidráulicos**, 2008, São Carlos.

PCI COMMITTEE REPORT. **State-of-the-art of precast/prestressed sandwich wall panels**. PCI JOURNAL, p.32-49, May-June, 1997.

PRUDÊNCIO JUNIOR, Luiz Roberto; OLIVEIRA, Alexandre Lima; BEDIM, Carlos Augusto. **Alvenaria Estrutural de Blocos de Concreto**. Associação Brasileira de Cimento Portland. Florianópolis, 2002

SINAT, SISTEMA NACIONAL DE AVALIAÇÕES TÉCNICAS. **DIRETRIZ 11: paredes, moldadas no local, constituídas por componentes de poliestireno expandido (EPS), aço e argamassa, microconcreto ou concreto**, 2014.

TÉCHNE, 2012. **Tecnologia: Paredes de painéis monolíticos de EPS**. Disponível em: <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/129/artigo285706-2.aspx>. Acesso em 20 de outubro de 2021

TERMOTÉCNICA, 2014; **Método construtivo inovador e sustentável recebe certificação**; Disponível em: <http://www.termotecnica.ind.br/metodo-construtivo-inovador-e-sustentavel-recebe-certificacao/>. Acesso em 20 de outubro de 2021.

VIVADECORA, 2019; **Casa de isopor**; Disponível em: <https://www.vivadecora.com.br/pro/arquitetura/casa-de-isopor/>. Acesso em 25 de julho 2021.

APÊNDICE A – ORÇAMENTO EPS ISOESTE KINGSPAN



PEDIDO DE VENDA 171741

101 KINGSPAN-ISOESTE CONSTRUTIVOS ISOTERMICOS S/A Vendedor: 272 NATAN

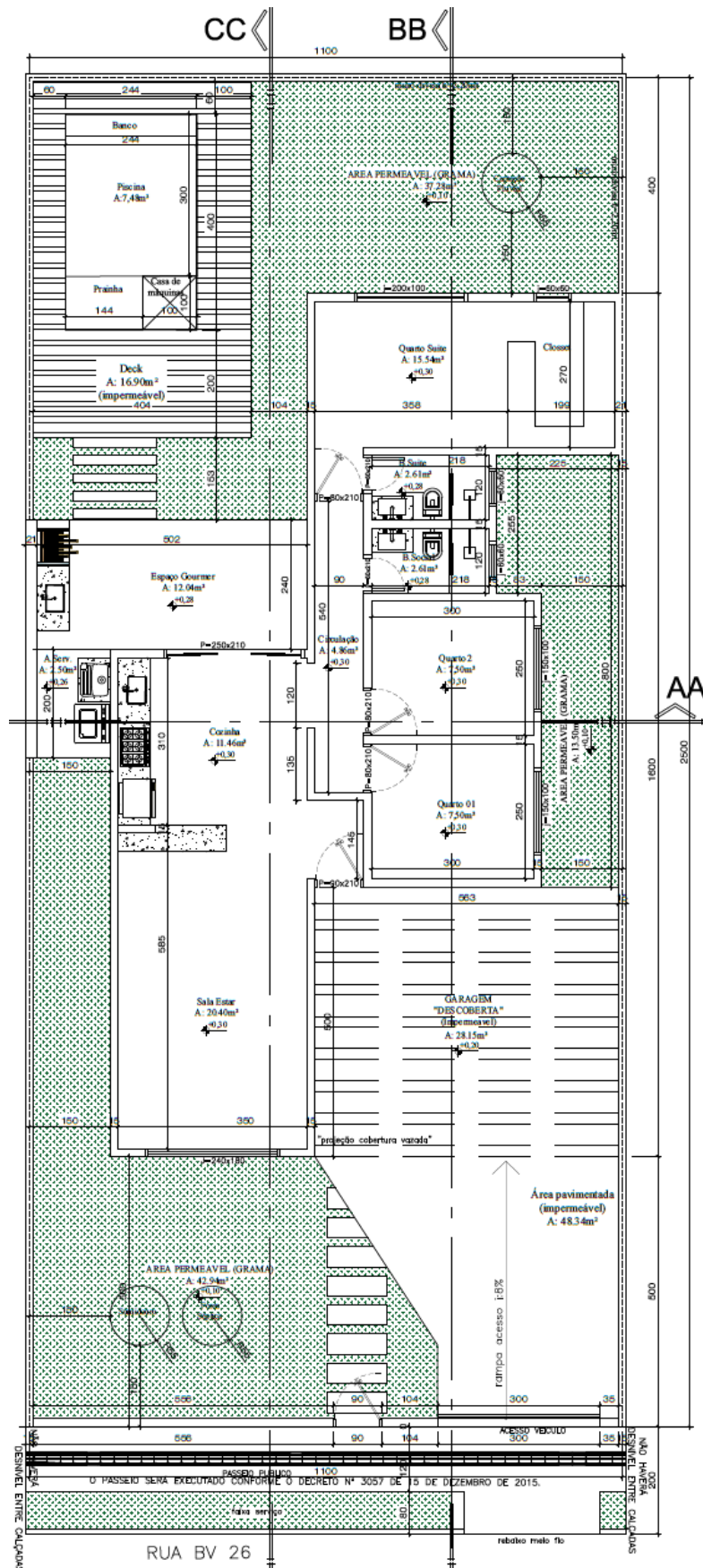
CNPJ: 00.289.348/0001-40

Cliente: DAVY FOGACA NOGUEIRA
E-mail: davy.eng@outlook.com
Telefone: (62)9361-8046
Contato: davy.eng@outlook.com
Ins Est:
CGC/CPF:
Triangular:
Contra
aviso: Não

Endereço: RUA RT 7, 01
Cidade: GOIÂNIA
Bairro: RESIDENCIAL TALISMÃ
CEP: 74371130
Estado: GO
Tipo: AVULSO
Número CEI:

QTD.	UNID.	DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS	VALOR UNIT.R\$ Sem IPI	VALOR TOTALR\$ Sem IPI	ICMS %	IPI %
4,8000	M3	331450 - BLOCO PRIMARIO DE EPS TIPO 1F - NCM: 39031900	203,32	975,94	17,00	5,00
4,8000	M3	331400 - BLOCO PRIMARIO DE EPS TIPO 2F - NCM: 39031900	234,89	1.127,47	17,00	5,00
4,8000	M3	331404 - BLOCO PRIMARIO DE EPS TIPO 3F - NCM: 39031900	253,89	1.218,67	17,00	5,00
4,8000	M3	331408 - BLOCO PRIMARIO DE EPS TIPO 4F - NCM: 39031900	314,41	1.509,17	17,00	5,00
4,8000	M3	331410 - BLOCO PRIMARIO DE EPS TIPO 5F - NCM: 39031900	382,41	1.835,57	17,00	5,00
4,8000	M3	331412 - BLOCO PRIMARIO DE EPS TIPO 6F - NCM: 39031900	457,98	2.198,30	17,00	5,00
4,8000	M3	331414 - BLOCO PRIMARIO DE EPS TIPO 7F - NCM: 39031900	533,56	2.561,09	17,00	5,00

Tabela de Preço:	BASECOM5 - TABELA BASECOM DE 2021 C/ NOVA REDUÇÃO	Total Item:	11.426,21
Frete:	CIF	Total IPI:	571,31
Ordem de Compra:		IPI FRETE:	0,00
Prazo p/ Material:	ANTECIPADO 100%	Total Frete:	0,00
Operação Final:	VENDA NORMAL		



APÊNDICE C – CÁLCULO PESO PRÓPRIO

a) Peso próprio paredes sanduíche laterais – P1 e P3.

$$PPP_l = \gamma_{\text{conc}} \times 2 \cdot \text{Esp. plac} \times H_{\text{parede. L}} + \gamma_{\text{eps}} \times \text{Esp. EPS} \times H_{\text{parede. L}}$$

$$PPP_l = (25 \cdot 2 \cdot 0,02 \cdot 2,65) + (0,15 \cdot 0,08 \cdot 2,65) \rightarrow PPP_l = 2,68 \text{ kN/m}$$

b) Peso próprio parede sanduíche central – P2.

$$PPP_c = \gamma_{\text{conc}} \times 2 \times \text{Esp. plac} \times H_{\text{parede. C}} + \gamma_{\text{eps}} \times \text{Esp. EPS} \times H_{\text{parede. C}}$$

$$PPP_c = 25 \cdot 2 \cdot 0,02 \cdot 3,72 + (0,15 \cdot 0,08 \cdot 3,72) \rightarrow PPP_c = 3,77 \text{ kN/m}$$

c) P4, P5, P6, P7 e P8 = *Peso Prop. Par*

$$P4, P5, P6, P7 \text{ e } P8 = (25 \cdot 2 \cdot 0,02 \cdot \left(\frac{3,72 + 2,65}{2}\right)) + \left(0,15 \cdot 0,08 \cdot \frac{3,72 + 2,65}{2}\right)$$

$$\rightarrow P4, P5, P6, P7 \text{ e } P8 = 3,21 \text{ kN/m}$$

d) P9 = *Peso Prop. Par*

$$P9 = 25 \cdot 2 \cdot 0,02 \cdot 3,31 + (0,15 \cdot 0,08 \cdot 3,31) \rightarrow P9 = 3,40 \text{ kN/m}$$

e) Peso próprio da cobertura

Peso próprio da estrutura da Cobertura

$$PPEC = \text{Qtd. ripas} \times C. \text{ Caibros} \times \text{Á. s. Caibros} \times \gamma_{\text{ma}}$$

$$+ \text{Qtd. Vigotas} \times C. \text{ Vigotas} \times \text{Á. s. Vigotas} \times \gamma_{\text{maç}}$$

$$PPEC = 20 \cdot 8,46 \cdot (0,05 \cdot 0,06) \cdot 1200 + 16 \cdot 3,6 \cdot (0,12 \cdot 0,06) \cdot 1200$$

$$\rightarrow PPEC = 11,07 \text{ kN}$$

Peso próprio da Cobertura

$$PPC = PPEC + \text{Peso telha úmida (m}^2\text{)} \times \text{Área do telhado}$$

$$PPC = 11,07 + (0,4883 \cdot 1,12) \times (8,46 \cdot 7,20) \rightarrow PPC = 44,38 \text{ kN}$$

- Em que:

$\gamma_{\text{maç}}$: Densidade da madeira Maçaranduba;

Á.s Ripas: Área da seção transversal das Ripas;

Á.s Caibros : Área da seção transversal dos Caibros;

C. Ripas : Comprimento das ripas;

C. Caibros : Comprimento dos caibros;

γ_{conc} : Densidade do concreto;

H. laje :* Altura da laje do banheiro;

Esp. plac: Espessura da placa de EPS;

γ_{eps} ; Densidade do EPS;

$H_{parede.C}$: Altura da parede central;

$H_{parede.L}$: Altura da parede lateral;

PPP_l : Peso próprio das paredes laterais;

PPP_c : Peso próprio da parede central.

APÊNDICE D – CÁLCULO AÇÕES PERMANENTES, ACIDENTAIS E VARIÁVEIS

Ações permanentes

$$a) P1 = \text{Peso Prop. Par} + \text{Á. influência cobertura} \times \text{Peso da cobertura} \left(\frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right)$$

$$\text{Á. Cobertura} = 60,91 \text{m}^2$$

$$\text{Peso da Cobertura} = \frac{44,38}{60,91} = 0,73 \text{kN/m}^2$$

$$P1 = \frac{2,68 \text{kN}}{\text{m}} + 1,80 \text{m} \cdot \frac{0,73 \text{kN}}{\text{m}^2} \rightarrow P1 = 3,97 \text{kN/m}$$

$$b) P2 = \text{Peso Prop. Par} + \text{Á. influência cobertura} \times \text{Peso da cobertura} \left(\frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right)$$

$$P2 = \frac{3,77 \text{kN}}{\text{m}} + 3,6 \text{m} \cdot \frac{0,73 \text{kN}}{\text{m}^2} \rightarrow P2 = 6,36 \text{kN/m}$$

$$c) P3 = \text{Peso Prop. Par} + \text{Á. influência cobertura} \times \text{Peso da cobertura} \left(\frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right)$$

$$P3 = \frac{2,68 \text{kN}}{\text{m}} + \frac{1,80 \text{m}}{0,93} \cdot \frac{0,73 \text{kN}}{\text{m}^2} \rightarrow P3 = 4,07 \text{kN/m}$$

$$d) P5, P6 = \text{Peso Prop. Par} + \text{Á. influência forro} \times \text{Peso forro} \left(\frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right)$$

$$P5, P6 = 3,21 + 0,82 \times (25 \cdot 0,08 + 0,5) = 5,26 \text{ kN/m}$$

$$e) P1 = \text{Peso sobre a Par} + \text{Á. influência forro} \times \text{Peso forro} \left(\frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right)$$

$$P1 = 3,97 + 0,47 \times (25 \cdot 0,08 + 0,5) = 5,15 \text{ kN/m}$$

$$f) P9 = \text{Peso Prop. Par} + \text{Á. influência forro} \times \text{Peso forro} \left(\frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right)$$

$$P9 = 3,40 + 0,47 \times (25 \cdot 0,08 + 0,5) = 4,58 \text{ kN/m}$$

1. Ações Variáveis

Vento

Dados:

- $V_o = 35 \text{ m/s}$
- $S_1 = 1$
- $S_2 = 0,94$
- $S_3 = 0,88$

$$V_k = V_o \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \rightarrow 35 \cdot 1 \cdot 0,94 \cdot 0,88 \rightarrow V_k = 29 \text{ m/s}$$

$$q_k = 0,613 \cdot (V_k)^2 \rightarrow 0,613 \cdot (29)^2 \rightarrow q_k = 514 \text{ N/m}^2$$

APÊNDICE E – MEMÓRIA DE CÁLCULO DOS QUANTITATIVOS

Memória de Cálculo dos quantitativos			
Paredes Sanduíche			
Área total das paredes da edificação =	$17,73 \text{ m}^2 + 8,86\text{m}^2 + 8,86\text{m}^2 + 8,86\text{m}^2 + 8,86\text{m}^2 + 20,04 \text{ m}^2 + 20,04 \text{ m}^2 + 3,60 \text{ m}^2 + 8,90 \text{ m}^2 =$	105,75	m^2
Argamassa 15 Mpa(+10%) =	$105,75 \text{ m}^2 \times 0,04\text{m} \times 1,1 =$	4,66	m^3
Tele Eletrosoldada (+10%)	$2 \times 105,75 \text{ m}^2 \times 1,1 =$	232,65	m^2
Conectores (Ø6.3mm)	$1,58 \text{ m/m}^2 \times 105,75 \text{ m}^2 \times 0,245 \text{ kg/m} \times 1,1 =$	40,94	kg
Fixadores (Ø8.0mm)	$(40 \text{ m} / 0,3) \times 0,50 \text{ m} \times 0,395 \text{ kg/m} \times 1,1 =$	29,00	kg
Cimento	$4,66 \text{ m}^3 \times 339 \text{ kg/m}^3 / 50 \text{ kg} =$	32,00	sacos
Areia	$4,66 \text{ m}^3 \times 1,017 \text{ m}^3/\text{m}^3 =$	4,74	m^3

APÊNDICE F – Traços e propriedades das argamassas

Tipo de Argamassa	Traço em Volume			Resistência Média Esperada (MPa)
	Cimento	Cal	Areia	
M	1	0 - 1/4	*	17,2
S	1	1/2		12,4
N	1	1		5,2
O	1	2		2,4

* De 2,25 a 3 vezes o volume de cimento e cal

FONTE: PRUDÊNCIO, Luiz R.; OLIVEIRA, Alexandre L., BEDIM, Carlos A. Alvenaria Estrutural de Blocos de Concreto, Florianópolis (p.52) (2002)