

**BRUNO KRAUTHAMER
GABRIEL MANFREDINI DE ABREU
MARIA AUGUSTA FRANCO
MATHEUS GHESSI**

**Desenvolvimento de projeto de edificação habitacional com emprego da
tecnologia *light steel framing (LSF)***

São Paulo

2017

**BRUNO KRAUTHAMER
GABRIEL MANFREDINI DE ABREU
MARIA AUGUSTA FRANCO
MATHEUS GHESSI**

**Desenvolvimento de projeto de edificação habitacional com emprego da
tecnologia *light steel framing (LSF)***

Projeto de Formatura apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo, no
âmbito do Curso de Engenharia Civil

Orientadora: Profª. Dra. Mercia Maria
Semensato Bottura de Barros

São Paulo

2017

Catalogação-na-publicação

Abreu, Gabriel

Desenvolvimento de projeto de edificação habitacional com emprego da tecnologia light steel framing (LSF) / G. Abreu, B. Krauthamer, M. Ghessi, M. Franco -- São Paulo, 2017.

209 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

Volte e preencha o campo Assunto!Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil II.t.
III.Krauthamer, Bruno IV.Ghessi, Matheus V.Franco, Maria

Dedicamos esse trabalho a nossos familiares, que sempre nos apoiaram ao longo da vida, principalmente nesse período que passamos na Escola Politécnica. Também aos nossos amigos e professores, que nos acompanharam nessa jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos que nos apoiaram e ajudaram a realizar este trabalho. Agradecemos aos professores que transmitiram conhecimento ao longo da graduação. Em especial, agradecemos a nossa orientadora, professora Mercia, que acreditou na ideia e enriqueceu o trabalho com todo seu conhecimento e experiência.

RESUMO

Como em todas as áreas, a Engenharia Civil necessita desenvolvimento tecnológico para acompanhar e atender às novas necessidades da sociedade. Métodos produtivos que reduzam tempos de produção e sejam mais sustentáveis em relação aos métodos tradicionais devem ser priorizados para que sejam atingidos patamares mais elevados de industrialização em todos os segmentos industriais. Particularmente a indústria de produção de edificações deve se modernizar de forma que, sendo mais eficiente a sua produção, possa suprir - com menores investimentos de recursos financeiros e de tempo - a suprir o déficit habitacional em grande escala no país.

O grupo visou por meio deste trabalho, projetar uma edificação habitacional econômica, usando a tecnologia do *Light Steel Framing (LSF)*, estudando a possibilidade de industrializar o processo de produção da edificação, a partir do desenvolvimento de projetos de montagem e compatibilidade entre as especialidades. Acreditando que todos esses aspectos necessitam ser colocados em prática em prol da sociedade, principalmente dos mais necessitados, o trabalho associa essa nova tecnologia a um projeto de uma habitação econômica que possa ser produzida industrialmente e rapidamente montada em seu lugar definitivo, sendo este o objetivo central do trabalho.

Para o desenvolvimento do projeto, o método de trabalho considerou técnicas de *benchmarking* para comparativo entre construções existentes, fomentando novas ideias nos autores. Considerou, ainda, todo o conhecimento acumulado ao longo do curso de graduação em Engenharia Civil na Escola Politécnica, colocando-os, agora, em prática com a finalidade de desenvolver projetos com novas tecnologias, visando aperfeiçoar ao longo da cadeia produtiva, aspectos como transporte, mão de obra, tempo de montagem e construção sustentável.

O resultado do trabalho é um conjunto integrado de diferentes disciplinas de projeto cuja colocação em prática poderá resultar em uma unidade habitacional econômica, produzida de modo racionalizado e industrializado que mostram a viabilidade técnica, sustentável e construtiva da tecnologia.

Palavras-chave: Habitação popular. Steel frame. Light Steel Framing (LSF). Edificação habitacional econômica. Projeto Habitacional

ABSTRACT

As in all areas, Civil Engineering needs technological development to accompany and meet the new requirements of society.

Productive methods that reduce production times and are more sustainable compared to traditional methods should be prioritized to achieve higher levels of industrialization in all industrial segments. In particular, the building industry must modernize in a way that, being more efficient in its production, can supply - with less investment of financial resources and time - to fill the large-scale housing deficit in the country.

The group aimed to design an economic housing project using Light Steel Framing (LSF) technology, studying the possibility of industrializing the production process of the building, from the development of assembly projects and compatibility between the specialties . Believing that all these aspects need to be put into practice for the sake of society, especially those most in need, the work associates this new technology with a project of an economic dwelling that can be produced industrially and quickly mounted in its final place, this being the objective Work.

For the development of the project, the working method considered benchmarking techniques to compare existing constructions, fostering new ideas in the authors. It also considered all the knowledge accumulated during the course of graduation in Civil Engineering at the Polytechnic School, putting them now in practice with the purpose of developing projects with new technologies, aiming to perfect along the production chain, aspects such as transportation , Labor, assembly time and sustainable construction.

The result of the work is an integrated set of different design disciplines whose implementation can result in a rationalized and industrialized economical housing unit that show the technical, sustainable and constructive viability of the technology.

Keywords: Popular housing. Steel frame. Light Steel Framing (LSF). Economic housing construction. Housing Project

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Pesos dos componentes do sistema de cobertura.....	41
Quadro 2 - Peso atuante nas águas	43
Quadro 3 - Cargas atuantes nas terças	46
Quadro 4 - Coeficientes de segurança	47
Quadro 5 - Carregamentos de cálculo.....	47
Quadro 6 - Comprimentos de influência.....	48
Quadro 7 - Cargas distribuídas	48
Quadro 8 - Cargas decompostas nos eixos principais de inércia	50
Quadro 9- Correspondência entre nós da treliça e as terças que estão apoiadas em cada nó	66
Quadro 10 - Reações (em N) no eixo x do sistema local de coordenadas	66
Quadro 11 - Reações (em N) no eixo y do sistema local de coordenadas	67
Quadro 12 – Forças aplicadas nos nós das treliças.....	68
Quadro 13 - Características em relação ao eixo x	89
Quadro 14 -Características em relação ao eixo y.....	89
Quadro 15 - Cálculo de Nrk	91
Quadro 16 - Número de pontos de luz	94
Quadro 17 - Potências demandadas	96
Quadro 18 - Divisão dos circuitos.....	98
Quadro 19 - Circuito e descrição das proteções.....	100
Quadro 20 - Fator de demanda	101

Quadro 21 - Fator de demanda para TUE's	102
Quadro 22 - Divisão dos circuitos e Distribuição Geral	104
Quadro 23 - Resumo dos circuitos	106
Quadro 24 - Seção dos condutores e corrente nominal	106
Quadro 25 - Seção mínima dos condutores (NBR 5410)	107
Quadro 26 - Disjuntores e seção dos condutores	107
Quadro 27 - Diâmetro dos eletrodutos	108
Quadro 28 - Elementos sanitários	111
Quadro 29 - Unidades de Hunter de contribuição dos aparelhos sanitários e diâmetro nominal mínimo dos ramais de descarga	112
Quadro 30 - Unidades de Hunter de Contribuição para aparelhos não relacionados na Tabela 1, para ramais de descarga	112
Quadro 31 - Dimensionamento dos ramais de esgoto	112
Quadro 32 - Consumo "per capita" diário de água	116
Quadro 33 - Pesos atribuídos aos pontos de utilização	118
Quadro 34 - Cálculo do diâmetro mínimo	120
Quadro 35 - relação entre diâmetros interno e nominal para o PEX	120
Quadro 36 - Cálculo das perdas	124
Quadro 37 - Cálculo das perdas	124
Quadro 38 - Cálculo do diâmetro do trecho 2	125
Quadro 39 - Cálculo do diâmetro do trecho 2	125
Quadro 40 - Diâmetro dos trechos	125
Quadro 41 - Acessórios para as telhas Shingle	159
Quadro 42 - Características técnicas das telhas Shingle	159
Quadro 43 - Especificações técnicas dos painéis de madeira (Plywood)	160

Quadro 44 - Materiais e suas características	191
Quadro 45 - Móveis e equipamentos-padrão a serem acomodados.....	195
Quadro 46 - Nível de desempenho acústico	197
Quadro 47 - Ações permanentes.....	199
Quadro 48 – Tipo de Relevo do Terreno.....	199
Quadro 49 - Tipo de superfície do terreno	200
Quadro 50 - Dimensões do edifício.....	200
Quadro 51 - Altura da edificação (1)	201
Quadro 52 - Altura da edificação (2)	202
Quadro 53 - Grau de segurança	202

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Planta humanizada	35
Figura 2 - Dimensões do terreno	36
Figura 3 - Indicação dos eixos locais e global	37
Figura 4 - Distribuição das cargas no telhado	42
Figura 5 - Águas do telhado	43
Figura 6 - Terças 1, 2 e 3.....	44
Figura 7 - Terças 4, 5, 6 e 7	44
Figura 8 - Determinação do posicionamento das terças	45
Figura 9 - Seção transversal genérica	50
Figura 10 - Esquema estrutural de apoio das terças nas treliças	51
Figura 11 - Gráfico da relação entre o momento resistente de cálculo e a esbeltez da terça.....	56
Figura 12 - Estrutura biapoiada com carregamento uniformemente distribuído e diagrama de momento fletor.....	57
Figura 13 - Posicionamento das treliças	64
Figura 14 - Comprimentos das barras e numeração dos nós das treliças	65
Figura 15 - Numeração das barras das treliças	65
Figura 16- Caminhamento de cargas provenientes da caixa d'água	77
Figura 17 - Conexão entre guia e montante	84
Figura 18 – Vergas.....	85
Figura 19 - combinação entre elementos	86
Figura 20- Divisão da seção	88
Figura 21 - Distribuição de cargas	92
Figura 22 - Bacia sanitária	110

Figura 23 - Lavatório DECA	110
Figura 24 - Ramais de água fria	119
Figura 25 - Corte longitudinal da casa	121
Figura 26 - Perda de carga distribuída	123
Figura 27 - Representação em planta da disposição dos módulos de cada grupo	128
Figura 28 - Grupo A	130
Figura 29 - Grupo B	132
Figura 30 - Grupo C	134
Figura 31 - Grupo D	136
Figura 32 - Grupo E	138
Figura 33 - Juntas das placas cimentícneas	139
Figura 34 - Drywall - Tratamento das juntas	140
Figura 35 - Base dos módulos	141
Figura 36 - Interface parede e piso	143
Figura 37 – Interface entre parede e piso	145
Figura 38 - Detalhamento interface em áreas molhadas.....	146
Figura 39 - Interface parede e piso – Interna Seca	147
Figura 40 – Corte interface de janelas com módulos	149
Figura 41-Corte lateral simplificado do telhado com dimensões	154
Figura 42 - Fixação de uma telha - 4 pregos	156
Figura 43 - Disposição e ordem de montagem das telhas Shingle	156
Figura 44 - Recorte das telhas para cumeeira	157
Figura 45 - Posicionamento das telhas Shingle sobre a cumeeira	158
Figura 46 - Ilustração de Casa Pequena - TETO	181

Figura 47 - Esquema do piloti mestre	182
Figura 48 - Ordem de fixação dos pilotis.....	183
Figura 49 - Planta Piso - Casa Pequena	184
Figura 50 - Disposição dos painéis - Casa Pequena	184
Figura 51 - Planta Piso - Casa Grande.....	185
Figura 52 - Disposição dos Painéis - Casa Grande	185
Figura 53 - Vigas Mestra e Secundárias	186
Figura 54 - Colocação da manta térmica	187
Figura 55 - Dobramento da telha	187
Figura 56 - Disposição das telhas	188
Figura 57 - Modelo de fixadores e trincos	188
Figura 58 - Fixação de portas e janelas	189
Figura 59 - Disposição de portas e janelas	189
Figura 60- Momentos em x (kNcm) na terça 2	203
Figura 61 - Momentos em y (kN cm) na terça 2	203
Figura 62 - Força cortante em y na terça 2	204
Figura 63 - Diagrama de esforços normais das treliças 2 e 3	204
Figura 64 - Diagrama de força cortante (em N) das vigas W3 e W4	205
Figura 65 - Diagrama de momento fletor (em Nm) das vigas W3 e W4	205
Figura 66 - Carregamento sobre as vigas W1 e W2	205
Figura 67 - Diagrama de força cortante (N) das vigas W1 e W2	206
Figura 68 - Diagrama de momento fletor (Nm) das vigas W1 e W2	206
Figura 69 - Novo diagrama de força cortante das vigas W1 e W2	206
Figura 70 - Novo diagrama de momento fletor das vigas W1 e W2	207

Figura 71 - Mapa com isopletas 207

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Cálculo de coeficiente	38
Equação 2 - Cálculo da velocidade característica do vento	40
Equação 3 - Pressão dinâmica do vento.....	40
Equação 4 – Cálculo de peso	42
Equação 5 - Decomposição no eixo local y	49
Equação 6 - Decomposição no eixo local x	49
Equação 7 - Tensão em um ponto genérico	51
Equação 8 – Cálculo de λ_{alma}	53
Equação 9 - Cálculo de λ_{ralma}	53
Equação 10 - Cálculo de C_w	54
Equação 11 - Cálculo de λ_p	54
Equação 12 - Cálculo de β_1	54
Equação 13 - Cálculo de λ_r	54
Equação 14 - Cálculo de λ	55
Equação 15 - Cálculo de r_y	55
Equação 16- Cálculo de M_{rk}	56
Equação 17- Cálculo de M_{pl}	57
Equação 18 - Cálculo de Z_x	57
Equação 19 - Cálculo de M_r	58
Equação 20 - Cálculo de k_c	59
Equação 21 - Cálculo de λ_{FLM}	59
Equação 22 - Cálculo de λ_{rFLM}	60
Equação 23 - Cálculo do momento resistente	60

Equação 24 - Ebeltez da barra	87
Equação 25 - Raio de giração	87
Equação 26 - Momento de inércia de retângulo	88
Equação 27 - Fórmula de mudança de eixo	88
Equação 28 - Força normal resistente	90
Equação 29 - Fórmula de potência	103
Equação 30- Consumo diário da residência	116
Equação 31 - Vazão do ramal de alimentação	117
Equação 32 - Cálculo do diâmetro	119
Equação 33 - Pressão Estática Máxima.....	121

SUMÁRIO

1	Introdução	23
1.1	Contexto	23
1.2	Objetivo	26
1.3	Método.....	26
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	26
2	Motivação	28
3	Análise de projetos em steel frame	30
3.1	LP Brasil – Datec 15 e 30	30
3.2	Saint Gobain.....	31
3.3	Imecon.....	31
3.4	Sequência	32
3.5	Neohaus	32
3.6	Tecverde – Datec 20.....	32
4	Arquitetura	34
5	Estrutura	37
5.1	Esforços Solicitantes	37
5.1.1	Ponderação das Ações	38
5.2	Influência dos Ventos (carga dinâmica).....	38
5.3	Definição de cargas permanentes e sobrecargas	40
5.4	Terças de cobertura	43
5.4.1	Posicionamento das terças	43
5.4.2	Esforços solicitantes das terças'	45

5.4.3	Concepção Estrutural das Terças	50
5.5	Dimensionamento estrutural das terças	51
5.5.1	Esforços de Torção	51
5.5.2	Estado Limite de Serviço (ELS)	51
5.5.3	Verificação se a Viga é de Alma não Esgotada	53
5.5.4	Flambagem Lateral com Torção (FLT)	53
5.5.5	Instabilidade Local de Mesa (FLM)	59
5.5.6	Verificação de cortante	61
5.5.7	Distorção da Seção Transversal.....	62
5.5.8	Conclusão.....	63
5.6	Treliça.....	63
5.6.1	Posicionamento das treliças.....	63
5.6.2	Concepção Estrutural das Treliças	64
5.6.3	Esforços aplicados sobre as Treliças	66
5.6.4	Dimensionamento estrutural à tração	68
5.6.5	Dimensionamento à compressão	70
5.6.6	Análise dos casos críticos.....	72
5.7	Estrutura de suporte da caixa d'água	76
5.7.1	Posicionamento da Estrutura	76
5.7.2	Carregamentos	76
5.8	Verificação Estrutural das Vigas adotadas para sustentação da Caixa D'Água 78	
5.8.1	Esgotamento local.....	79
5.9	ESTRUTURA DA CASA.....	84

5.10	Verificação dos montantes estruturais	86
6	Fundação.....	93
7	Instalações elétricas	94
7.1	Iluminação - potência mínima e pontos de iluminação	94
7.2	Carga de tomadas	95
7.2.1	Tomadas de Uso Específico (TUE's).....	95
7.3	Tomadas de Uso Específico (TUE's)	95
7.4	Cálculo da Potência Ativa Total	96
7.5	Tipo de Fornecimento e Tensão	96
7.6	Divisão dos Circuitos.....	97
7.7	Sistemas de proteção	98
7.8	Cálculo da Corrente de Distribuição.....	100
7.8.1	Potência ativa de iluminação e de TUG's	100
7.8.2	Potência ativa de TUE's.....	101
7.8.3	Corrente de distribuição	102
7.9	Dimensionamento da fiação e dos disjuntores dos circuitos	104
7.10	Dimensionamento dos eletrodutos.....	107
7.11	Chicote elétrico	109
8	Sistema de esgoto	110
8.1	Dimensionamento.....	113
8.1.1	Ramais de descarga	113
8.1.2	Ramais de esgoto	113
8.2	Distribuição dos Ramais.....	113
8.3	Kit Hidráulico	114

9 SISTEMA DE ÁGUA.....	115
9.1 Volume de água consumido	115
9.2 Caixa d'água.....	116
9.3 Dimensionamento do Sistema de água fria	117
9.4 Pressão estática máxima	121
9.5 Pressão dinâmica mínima	122
10 Vedaçāo.....	127
10.1 Módulos verticais (vedaçāo vertical)	127
10.1.1 Grupo A - Vedaçāo externa-interna seca	129
10.1.2 Grupo B - Vedaçāo externa-interna molhada	130
10.1.3 Grupo C - Vedaçāo interna seca-interna seca	132
10.1.4 Grupo D - Vedaçāo interna seca-interna molhada	134
10.1.5 Grupo E - Vedaçāo interna molhada-interna molhada	136
10.2 Tratamento de Juntas	138
10.2.1 Juntas entre placas cimentícias	138
10.2.2 Juntas entre placas de gesso para drywall	139
10.2.3 Interface entre a base dos módulos e elemento de fundação	140
10.3 Interface entre paredes e piso	142
10.3.1 Área externa e interna seca.....	142
10.3.2 Área externa e área interna molhada e molhável	144
10.3.3 Paredes e pisos de áreas secas	146
10.3.4 Parede e piso de áreas molháveis e molhadas.....	148
10.3.5 Paredes e pisos entre áreas secas e áreas molhadas	148
10.3.6 Interface entre parede e esquadrias	148

10.4	VEDAÇÃO VERTICAL DAS TRELIÇAS	150
10.5	Vedaçāo Horizontal	151
10.5.1	Pisos.....	151
10.5.2	Forro	152
11	Vedaçāo da Cobertura	153
11.1	Vedaçāo.....	153
11.2	Características do telhado	155
12	Processo de Fabricação dos Módulos	161
12.1	Grupo A	161
12.2	Grupo B	163
12.3	Grupo C	165
12.4	Grupo D	166
12.5	Grupo E	168
13	CONCLUSĀO	171
14	REFERÊNCIAS	174
	Apêndice B (Análise e elaboração de moradia emergencial)	179
14.1	OBJETIVO.....	179
14.2	MATERIAIS E MÉTODOS	179
14.3	A TETO	180
14.3.1	HISTÓRIA	180
14.3.2	PROJETO	181
	Cobertura	185
14.4	REQUISITOS AVALIADOS	192
14.4.1	Condições de Salubridade	192

14.4.2	Desempenho Estrutural	192
14.4.3	Segurança Contra Incêndio	193
14.4.4	Segurança No Uso e Operação	194
14.4.5	Funcionalidade e Acessibilidade.....	194
14.4.6	Desempenho Térmico.....	195
14.4.7	Desempenho Acústico	196
14.4.8	Desempenho Lumínico	197
14.4.9	Durabilidade	197
14.4.10	Aspecto Ambiental.....	197
14.4.11	Facilidade de Transporte e Montagem/Desmontagem	198
14.4.12	Custo	198
	Apêndice C - (Material de apoio para o capítulo “Estrutura”)	199
15	ANEXO A (TABELA DE PERFIS EM CANTONEIRA DUPLA DE ABAS IGUAIS)	208

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO

O déficit habitacional no Brasil tem sido um dos grandes problemas enfrentados pelos gestores públicos. Segundo uma reportagem da BBC Brasil, “ainda há 5,8 milhões de famílias brasileiras sem moradia adequada” (SCHREIBER, 2014).

Enquanto a situação de pobreza e de catástrofes naturais aumenta cada vez mais o número de famílias desabrigadas, o número de moradias ofertadas a essa parte da população não cresce na mesma proporção. Uma das maneiras de se aumentar a oferta é produzir com mais eficiência, minimizando o aporte de recursos, sejam eles naturais ou financeiros. Isto exige uma mudança dos métodos construtivos tradicionais, cuja produtividade pode ser considerada baixa, pois em média consomem-se 55 horas.hOMEM/m² (SOUZA, 2014). Portanto, não têm se mostrado eficientes para um problema com a magnitude do brasileiro.

Buscando solucionar o problema, o Governo Federal criou, em 2009, o programa Minha Casa Minha Vida, que subsidia ou facilita as condições de acesso à moradia para pessoas necessitadas. A construção das habitações oferecidas pelo programa, em grande parte, ainda tem sido baseada em métodos tradicionais de produção de edificações (estrutura de concreto armado e vedos de alvenaria) e, em parte dos casos com alvenaria estrutural, uma tecnologia mais racionalizada, mas que também apresenta limites para um processo industrializado.

Desde 2009, o programa beneficiou cerca de 10 milhões de pessoas, segundo o site do Programa. Isso equivale a pouco mais de 1 milhão de beneficiados por ano. Apesar de ser um número expressivo, ainda é pouco frente ao número de famílias que necessitam do benefício. Uma das causas do déficit é certamente a falta de recursos para investir mais no programa. Contudo, uma opção mais eficiente, com maior produtividade e menos consumo de recursos, aceleraria muito o processo. Surgiu, dessa forma, a ideia de se trabalhar com a construção de habitações que pudessem ser produzidas por um processo potencialmente mais industrializado.

As primeiras casas transportadas de que se tem relato datam do período colonial, do ano de 1578. Na ocasião, casas pré-fabricadas de madeira foram transportadas da Inglaterra ao Canadá. Essa tecnologia, no entanto, era muito escassa naquele período, sendo verificada apenas em casos muito pontuais. Foi a partir da Revolução Industrial, por volta do ano de 1800 que a pré-fabricação de casas ganhou força.

Nesse período, o surgimento de maquinarias e serrarias mecânicas possibilitou a obtenção de componentes de madeira com secções muito delgadas e em grande velocidade. Além disso, com a febre do ouro, surgiram novos centros urbanos – como Chicago e São Francisco – que passaram de pequenos povoados a grandes cidades em apenas um ano. Isso gerou a necessidade de se criarem novos métodos construtivos, que fossem mais eficazes que os tradicionais (SOUZA, 2012).

Assim, as novas tecnologias relacionadas ao trabalho com madeira deram início às estruturas tipo Wood Frame, que por ser industrializada, se mostrava uma alternativa mais barata para construções em grande escala, além da possibilidade de ser montada e desmontada em uma grande velocidade.

Os conhecimentos adquiridos com Wood Frame foram fundamentais para o desenvolvimento de uma nova tecnologia: a do Steel Frame. Esse novo sistema de construção começou a ser empregado massivamente a partir da década de 1990, quando o furacão Andrew e o terremoto Northridge assolararam os EUA. (ORDONEZ, 1974).

O sistema industrializado de construção usa produtos padronizados, em que os elementos construtivos são produzidos industrialmente, em que a matéria prima utilizada, os processos de fabricação, suas características técnicas e acabamento passam por rigorosos controles de qualidade. Esses elementos padronizados conferem grande potencial de eficiência construtiva, evitando também desperdícios e erros.

Entretanto, para que a potencial alta produtividade seja real durante a produção, as construções em Steel Frame devem ter todas as disciplinas de projeto devidamente

compatibilizadas, dispondo de seus projetos arquitetônicos, estruturais, de vedações, de instalações prediais, entre outros, prontos antes do início da produção.

O sistema *Light Steel Framing* tem potencial para reduzir os prazos de construção em até 2/3 comparando com os métodos tradicionais de construção (PEDROSO, 2014). Em uma situação mais dinâmica, a diminuição do lead time de transporte, produção e montagem tem potencial para resolver de forma mais rápida os problemas de déficit habitacional.

A aceleração da construção não é a única vantagem trazida pelo Steel Frame. A leveza dos painéis é outro grande benefício trazido pela tecnologia. Assim como foi possível transportar uma casa da Inglaterra para o Canadá em 1578, a tecnologia do Steel Frame também apresenta grande facilidade de transporte.

O sistema de Steel Frame, se comparado aos métodos tradicionais, possibilita uma estrutura mais leve (devido à esbeltez de seus componentes) e a diminuição do consumo de materiais torna a construção mais sustentável e proporciona, inclusive, a possibilidade de desmontagem (desconstrução), reaproveitamento e reciclagem, com uma visão para o futuro.

A quantidade de trabalhadores na obra diminui e a atividade é relacionada muito mais com a montagem. É fundamental a melhora na condição do trabalho (sustentabilidade social), retirando o trabalhador de um ambiente bastante insalubre e possibilitando um aumento da produtividade para suprir as necessidades de demandas. Também em um cenário de escassez de mão de obra, o sistema construtivo fica menos dependendo de grande quantidade de funcionários, buscando mão de obra mais especializada e concentrando sua força no sistema fabril.

Considerando-se as vantagens elencadas, o trabalho exposto visa colocar em prática as ideias de industrialização desenvolvendo-se os projetos de uma edificação.

1.2 OBJETIVO

O objetivo neste trabalho é desenvolver os projetos técnicos de uma edificação habitacional econômica, baseados na tecnologia industrializada de Steel Frame, simulando a atividade profissional de uma construtora no desenvolvimento de um projeto de produto.

1.3 MÉTODO

Em primeiro lugar, tomou-se como base o projeto arquitetônico de uma edificação térrea do programa Minha Casa Minha Vida. Simultaneamente, foi feito um *benchmarking* com casas já construídas das principais empresas que atuam nessa área (Saint Gobain, Sequência, Neohaus, Tecverde, LP Brasil). Essa pesquisa tem a finalidade de fornecer uma visão macro desse tipo de tecnologia, através do conhecimento do sistema estrutural, vedos, revestimentos e esquadrias e projetos hidrossanitários.

Em posse dessas informações, serão realizados projetos das diversas especialidades, focados principalmente no transporte, montagem e compatibilidade.

Além disso, pesquisas bibliográficas foram utilizadas para o detalhamento do projeto e, principalmente, para agregar possíveis novas tecnologias que tornem o empreendimento mais industrializável.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho será apresentado de forma com que o leitor observe o projeto da edificação de forma sequencial e coerente.

Neste primeiro capítulo é apresentado o contexto e a problemática em que o projeto se insere, assim como o objetivo que o norteará e a forma de trabalho usada.

Na sequência, é apresentada a motivação pela qual o grupo decidiu esse tema como abordagem central do trabalho.

Os capítulos seguintes mostram o projeto em si, iniciando pelas ideias bases para proposta elaborada, ou seja, uma apresentação dos métodos atuais no mercado da construção civil que fomentam ideias de novas tecnologias para construção industrializada.

No decorrer dos próximos capítulos, o projeto é apresentado pela suas especialidades, partindo da arquitetura, estrutura, fundação e sistemas prediais(elétrico, água, esgoto). Por fim, as especialidades de vedações (verticais horizontais e cobertura).

Adicionada às especialidades, por ser um projeto de fabricação industrializável, conclui-se o trabalho com um capítulo destinado a forma de montagem pré obra.

Para complementar o trabalho, além dos apêndices A e B referentes ao capítulo de motivação e estrutura respectivamente, também é apresentado um caderno de projeto.

2 MOTIVAÇÃO

O trabalho em questão é uma continuação do Projeto de Formatura “Análise e elaboração de moradia emergencial” (TF1), realizado no 1º. Semestre de 2016. Muitas das discussões presentes naquele trabalho não serão retomadas neste. Mas, considerando-se a leitura desse material como algo positivo para compreensão deste novo projeto e tendo em vista que o exemplar do TF1 não fica disponível na biblioteca, achou-se por bem, anexar aquele documento a este, estando disponibilizado no Apêndice B – Análise e elaboração de moradia emergencial.

A interligação dos dois trabalhos decorre de que a tecnologia escolhida como ideal para a moradia emergencial é baseada na tecnologia do *Light Steel Framing* (LSF), que tornou-se base deste novo projeto.

Uma vez que as moradias emergenciais tinham horizontes de projetos muito curtos, verificou-se a necessidade de maior durabilidade da construção. Assim, optou-se por nova estrutura, com durabilidade semelhante às construções convencionais, mas que pudesse diminuir os tempos e recursos.

O requisito de construção rápida é a principal continuidade do trabalho, com objetivo de diminuir tempos de transportes e montagens, além da industrialização da produção, visto a análise do contexto e problemas de escassez de mão de obra, crises econômicas no setor, questões de saúde e ergonomia, e outras tantas vantagens discutidas antes em relação à produção de componentes leves e em escala.

Atrelado a isso, mantém-se o aspecto social, base do primeiro projeto (ver Apêndice A, item 3 – A Teto), visto a moradia em questão ser uma habitação econômica, podendo vir a ser usada em programas habitacionais governamentais, com ganhos para diversos setores da sociedade.

Não menos importantes, o aspecto dos requisitos de desempenho (ver Apêndice A, item 4 – Requisitos Avaliados) continua sendo ponto fundamental dessa segunda parte do projeto. Não serão retomadas as questões abordadas no trabalho anterior

(TF1), ou seja, a tecnologia deve atender a todos os requisitos de desempenho abordados no primeiro trabalho, quer sejam estrutural, térmico, acústico, segurança (contra incêndio e uso e operação), durabilidade e outros, que são baseados na norma de desempenho - ABNT NBR 15575: 2013 – *Edifícios habitacionais - Desempenho*.

3 ANÁLISE DE PROJETOS EM STEEL FRAME

De forma a embasar o projeto a ser desenvolvido neste trabalho, partiu-se de ideias existentes de sistemas construtivos de *Steel Frame* usados por empresas que atuam nesse mercado.

Além disso, tomou-se também como parâmetro, os DaTec (Documento de Avaliação Técnica) 14, 15 e 30, do SINAT (Sistema Nacional de Avaliação Técnica), os mais atuais no tema de Steel Frame, que por sua vez são baseados na DIRETRIZ SINAT Nº 003 revisão 1 – “Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço conformados a frio, com fechamentos em chapas delgadas - Sistemas leves tipo ‘Light Steel Framing’”.

Nesse capítulo, apresenta-se um benchmarking entre as propostas identificadas, das quais serão extraídas as melhores ideias para subsidiar o projeto objeto do trabalho.

3.1 LP BRASIL – DATEC 15 E 30

O sistema da LP Brasil foi um dos primeiros a serem avaliados no uso do *steel frame*.

Baseados em perfis de 90mm e chapas de *Oriented Strand Board* (OSB) ou Painel de Tiras de Madeira, em português, estrutural de espessura 11,1mm que além de fechamento interno e externo, funciona como contraventamento.

Os módulos externos são compostos de placa cimentícia e os internos por drywall. Em todas as paredes há tratamento acústico e térmico, utilizando lã de vidro.

Para a fixação dos perfis e placas, utiliza-se parafusos tipo cabeça com bitolas variaves. Nas juntas, usa-se fita telada e argamassa. No revestimento também é usada argamassa (basecoat) com textura acrílica.

No revestimento horizontal, o sistema usa um contrapiso de 70mm, com revestimento ceramico.

3.2 SAINT GOBAIN

O sistema da Sain-Gobain basicamente tem as mesmas características do apresentado pela LP Brasil, desde os fechamentos com placas de OSB e drywall, além dos perfis de dimensões parecidas.

Uma característica singular nesse sistema é o uso de contraventamento, composto de fitas em aço galvanizado (perfil de 70mm). Posicionados na diagonal das faces externas dos quadros e na horizontal da face interna, são fixadas em chapas de Gousset, no encontro entre montantes e guias.

A impermeabilização é feita com polímero de alta densidade, evitando entrada de água e permitindo saída de vapor de água. As juntas são tratadas com massa, fita para drywall e selante tipo Selamax.

Outras características como parafusos, isolante térmico e acústico, contrapiso e acabamento seguem as mesmas características dos outros sistemas.

3.3 IMECON

O sistema da Imecon mantém as bases dos outros fabricantes, usando placas de OSB, placa cimenticia e drywall.

Como no caso da LP Brasil, também utiliza o OSB como contraventamento, com a diferença de usar em algumas paredes uma placa bastante espessa (18mm).

Uma diferença desse sistema encontra-se no isolante termo-acústico, que utiliza filtro em lã de vidro aglomerado com fibra sintética.

Os acabamentos, tratamentos de junta e parafusamento são semelhantes aos demais sistemas, diferenciando algumas espessuras, como o contrapiso de 72mm.

3.4 SEQUÊNCIA

A Sequência foi a primeira empresa a utilizar um sistema industrializado de construção de casas, espelhado no modelo norte-americano, com kit construtivo importado.

Com características semelhantes aos outros sistemas de plaqueamento, a sequência faz usos de painéis compostos, usando o perfil já acoplado com as chapas internas de drywall, o que facilita o processo.

Outra diferença interessante da sequência são os revestimentos. Na parte externa, OSB com membrana de vapor, uma manta de polietileno de alta densidade usada para cobrir toda a área externa, de modo a garantir a estanqueidade das paredes. Outra tecnologia que esse sistema se baseia é o Shingle pregado no OSB, que será mais explanado no capítulo 11 – Telhado.

3.5 NEOHAUS

Comparado com outros sistemas, o da Neohaus traz uma estrutura mais robusta. Não só pelo fato de usar perfis de 95mm, mas em alguns casos une o steel frame com pilares e vigas metálicas de perfis pesados ou alvenaria para subsolos.

No restante do sistema, as características são bem parecidas com as apresentadas anteriormente, desde as placas cimenticias e drywall, até tratamento termoacústico com lã de vidro.

3.6 TECVERDE – DATEC 20

Das propostas analisadas, a com características mais singulares é o sistema da Tecverde.

Apesar de utilizar os mesmos painéis de fechamento (placa cimenticia, OSB e drywall), a estrutura por si só é única, pois utiliza frames de madeira em comparação aos frames de aço dos outros sistemas.

Contudo, apesar de ser diferente da proposta do escopo desse projeto, trás inovações interessantes. Dentre todas as propostas, é a única que trata de módulos prontos antes da chegada no canteiro, com paredes inteiras pré-montadas na fábrica. A cobertura também é industrializada, formada por treliças pré-fabricadas que contam com conectores (chapas de dente estampado), é montada no chão e içada, aumentando o controle de qualidade e a segurança em obra.

Guardada as diferenças dimensionais por se tratar de um sistema diferente, os parafusos, acabamentos e tratamentos de juntas são muito semelhantes aos demais.

4 ARQUITETURA

A arquitetura é uma das especialidades básicas no projeto de uma casa. Ela define aspectos importantes, e influencia a maneira como se dará a interação de vários outros sistemas.

Contudo, um bom projeto arquitetônico exigiria por si só uma demanda muito grande, dado o pouco embasamento da formação da engenharia para o desenvolvimento dessa especialidade.

Assim, foi a opção do grupo a escolha de um projeto de casa térrea, partindo de ideias relacionadas com programas como o Minha Casa Minha Vida e o CDHU.

Como premissa, estabeleceu-se a simplicidade da arquitetura, tanto para a facilidade do estudo como pelo próprio uso, já que o projeto deve levar em conta o Desenho Universal para Habitação de Interesse Social, manual da CDHU que tornam básicos aspectos de acessibilidade, flexibilidade e uso simples, e que irão reger toda a sequência do projeto em questão. Na figura 1 observa-se a planta humanizada que destaca bem esse desenho.

Figura 1 - Planta humanizada



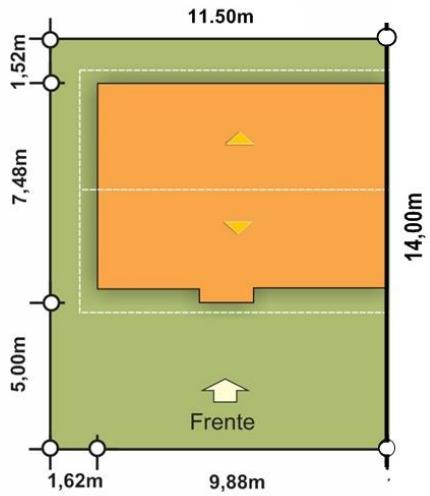
Também o aspecto de requisitos de normas foi observado de forma geral, atendendo aqueles que são primários e básicos, como por exemplo o aspecto lumínico e salubridade, com várias janelas em todos os cômodos, possibilitando melhor circulação do ar e iluminação, além da acessibilidade e funcionalidade, pelos trajetos simples e poucas divisões entre ambientes. O atendimento dos outros aspectos será tratado na sequência do trabalho.

Por último, a casa possibilita atingir o objetivo principal do trabalho, principalmente no aspecto da construção industrializável, de forma rápida, eficiente e sustentável, conciliando as tecnologias que serão abordadas na sequência.

Das várias propostas elencadas, escolheu-se ainda uma com algumas características que devem ser destacadas. O formato retangular, que apesar de não ter um diferencial arquitetônico, tem o benefício de se encaixar muito bem em vários terrenos, com dimensões mínimas, mostrada na figura 2. Inclusive, com poucos ajustes, pode ser mudado de direção caso o terreno seja diferente. A metragem (62m²) também é importante, pois atende a metragem máxima que a Caixa exige para o financiamento do programa do governo.

Figura 2 - Dimensões do terreno

Medidas mínimas do terreno: **11,50 x 14,00m**



5 ESTRUTURA

5.1 ESFORÇOS SOLICITANTES

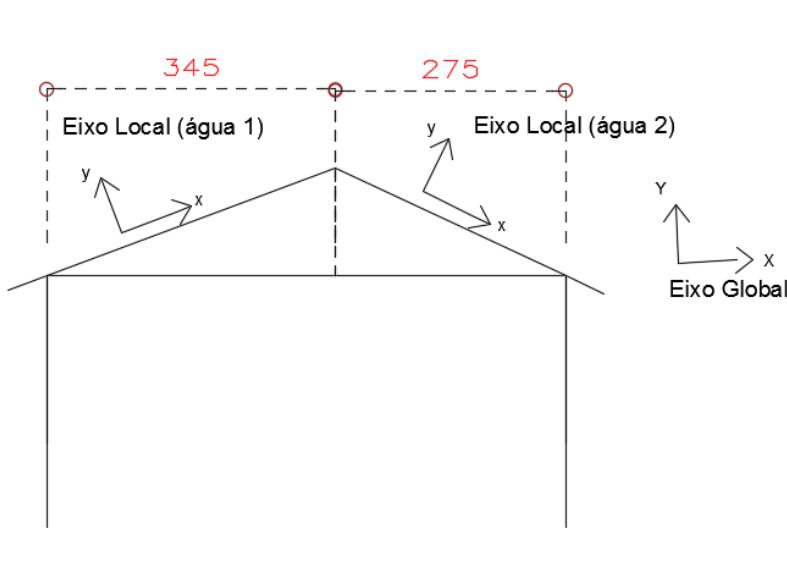
A estrutura da casa deverá ser dimensionada a uma série de esforços solicitantes. Esses esforços podem ser divididos em dois grupos principais: os que atuam perpendicularmente ao chão e os que atuam perpendicularmente ao telhado.

Os esforços que atuam perpendicularmente ao chão são provenientes do peso próprio dos componentes e das sobrecargas do telhado.

Os efeitos provenientes do vento atuam perpendicularmente ao telhado.

Dessa forma, consideram-se dois eixos de coordenadas para o dimensionamento da casa: o eixo local e o eixo global, conforme indica a Figura 3.

Figura 3 - Indicação dos eixos locais e global



Fonte: elaborado pelos autores

Para a cobertura, foi escolhida uma configuração com duas águas, conforme Figura 3, sustentadas por terças em viga UDC (perfil U). O telhado possui quatro

treliças apoiadas sobre as paredes principais, que atuam como tesouras. Além disso, são sete terças, quatro localizadas na maior das águas e três na menor.

5.1.1 Ponderação das Ações

Segundo a norma ABNT NBR 8800: 2008, os esforços atuantes devem ser menores ou iguais aos esforços solicitantes. Todas as ações que possam produzir efeitos significativos na estrutura devem ser consideradas. Ainda segundo a mesma norma, todas as ações devem ser ponderadas pelo coeficiente γ_f . O cálculo de γ_f é apresentado na Equação 1.

Equação 1 - Cálculo de coeficiente

$$\gamma_f = \gamma_{f_1} * \gamma_{f_2} * \gamma_{f_3}$$

Sendo:

- γ_{f_1} é a parcela do coeficiente de ponderação das ações γ_f , que considera a variabilidade das ações;
- γ_{f_2} é a parcela do coeficiente de ponderação das ações γ_f , que considera a simultaneidade de atuação das ações;
- γ_{f_3} é a parcela do coeficiente de ponderação das ações γ_f , que considera os possíveis erros de avaliação dos efeitos das ações, seja por problemas construtivos, seja por deficiência do método de cálculo empregado, de valor igual ou superior a 1,10.

As parcelas descritas acima podem ser encontradas no Quadro 47 encontrado na norma ABNT NBR 8800:2008.

5.2 INFLUÊNCIA DOS VENTOS (CARGA DINÂMICA)

Para o cálculo da ação dos ventos na edificação de *Steel Frame*, serão consideradas as condições fixadas pela norma ABNT NBR 6123:1988.

A primeira grandeza física a ser considerada a partir norma é a velocidade básica do vento (V_o). Essa é a velocidade de uma rajada de 3 segundos, exercida em média uma vez a cada 50 anos, a 10 metros acima do terreno, em campo aberto e plano. A velocidade básica é definida através de um mapa com isopletas (Figura 71, encontrada no Apêndice C) ou sejam, curvas de mesma velocidade básica.

Considera-se, portanto, $V_o = 40 \text{ m/s}$ para a cidade de São Paulo.

Além da velocidade básica, outros fatores devem ser considerados para determinar a influência dos ventos.

O primeiro desses fatores (S_1) caracteriza a topografia do terreno e segundo a norma ABNT NBR 6123:1988, é definido pelo Quadro 48 (Apêndice C).

Considerando-se uma edificação em terreno plano, $S_1 = 1,0$.

O segundo desses fatores é o fator de rugosidade (S_2). Ele depende de outras três características:

- Tipo de superfície do terreno.
- Dimensões do edifício.
- Altura total da edificação.

Sendo essas características expressas nos Quadro 49, Quadro 50, Quadro 51 e Quadro 52, encontrados no Apêndice C.

Levando em conta que será dimensionada uma habitação na cidade de São Paulo, onde existem muitos prédios que atuam como obstáculos para a atuação do vento, a superfície do terreno será considerada tipo V.

Nenhuma das dimensões da casa supera 20,0 metros, sendo atribuída a classe A. Além disso, a altura da residência é menor que 5,0 metros. Dessa forma, $S_2 = 0,74$.

Por fim, o fator S_3 considera o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação, conforme Quadro 53 (Apêndice C).

Como o estudo trata de uma edificação residencial, $S_3 = 1,0$.

Dessa forma, pode-se, finalmente, calcular a velocidade característica do vento (V_k), por meio da Equação 2.

Equação 2 - Cálculo da velocidade característica do vento

$$V_k = V_0 * S_1 * S_2 * S_3$$

Sendo:

- $V_k = 29,6 \text{ m/s}$

A pressão dinâmica exercida pelo vento sobre a edificação é dada pela Equação 3.

Equação 3 - Pressão dinâmica do vento

$$q = 0,613 * V_k^2$$

. Sendo:

- $[q] = \text{N/m}^2$
- $[V_k] = \text{m/s}$

Assim, chega-se a $q = 537,09 \text{ N/m}^2$, atuando perpendicularmente às águas do telhado.

5.3 DEFINIÇÃO DE CARGAS PERMANENTES E SOBRECARGAS

O Quadro 1 apresenta os pesos característicos de cada um dos componentes do sistema de cobertura.

Quadro 1 - Pesos dos componentes do sistema de cobertura

Produto	Massa por unidade (kg)	Área útil por unidade (m ²)	Peso por área (N/m ²)
Telha XT25 Tile Red Blend AR	34,10	3,10	107,910
Plywood	21,60	2,88	73,575
Felt Paper	16,40	40,00	4,022
Selamax	0,40	25,00	0,157
Pregos 18x25 mm	1,00	12,00	0,818
Total	73,50	82,98	186,482

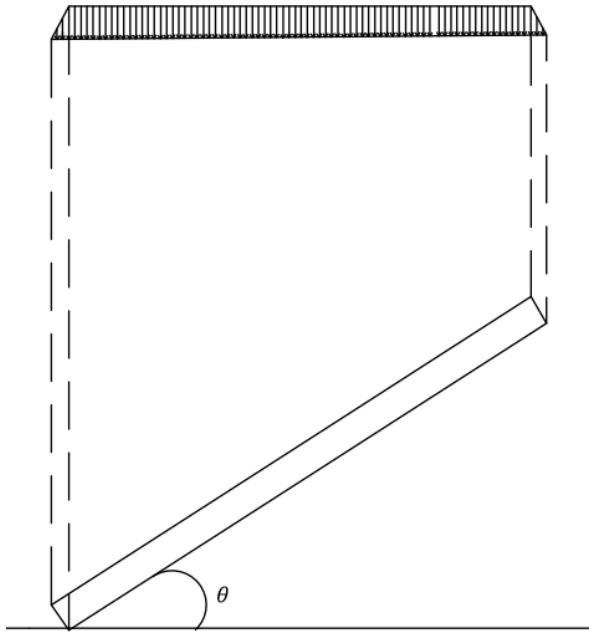
Fonte: Catálogo Telha Shingle Brasilit

Será considerada uma sobrecarga mínima sobre a cobertura da casa. Essa sobrecarga é de $0,25 \text{ kN/m}^2 = 250 \text{ N/m}^2$ em projeção, para baixo (ABNT NBR 8800:2008).

Os valores de peso específico apresentados no Quadro 1 representam a carga que os componentes do telhado aplicariam para baixo no eixo global de coordenadas. No entanto, a arquitetura da casa foi definida com um telhado de duas águas, com inclinações de $27,5^\circ$ e 36° . Dessa forma, para o cálculo estrutural das terças, será necessário calcular as forças equivalentes sob a projeção horizontal das águas.

A distribuição de cargas de peso sobre cada uma das águas do telhado está ilustrada na Figura 4.

Figura 4 - Distribuição das cargas no telhado



Fonte: elaborado pelos autores

Essa carga distribuída deve resultar num valor de peso segundo a Equação 4.

Equação 4 – Cálculo de peso

$$p = \frac{\text{carga}}{\cos \theta}$$

Sendo assim, o peso atuante para cada uma das duas águas é apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 - Peso atuante nas águas

Sistema	Inclinação (graus)	Carga (N/m ²)
Cobertura	27,5	210,24
	36	230,50
Sobrecarga	27,5	281,85
	36	309,02

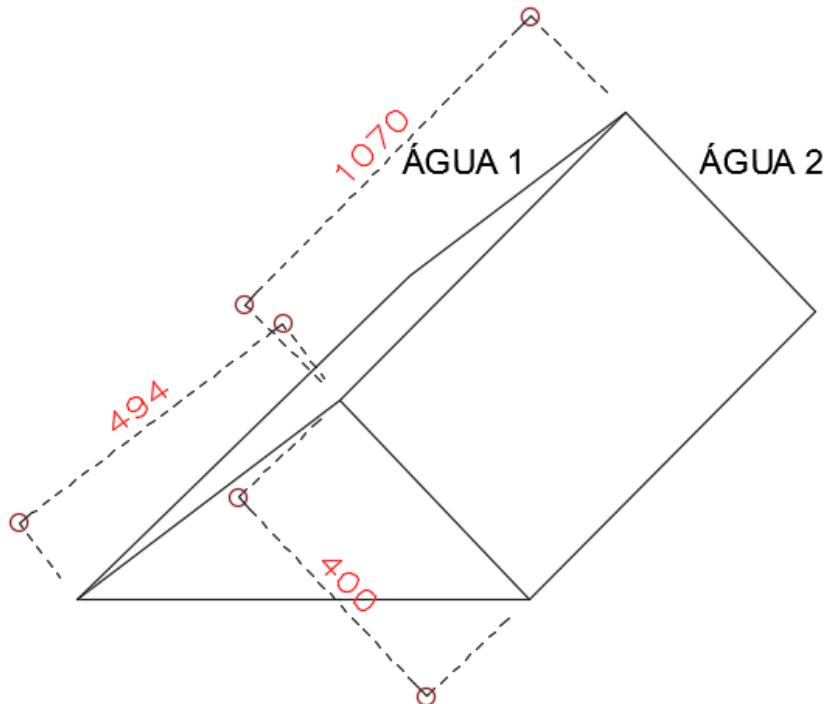
Fonte: elaborado pelos autores

5.4 TERÇAS DE COBERTURA

5.4.1 Posicionamento das terças

As águas do telhado medem 4,94 m por 10,7 m e 4,00 m por 10,7 m, conforme indica a Figura 5.

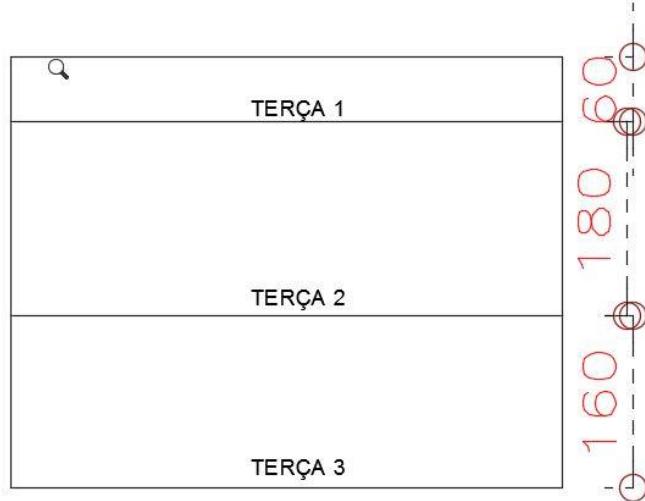
Figura 5 - Águas do telhado



Fonte: elaborado pelos autores

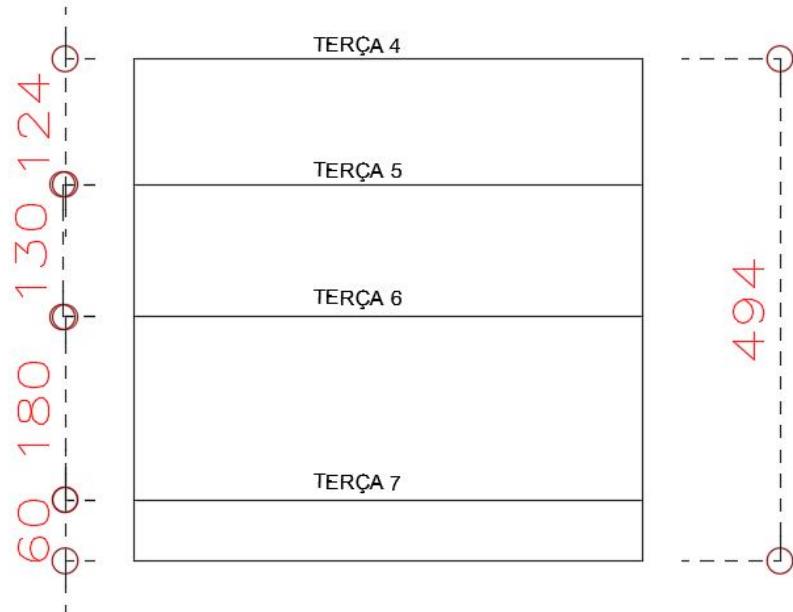
As terças foram posicionadas nos locais indicados na Figura 6 e na Figura 7.

Figura 6 - Terças 1, 2 e 3



Fonte: elaborado pelos autores

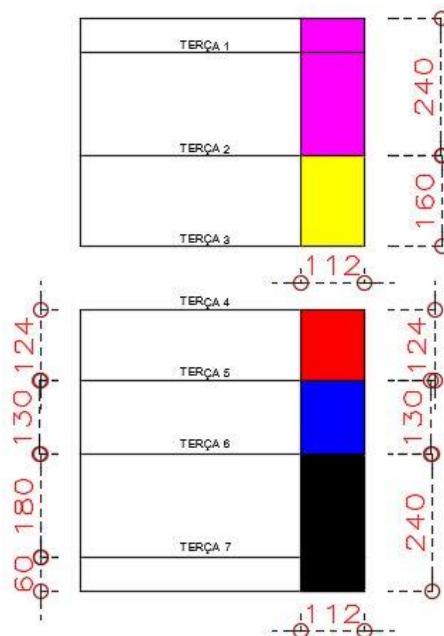
Figura 7 - Terças 4, 5, 6 e 7



Fonte: elaborado pelos autores

O fator decisivo para essa escolha foi o tamanho das placas de madeira que se apoiam diretamente nas terças. A posição das terças foi escolhida de modo a se ter o menor número possível de terças no telhado, levando em conta que cada placa de madeira tem dimensões de 1,20 por 2,40 metros. Vale ressaltar que algumas placas serão cortadas em fábrica de modo a se adequarem às águas do telhado, conforme ilustra a Figura 8.

Figura 8 - Determinação do posicionamento das terças



Fonte: elaborado pelos autores

5.4.2 Esforços solicitantes das terças

A carga atuante em cada terça é composta por esforços em duas direções. Um deles é causado pelo peso dos componentes da cobertura, e, portanto, é vertical para baixo, quando a referência é o sistema global de coordenadas. O outro esforço é causado pelo vento e atua perpendicularmente ao telhado.

Para a estrutura metálica, foi utilizado o perfil GERDAU UDC Simples 150 x 50 x 3,00 e suas propriedades foram obtidas do Catálogo de Produtos da Gerdau.

Em resumo, as cargas atuantes sobre as terças da estrutura são apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3 - Cargas atuantes nas terças

Cargas				
Terça	Cobertura (N/m²)	Sobrecarga (N/m²)	Vento (N/m²)	Estrutura Metálica (N/m)
1	230,5	309,02	537,09	71
2	230,5	309,02	537,09	71
3	230,5	309,02	537,09	71
4	210,24	281,85	537,09	71
5	210,24	281,85	537,09	71
6	210,24	281,85	537,09	71
7	210,24	281,85	537,09	71

Fonte: elaborado pelos autores

As cargas atuantes sobre a cobertura devem ser ponderadas de acordo com a ABNT NBR 8800:2008. Dessa forma, o cálculo de resistência estrutural levará em

conta cargas maiores do que as que realmente atuarão na estrutura, de modo a tornar o projeto estrutural mais seguro.

Portanto, os coeficientes de segurança para a estrutura da casa são mostrados no Quadro 4.

Quadro 4 - Coeficientes de segurança

Origem da carga	Coeficiente de Segurança
Estrutura Metálica	1,25
Cobertura	1,30
Vento	1,40
Sobrecarga	1,50

Fonte: elaborado pelos autores

Aplicando os coeficientes de segurança nas cargas aplicadas sobre a estrutura, tem-se os valores de carregamentos de cálculo (apresentados no Quadro 5), que serão diretamente utilizados no dimensionamento da estrutura metálica.

Quadro 5 - Carregamentos de cálculo

Terça	Esforços de Cálculo			
	Cobertura (N/m ²)	Sobrecarga (N/m ²)	Vento (N/m ²)	Estrutura Metálica (N/m)
1	299,65	463,53	751,926	71
2	299,65	463,53	751,926	71
3	299,65	463,53	751,926	71
4	273,312	422,775	751,926	71
5	273,312	422,775	751,926	71
6	273,312	422,775	751,926	71
7	273,312	422,775	751,926	71

Fonte: elaborado pelos autores

Por meio do Quadro 5, pode-se estabelecer as cargas atuantes em cada uma das terças. Os comprimentos de influência atuantes em cada terça estão indicados no Quadro 6.

Quadro 6 - Comprimentos de influência

Terça	1	2	3	4	5	6	7
Comprimento de Influência (m)	1,50	1,70	0,80	0,65	1,30	1,55	1,50

Fonte: elaborado pelos autores

A carga distribuída linearmente foi calculada multiplicando-se a carga distribuída superficialmente pelo comprimento de influência. Para cada perfil testado, somar-se-á o peso próprio das barras de terça às cargas causadas pelos componentes da cobertura.

Dessa forma, as cargas distribuídas linearmente sobre as terças da estrutura (sem considerar ainda as cargas devidas ao peso próprio das terças) estão apresentadas no Quadro 7.

Quadro 7 - Cargas distribuídas

Terça	Compr. De Influênci (m)	Cargas perpendiculares ao solo (N/m ²)	Carga do Vento (N/m ²)	Cargas lineares perpendiculares ao solo (N/m)	Carga linear do Vento (N/m)
1	1,5	763,18	751,93	1215,77	1127,89
2	1,7	763,18	751,93	1368,41	1278,27
3	0,8	763,18	751,93	681,54	601,54
4	0,65	696,09	751,93	523,46	488,75
5	1,3	696,09	751,93	975,91	977,5
6	1,55	696,09	751,93	1149,93	1165,49
7	1,5	696,09	751,93	1115,13	1127,89

Fonte: elaborado pelos autores

Para dimensionar as terças, deve-se decompor os esforços solicitantes de modo a atuarem nos eixos principais de inércia da seção transversal da estrutura. Os

carregamentos oriundos da ação do vento, já atuam diretamente sobre o eixo y local, um dos eixos principais de inércia.

Já os carregamentos verticais para baixo (perpendiculares ao solo) devem ser decompostos, de modo a resultarem em dois carregamentos cujas direções coincidam com os eixos principais de inércia da seção transversal das terças.

Sendo uma força F perpendicular ao solo atuante sobre uma das águas do telhado.

A decomposição no eixo local y é feita utilizando a Equação 5.

Equação 5 - Decomposição no eixo local y

$$F_y = F * \cos \theta.$$

Para decomposição no eixo local x, utiliza-se a Equação 6.

Equação 6 - Decomposição no eixo local x

$$F_x = F * \sin \theta$$

Sendo θ o ângulo formado entre a água do telhado e o plano horizontal.

Sendo assim, as cargas já decompostas nos eixos principais de inércia são dadas no Quadro 8.

Quadro 8 - Cargas decompostas nos eixos principais de inércia

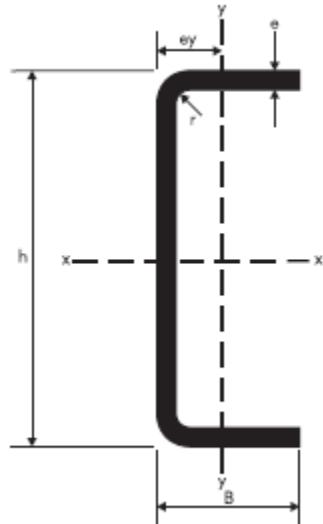
Carga em N/m		
Terça	Eixo x	Eixo y
1	714,61	2111,47
2	804,33	2385,34
3	400,6	1152,92
4	241,71	953,06
5	450,63	1843,15
6	530,98	2185,49
7	514,91	2117,02

Fonte: elaborado pelos autores

5.4.3 Concepção Estrutural das Terças

Optou-se por utilizar perfis do tipo UDC simples da Gerdal (seção U). Esses perfis apresentam uma seção transversal genérica como ilustrado na Figura 9.

Figura 9 - Seção transversal genérica

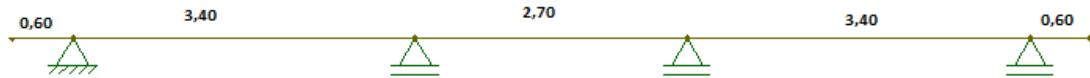


S = área de seção
 P = peso estimado por metro
 J_x = momento da inércia do eixo x
 W_x = módulo de resistência do eixo x
 i_x = raio de giro do eixo x
 ey = distância da linha neutra
 J_y = momento da inércia do eixo y
 W_y = módulo de resistência do eixo y
 i_y = raio de giro do eixo y

Fonte: Catálogo de Produtos da Gerdal

As terças de cobertura estarão apoiadas em quatro treliças como indica a Figura 10.

Figura 10 - Esquema estrutural de apoio das terças nas treliças



Fonte: elaborado pelos autores

5.5 DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DAS TERÇAS

5.5.1 Esforços de Torção

Optou-se por alocar os perfis U voltados para cima, de modo que a resultante entre os carregamentos de peso e da ação do vento incida aproximadamente sobre o eixo de torção. Dessa forma, não haverá esforços de torção significantes nas terças e, assim, não será necessário dimensioná-las à torção.

Para o dimensionamento das terças, portanto, serão considerados os esforços fletores.

5.5.2 Estado Limite de Serviço (ELS)

Para o dimensionamento dos esforços fletores, optou-se por comparar as tensões solicitantes máximas com a tenção de escoamento do aço, de modo que as tensões máximas não sejam superiores à tensão de escoamento do aço. Com isso, o Estado Limite de Serviço (ELS) está verificado.

A tensão em um ponto (x,y) qualquer da seção transversal é dada pela Equação 7.

Equação 7 - Tensão em um ponto genérico

$$\sigma = -\frac{M_{dx}}{I_x} * y + \frac{M_{dy}}{I_y} * x$$

Sendo:

- M_{dx} e M_{dy} os momentos máximos nas direções x e y.
- I_x e I_y são os momentos de inércia característicos do perfil.
- x e y indicam o ponto da seção em que a tensão solicitante será calculada.

Para o cálculo na prática, pode-se utilizar os valores tabelados de W_x e W_y , sendo que $W_x = I_x/y_{crítico}$ e $W_y = I_y/x_{crítico}$. Além disso, com auxílio do software Ftools, determinou-se quais eram os maiores momentos fletores atuantes sobre a terça 2, que é a terça com a maior solicitação.

Os momentos máximos podem ser obtidos através dos Diagramas de Momento Fletor Indicados nas Figura 60 e Figura 61 (Apêndice C).

Dessa forma, a tensão máxima atuante sobre a terça 2 é dada por:

$$\sigma = \frac{190}{W_x} + \frac{62}{W_y}$$

Por outro lado, a tensão de escoamento do aço é $f_y = 25.000 \text{ N/cm}^2$.

Além disso, o coeficiente de segurança do aço é $\gamma_a = 1,15$.

Dessa forma, a tensão de escoamento de cálculo do aço é:

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_a} = 21,74 \text{ kN/cm}^2$$

Portanto, para que a terça 2 esteja dentro do Estado Limite de Serviço, a tensão solicitante deve ser menor ou igual que a tensão de escoamento do aço de cálculo (f_{yd}).

O perfil GERDAL UDC Simples 150 x 50 x 3,00 apresenta $W_x = 30,60 \text{ cm}^3$ e $W_y = 4,16 \text{ cm}^3$.

Com isso, $\sigma = 21,11 \text{ kN/cm}^2$.

Portanto, todas as terças estão seguras quanto aos efeitos de Estado Limite de Serviço.

5.5.3 Verificação se a Viga é de Alma não Esbelta

Para a verificação da alma da viga, utiliza-se as Equação 8 e Equação 9.

Equação 8 – Cálculo de λ_{alma}

$$\lambda_{alma} = \frac{h}{t_w} = \frac{150 - 2 * 3}{3} = 48$$

Equação 9 - Cálculo de λ_{ralma}

$$\lambda_{ralma} = 5,7 * \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \sqrt{\frac{20000}{25}} = 161,2$$

Como $\lambda_{alma} < \lambda_{ralma}$, a viga é de alma não esbelta.

5.5.4 Flambagem Lateral com Torção (FLT)

Além disso, deve-se garantir que a terça não sofra Flambagem Lateral com Torção (FLT).

Primeiramente, calcula-se C_w característico da geometria e das dimensões do perfil da viga, utilizando a Equação 10.

Equação 10 - Cálculo de C_w

$$C_w = \frac{t_f * (b_f - 0,5 t_w)^3 * (d - t_f)^2}{12} * \left[\frac{3 * (b_f - 0,5 t_w) * t_f + 2 * (d - t_f) * t_w}{6 * (b_f - 0,5 t_w) * t_f + (d - t_f) * t_w} \right]$$

Portanto, $C_w = 618,422$.

Calcula-se, então, os parâmetros de esbeltez para o aço utilizando as Equação 11, Equação 12 e Equação 13.

Equação 11 - Cálculo de λ_p

$$\lambda_p = 1,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 49,8$$

Equação 12 - Cálculo de β_1

$$\beta_1 = \frac{(f_y - \sigma_r) * W_x}{E * J}$$

Equação 13 - Cálculo de λ_r

$$\lambda_r = \frac{1,38\sqrt{I_y * J}}{r_y * J * \beta_1} * \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 * C_w * \beta_1^2}{I_y}}} = 145,7$$

A esbeltez da barra deve ser comparada com os parâmetros de esbeltez do aço para se determinar em qual regime a estrutura trabalhará e, consequentemente, como se dá o cálculo do dimensionamento.

A esbeltez da barra é dada pela Equação 14.

Equação 14 - Cálculo de λ

$$\lambda = \frac{L_b}{r_y}$$

Sendo L_b e r_y o comprimento de flambagem e o raio de giração, respectivamente.

Pela concepção adotada para as terças da cobertura, temos que o comprimento de flambagem crítico das terças é 3,40 m.

O raio de giração é calculado com a Equação 15.

Equação 15 - Cálculo de r_y

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{16,08}{7,23}} = 1,49$$

Com isso, utilizando a Equação 14, chega-se a:

$$\lambda = \frac{L_b}{r_y} = \frac{340}{1,49} = 228,19$$

Dessa forma,

$$\lambda > \lambda_r$$

Essa situação apresenta riscos de instabilidade local de alma. Portanto, uma opção viável é a utilização de espaçadores estruturais no meio das vigas, de modo a reduzir os vãos pela metade.

Ao adotar esse tipo de solução, a esbeltez do vão crítico cai pela metade.

Logo,

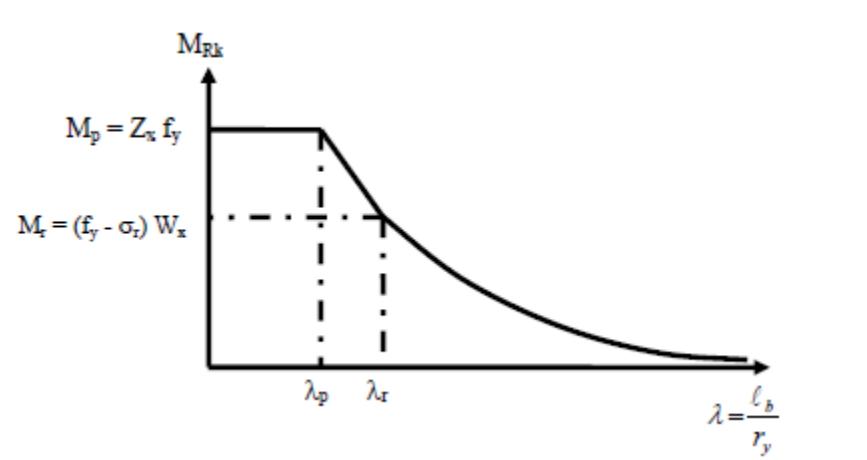
$$\lambda = 114,09$$

Assim,

$$\lambda_p < \lambda < \lambda_r$$

O momento resistente de cálculo é dado em função de λ pelo gráfico da Figura 11.

Figura 11 - Gráfico da relação entre o momento resistente de cálculo e a esbeltez da terça



Fonte: SILVA, 2012

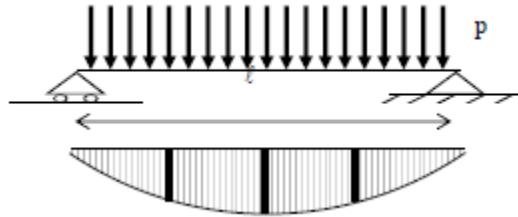
Dessa forma, tem-se a Equação 16.

Equação 16- Cálculo de M_{Rk}

$$M_{Rk} = C_b \left[M_{pl} - (M_{pl} - M_r) * \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \right]$$

O fator de equivalência de momentos na flexão C_b será utilizado de acordo com o seu valor em uma situação como a da Figura 12.

Figura 12 - Estrutura biapoiada com carregamento uniformemente distribuído e diagrama de momento fletor



Fonte: SILVA, 2012

Essa situação é mais desfavorável que a das terças projetadas. Dessa forma, adotando-se o C_b característico da Figura 12 para o dimensionamento das terças, o cálculo do momento fica mais seguro. Portanto, $C_b = 1,14$.

O cálculo de M_{pl} é dado pela Equação 17.

Equação 17- Cálculo de M_{pl}

$$M_{pl} = Z_x * f_y$$

Sendo f_y (com um valor de 25 kN/cm²) a tensão de escoamento do aço.

E Z_x dado pela Equação 18.

Equação 18 - Cálculo de Z_x

$$Z_x = A_f h_1 + \frac{A_w}{2} h_2$$

Chega-se então ao seguinte resultado:

$$Z_x = 37,6 \text{ cm}^3$$

Dessa forma, tem-se:

$$M_{pl} = Z_x * f_y$$

$$M_{pl} = 940 \text{ kNm}$$

Finalmente, o cálculo de M_r é dado pela Equação 19 .

Equação 19 - Cálculo de M_r

$$M_r = W_x(f_y - \sigma_r) = 0,7 * W_x * f_y$$

$$M_r = 535,5 \text{ kNm}$$

Calculadas todas essas grandezas, calcula-se agora o momento resistente de cálculo.

$$M_{Rk} = C_b \left[M_{pl} - (M_{pl} - M_r) * \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \right]$$

$$M_{Rk} = 762,5 \text{ kNm}$$

Finalmente, o momento resistente de dimensionamento é dado por:

$$M_{Rd} = \min \left\{ \frac{M_{Rk}}{1,10}; \frac{1,5M_r}{1,10}; \frac{M_{pl}}{1,10} \right\} = \min \{693,2; 730,2; 845,5\} \text{ kNm}$$

Dessa forma,

$$M_{Rd} = 693,2 \text{ kNm}$$

Pela Figura 12, o momento solicitante de dimensionamento máximo é dado por:

$$M_{Sd} = 190 \text{ kNm}$$

Dessa forma, conclui-se que:

$$M_{Sd} \leq M_{Rd}$$

Com isso a estrutura está segura e não sofrerá Flambagem Lateral com Torção.

5.5.5 Instabilidade Local de Mesa (FLM)

Primeiramente, deve-se determinar o fator k_c . Para isso, utiliza-se a Equação 20.

Equação 20 - Cálculo de k_c

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}} \Leftrightarrow 0,35 \leq k_c \leq 0,76$$

Se $k_c \leq 0,35$, então $k_c = 0,35$.

Se $k_c \geq 0,76$, então $k_c = 0,76$.

Calculando para o caso em questão, tem-se:

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}} = \frac{4}{\sqrt{14,4/0,3}} = 0,577$$

Calculado o fator k_c , a próxima etapa é a do cálculo da esbeltez da viga relacionada aos efeitos de Instabilidade Local de Mesa (FLM), através da Equação 21.

Equação 21 - Cálculo de λ_{FLM}

$$\lambda_{FLM} = \frac{b_f}{2t_f}$$

Sendo b_f , a largura da mesa comprimida e t_f a espessura da seção transversal.

Portanto,

$$b_f = 5 \text{ cm}$$

$$t_f = 0,3 \text{ cm}$$

Dessa forma:

$$\lambda_{FLM} = 8,33$$

Além disso, calcula-se o λ_{rFLM} através da Equação 22.

Equação 22 - Cálculo de λ_{rFLM}

$$\lambda_{rFLM} = 0,83 \sqrt{\frac{E}{f_y - \sigma_r}} = 0,83 \sqrt{\frac{E}{0,7f_y}} = 28,06$$

$$\lambda_{pFLM} = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 10,75$$

Dessa forma:

$$\lambda_{FLM} < \lambda_{pFLM}$$

Isso implica que o cálculo do momento resistente de cálculo M_{Rd} é dado pela Equação 23.

Equação 23 - Cálculo do momento resistente

$$M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{1,10} = \frac{940}{1,10} = 854,5 \text{ kNm}$$

Pela Fonte: ABNT NBR 6123:1988.

Figura 60 (Apêndice C), o momento solicitante de dimensionamento máximo é dado por:

$$M_{Sd} = 190 \text{ kNm}$$

Dessa forma,

$$M_{Sd} \leq M_{Rd}$$

Com isso a estrutura está segura e não sofrerá Instabilidade Local de Mesa (FLM).

5.5.6 Verificação de cortante

Para a verificação da força cortante, determina-se primeiro a força cortante resistente máxima das terças.

Primeiramente, deve-se considerar a altura da alma, livre das mesas ($h' = 14,4 \text{ cm}$); a espessura da alma ($t_w = 0,3 \text{ cm}$) e a distância máxima entre dois enrijecedores adjacentes ($a = 340 \text{ cm}$).

A partir dessas premissas, calcula-se:

$$A_w = h' * t_w$$

$$A_w = 4,32 \text{ cm}^2$$

$$\lambda_{plama} = 1,10 \sqrt{\frac{k_v E}{f_y}} = 69,57$$

$$\lambda_{rlama} = 1,37 \sqrt{\frac{k_v E}{f_y}} = 86,65$$

$$\lambda_{alma} = 48$$

$$V_{pl} = 0,6 * A_w * f_y = 64,8 \text{ kN}$$

$$\lambda_{alma} < \lambda_{plama} \Rightarrow V_{Rk} = V_{pl}$$

$$V_{Rk} = 64,8 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \frac{V_{Rk}}{1,10}$$

$$V_{Rd} = 59,91 \text{ kN}$$

Portanto, deve-se determinar o valor da máxima força cortante solicitante sobre a estrutura das terças.

Dessa forma, o diagrama da terça 2 será analisado, porque essa é a terça com o maior carregamento distribuído.

A Figura 62 (Apêndice C) indica que a força máxima solicitante de cálculo é $V_{sd} = 4,6 \text{ kN}$. Portanto:

$$V_{sd} \leq V_{Rd}$$

Logo, a estrutura das terças está verificada e segura quanto aos efeitos de força cortante.

5.5.7 Distorção da Seção Transversal

Os efeitos da Distorção da Seção Transversal serão desprezados no dimensionamento das terças.

Esse fenômeno não é limitante do dimensionamento em situações comuns de distribuição de carga, como é o caso desse projeto. Dessa forma, seu cálculo não é fundamental para a segurança estrutural da casa, pois se todos os outros fenômenos estudados atuarem sobre uma estrutura resistente o bastante, então essa estrutura também será resistente à Distorção da Seção Transversal com Torção.

5.5.8 Conclusão

Feitas todas as verificações, determina-se que o perfil Gerdal UDC 150 x 30 x 3,00 é adequado. A ligação entre as terças e as treliças está detalhada no Apêndice A – Caderno de Projetos.

5.6 TRELIÇA

5.6.1 Posicionamento das treliças

As treliças serão posicionadas nos locais indicados da Figura 13.

Figura 13 - Posicionamento das treliças



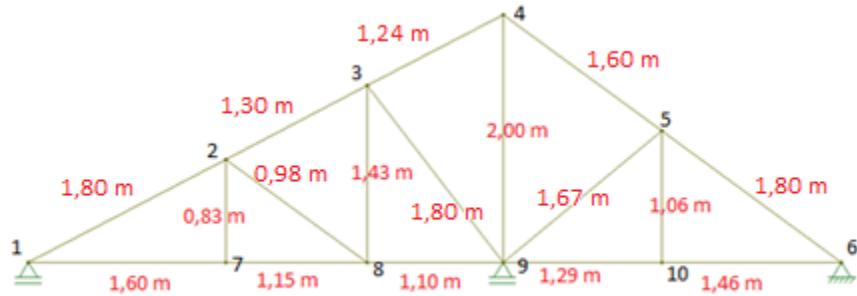
Fonte: elaborado pelos autores

Os locais escolhidos para o posicionamento das terças consideram paredes estruturais capazes de distribuir as cargas provenientes da cobertura.

5.6.2 Concepção Estrutural das Treliças

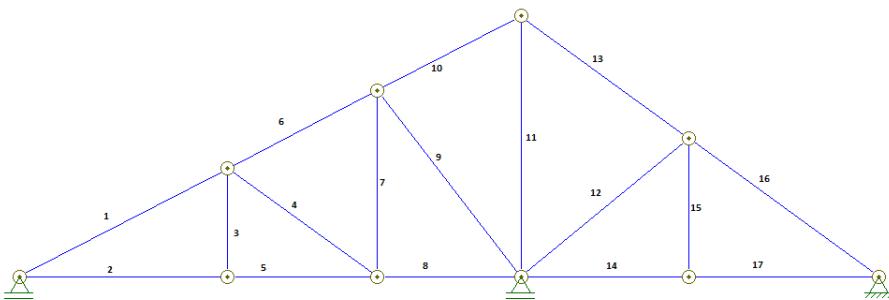
A concepção estrutural das treliças está indicada nas Figura 14 e Figura 15.

Figura 14 - Comprimentos das barras e numeração dos nós das treliças



Fonte: elaborado pelos autores

Figura 15 - Numeração das barras das treliças



Fonte: elaborado pelos autores

O fator determinante para a concepção estrutural da treliça foi o número de terças que se apoiam nas treliças. Os nós de número 1 a número 6 das treliças foram posicionados de modo a servirem de apoios para as terças. Além disso, outro fator considerado foi a altura mínima de telhado para que coubesse a caixa d'água.

Vale ressaltar que o nó número 4 é responsável por suportar duas terças, a número 3 e a número 4, conforme indica o Quadro 9.

Quadro 9- Correspondência entre nós da treliça e as terças que estão apoiadas em cada nó

Nó	Terça
1	7
2	6
3	5
4	4
	3
5	2
6	1

Fonte: elaborado pelos autores

Optou-se pelo uso de dois tipos de perfil para as treliças: um para os banzos superiores e inferiores e outro para os montantes e para as diagonais. Para os banzos, optou-se pelo uso de perfis do tipo UDC Gerdal, encontrados no Catálogo de Produtos da Gerdal. Já para os montantes e para as diagonais, optou-se por perfis do tipo cantoneira dupla de abas iguais. Os perfis utilizados podem ser encontrados no Catálogo de Produtos da Gerdal, porém as grandezas associadas ao tipo de perfil só estão descritas para a cantoneira simples de abas iguais. As grandezas físicas associadas à cantoneira dupla de abas iguais estão apresentadas no Anexo A.

Vale ressaltar que cada um dos quatro apoios presentes nos diagramas das terças representam as quatro treliças nas quais as terças estão apoiadas.

5.6.3 Esforços aplicados sobre as Treliças

Através do software Ftools, pode-se determinar as reações nos eixos locais das terças nos quatro apoios.

A reação em x está indicada no Quadro 10.

Quadro 10 - Reações (em N) no eixo x do sistema local de coordenadas

TRELIÇA

	1	2	3	4
TERÇA	1	1483	2342	2342
2	1670	2637	2637	1670
3	832	1314	1314	832
4	502	793	793	502
5	935	1478	1478	935
6	1101	1740	1740	1101
7	1068	1687	1687	1068

Fonte: elaborado pelos autores

A reação em y está indicada no Quadro 11.

Quadro 11 - Reações (em N) no eixo y do sistema local de coordenadas

	TRELIÇA			
	1	2	3	4
TERÇA	1	4380	6919	6919
2	4948	7817	7817	4948
3	2391	3777	3777	2391
4	1979	3125	3125	1979
5	3824	6041	6041	3824
6	4535	7161	7161	4535
7	4393	6939	6939	4393

Fonte: elaborado pelos autores

Para o cálculo estrutural das treliças, devem-se considerar os valores dos Quadro 10 e Quadro 11, mas no sistema global de coordenadas. Esses valores estão indicados no Quadro 12.

Quadro 12 – Forças aplicadas nos nós das treliças

Nós	Treliças							
	1		2		3		4	
	x	y	x	y	x	y	x	y
6	-1376,18	-4414,73	-2174,47	-6973,47	-2174,47	-6973,47	-1376,18	-4414,73
5	-1558,95	-4984,1	-2463,93	-7873,26	-2463,93	-7873,26	-1558,95	-4984,1
4	-264,94	-4410,44	-419,3	-6965,84	-419,3	-6965,84	-264,94	-4410,44
3	935,66	-3823,84	1477,29	-6041,17	1477,29	-6041,17	935,66	-3823,84
2	1116,59	-4531,19	1761,85	-7155,66	1761,85	-7155,66	1116,59	-4531,19
1	1080,32	-4389,99	1706,39	-6934,26	1706,39	-6934,26	1080,32	-4389,99

Fonte: elaborado pelos autores

5.6.4 Dimensionamento estrutural à tração

O dimensionamento será baseado na norma ABNT NBR 8800:2008.

Para dimensionar as barras a tração, será calculado o valor de força normal resistente de cálculo (N_{Rd}) ao escoamento da seção bruta:

$$N_{Rd} = \frac{Af_y}{\gamma_a}$$

Sendo:

- A a Área bruta da seção;
- $\gamma_a = 1,10$;
- $f_y = 25 \text{ kN/cm}^2$.

Esse valor, deverá ser comparado com o valor do esforço normal solicitante de cálculo de cada barra analisada N_{Sd} , obtido através do diagrama de esforços normais das treliças.

Portanto,

$$N_{Rd} \geq N_{Sd}$$

$$\frac{Af_y}{\gamma_a} \geq N_{Sd}$$

$$A \geq \frac{N_{Sd} * \gamma_a}{f_y}$$

$$A \geq \frac{N_{Sd} * 1,10}{25}$$

$$[N_{Sd}] = kN; [A] = cm^2$$

Além disso, a flexibilidade das peças será limitada. Dessa forma, evitar-se-ão fenômenos como o de vibração. Para tanto, o limite de esbeltez será limitado em 300, de modo que o estado limite de serviço fique dentro dos padrões aceitáveis.

Dessa forma:

$$\lambda = \frac{l}{r} \leq 300$$

$$\therefore r \geq \frac{l}{300}$$

Sendo l o comprimento de flambagem de cada barra e r o raio de giração do perfil adotado.

Para as barras tracionadas, os casos críticos são para as barras com maiores carregamentos e para as barras com maiores comprimentos de flambagem.

5.6.5 Dimensionamento à compressão

As diretrizes de dimensionamento à compressão serão dadas pela norma ABNT NBR 8800:2008.

Segundo a norma, o valor da força normal resistente de cálculo (N_{Rd}) de peças axialmente comprimidas é dado por:

$$N_{Rd} = \frac{N_{Rk}}{\gamma_a}$$

Em que N_{Rk} é o valor da força normal resistente não minorada e γ_a é o fator de segurança para estruturas em aço e vale 1,10.

A esbeltez da barra é dada por:

$$\lambda_o = \frac{\lambda}{\sqrt{\frac{\pi^2 E}{f_y}}} = \frac{l/r}{\sqrt{\frac{\pi^2 E}{f_y}}}$$

Em que l é o comprimento de flambagem da barra, r é o raio de giração, E é o módulo de elasticidade do aço utilizado e f_y é a tensão de escoamento do aço.

Utilizar-se-á um aço com $f_y = 25$ kN/cm² e $E = 20000$ kN/cm².

Calcula-se então a esbeltez de cada barra em relação aos eixos x e y:

$$\lambda_x = \frac{l}{r_x}$$

$$\lambda_{ox} = \frac{\lambda_x}{\sqrt{\frac{\pi^2 E}{f_y}}}$$

$$\lambda_y = \frac{l}{r_y}$$

$$\lambda_{oy} = \frac{\lambda_y}{\sqrt{\frac{\pi^2 E}{f_y}}}$$

Com as elbeltezes das barras calculadas, prossegue-se para o cálculo do fator redutor de capacidade resistente.

$$\text{Para } \lambda_o \leq 1,5 \rightarrow \chi = 0,658^{\lambda_o^2}$$

$$\text{Para } \lambda_o > 1,5 \rightarrow \chi = \frac{0,877}{\lambda_o^2}$$

Ainda pela norma,

$$N_{Rk} = \chi Q A f_y$$

Em que A é a área bruta da seção, $Q = 1,0$ na ausência de instabilidade local, χ é o fator redutor de capacidade resistente.

Sendo assim, o esforço solicitante de cálculo $N_{Sd} = 1,4 * N_{Sk}$ deve ser menor ou igual ao esforço resistente de cálculo.

Assim,

$$\frac{\chi Q A f_y}{\gamma_a} \geq 1,4 N_{Sk}$$

$$\frac{\chi 1,0 A 25}{1,10} \geq 1,4 N_{Sk}$$

Para as barras comprimidas, os casos críticos são para as barras com maiores carregamentos e para as barras com maiores comprimentos de flambagem.

5.6.6 Análise dos casos críticos

Para a análise estrutural das treliças serão considerados os casos críticos.

Primeiramente, a análise será separada de acordo com o tipo de perfil utilizado para cada barra. Os banzos superiores e inferiores serão concebidos com perfis do tipo U e os montantes serão concebidos com perfis do tipo cantoneira dupla de abas iguais.

Após essa primeira separação, a análise será novamente segmentada. Dessa vez, de acordo com o tipo de esforço solicitante, que pode ser de tração ou de compressão.

I. Banzos submetidos a tração

Os banzos submetidos a tração com o maior carregamento são representados pelas barras 2 e 5, apresentando um carregamento de tração de 5593 N, conforme indica a Figura 63. Além disso, o banzo representado pela barra 13 é o maior dentre os que são tracionados, com 160 cm de comprimento.

Portanto, estes que serão analisados, pois uma vez em que a segurança deles for verificada, os outros banzos tracionados estão com a segurança garantida.

A análise pode ser feita da seguinte forma:

$$r \geq \frac{1}{300} = \frac{160}{300} = 0,54$$

$$A \geq \frac{N_{sd} * 1,10}{25} = \frac{5,593 * 1,10}{25} = 0,25 \text{ cm}^2$$

Portanto, o perfil UDC 50 x 25 x 2,00 atende as necessidades estruturais para os banzos tracionados.

II. Banzos submetidos a compressão

Dentre as barras que compõem os banzos e estão submetidas a compressão, a barra 1 é mais crítica. Isso acontece, pois ela apresenta o maior comprimento dentre as barras comprimidas de banzos e o maior carregamento, com 180 cm de comprimento e 8224 N de compressão, conforme indica a Figura 63.

Logo, verificar-se-á o perfil UDC 50 x 25 x 2,00; adotado para os banzos tracionados:

$$\lambda_x = 92,78; \quad \lambda_{ox} = 1,044; \quad \lambda_y = 230,77; \quad \lambda_{oy} = 2,60$$

$$\text{Portanto, } \lambda_o = 2,60 \rightarrow \chi = 0,130$$

$$N_{Rk} = 5,6875 \text{ kN} = 5687,5 \text{ N}$$

$$N_{Sk} = 8224 \text{ N}$$

Dessa forma, a força de compressão resistente é menor que a força de compressão solicitante e o perfil não atende às necessidades.

Prossegue-se então com a verificação de um perfil mais resistente disponível no mercado, o perfil UDC 75 x 38 x 2,00.

$$\lambda_o = 1,595 \rightarrow \chi = 0,345$$

$$N_{Rk} = 24,15 \text{ kN} = 24150 \text{ N}$$

$$\text{Portanto, } N_{Rk} > N_{Sk}$$

Portanto, os banzos inferiores e superiores da casa serão concebidos com perfis UDC 75 x 38 x 2,00.

III. Montantes e diagonais submetidos a tração

Os montantes submetidos a tração com o maior carregamento e maior comprimento são representados pela barra 7 de cada treliça, apresentando um carregamento de tração de 4700 N, conforme indica a Figura 63 e um comprimento de 143 cm.

Portanto, estes que serão analisados, pois uma vez em que a segurança deles for verificada, os outros banzos tracionados estão com a segurança garantida. Abaixo tem-se a análise:

$$r \geq \frac{l}{300} = \frac{143}{300} = 0,477 \text{ cm}$$

$$A \geq \frac{N_{sd} * 1,10}{25} = \frac{4,700 * 1,10}{25} = 0,207 \text{ cm}^2$$

A cantoneira dupla de abas iguais $2L = 19,05 \times 5,9$ apresenta $r = 0,57 \text{ cm}$ e $A = 2,22 \text{ cm}^2$. Logo, trata-se de um perfil adequado para suportar os esforços solicitantes de tração.

IV. Montantes submetidos a compressão

Para dimensionar os montantes comprimidos, será feito o dimensionamento de uma barra hipotética. Essa barra estaria submetida à mesma carga de compressão da barra 9, com 10372 N (Figura 63, Apêndice C) e teria o comprimento da barra 11, com 2,00 m.

Estando essa barra hipotética segura, qualquer barra submetida a compressão também estaria. Isso acontece, pois a barra 9 é a que apresenta o maior carregamento de compressão dentre os montantes submetidos a compressão e a barra 11 é a que apresenta o maior comprimento de flambagem dentre os montantes submetidos a compressão.

Visto isso, a verificação estrutural será realizada com o perfil definido como adequado para os montantes submetidos a tração, ou seja, o perfil 2L 19,05 x 5,9 e pode ser verificada abaixo:

$$\lambda_x = 350,88; \lambda_{ox} = 3,95; \lambda_y = 243,90; \lambda_{oy} = 2,74$$

$$\therefore \lambda_o = 3,95 \rightarrow \chi = 0,056$$

$$N_{Rk} = 3,1196 \text{ kN} = 3119,6 \text{ N}$$

$$N_{Sk} = 10372 \text{ N}$$

Portanto, o perfil 2L 19,05 x 5,9 não é adequado para os montantes comprimidos.

Prossegue-se então com a verificação de um perfil mais resistente disponível no mercado, o perfil 2L 25,40 x 6,35:

$$\lambda_o = 2,961 \rightarrow \chi = 0,100$$

$$N_{Rk} = 14,204 \text{ kN} = 14204 \text{ N}$$

$$N_{Sk} = 10372 \text{ N}$$

$$\therefore N_{Rk} > N_{Sk}$$

Dessa forma, o perfil escolhido para os montantes comprimidos é o 2L 25,40 x 6,35.

Os detalhes da treliça estão apresentados no Apêndice A – Caderno de Projetos.

5.7 ESTRUTURA DE SUPORTE DA CAIXA D'ÁGUA

5.7.1 Posicionamento da Estrutura

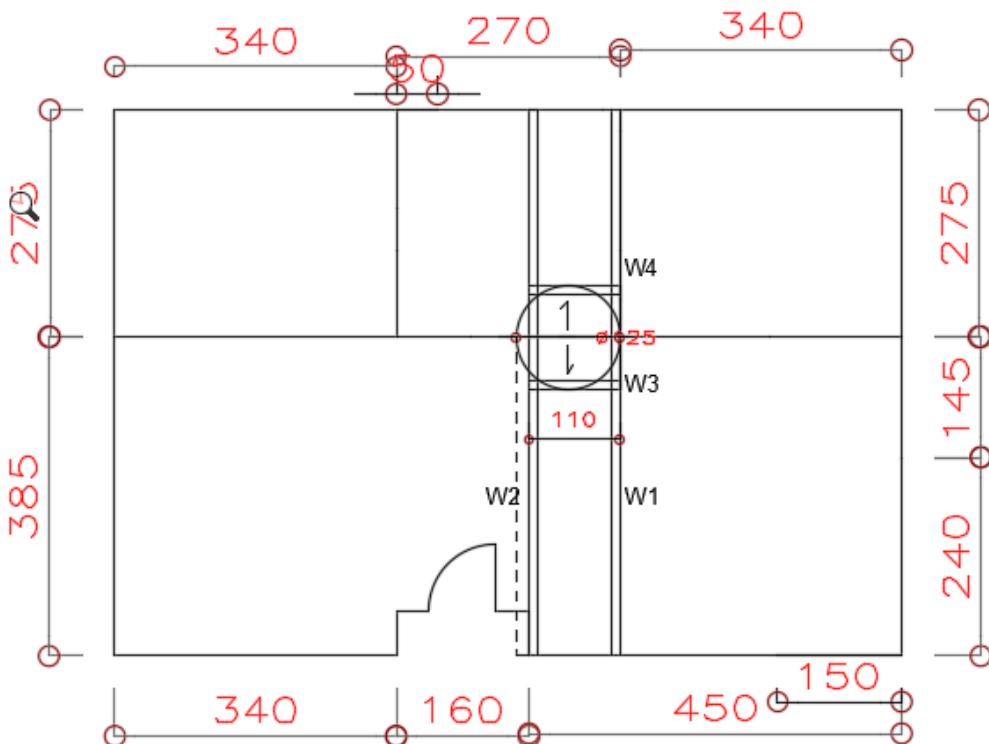
A caixa d'água foi posicionada entre o forro e a cobertura, numa posição em que a altura do telhado é a maior de todas, centralizada sob a cumeeira do telhado.

Estabelecida a posição da caixa d'água, optou-se por adotar um conjunto de quatro vigas em perfil W, encontradas no Catálogo de Produtos da Gerdal e uma chapa xadrez de 8 mm de espessura, encontrada no Catálogo de Produtos da Paulisteel, que apresenta massa superficial de 68,69 kg/m² como apoio direto para a caixa d'água.

5.7.2 Carregamentos

Os carregamentos da caixa d'água caminharão pela estrutura conforme indicado pela Figura 16.

Figura 16- Caminhamento de cargas provenientes da caixa d'água



Fonte: elaborado pelos autores

A caixa d'água cheia tem massa de 510 kg e as vigas adotados têm massa 13 kg/m. Considerando a aceleração da gravidade como $9,81 \text{ m/s}^2$, o peso da caixa d'água cheia é de 5003,10 N, o das vigas adotadas de 127,53 N/m e o da chapa xadrez de 673,85 N/m².

Para o cálculo estrutural das vigas, as cargas solicitantes devem ser majoradas de acordo com os coeficientes adequados. Para perfis de estrutura metálica, utiliza-se 1,25 e para a caixa d'água utiliza-se 1,40 (ABNT NBR 8800:2008).

Logo, as cargas consideradas serão de 7004,34 N para a caixa d'água, 159,42 N/m para as vigas escolhidas e para a chapa xadrez 842,32 N/m². Como a carga da caixa d'água está distribuída em 1,10 m, o cálculo deverá considerar 6367,58 N/m. Além disso, como a chapa xadrez está centralizada entre as vigas W3 e W4, o

comprimento de influência para cada uma dessas vigas é de 0,625 m. Portanto, a chapa xadrez aplicará uma carga de 526,45 N/m.

Somando as cargas aplicadas pela caixa d'água, pela chapa xadrez e pelo peso próprio dos perfis, a carga total sobre as vigas W3 e W4 é de 7690,21 N/m.

Dessa forma, os diagramas de esforços solicitantes das vigas W3 e W4 estão indicados nas Figura 64 e Figura 65 (Apêndice C).

As reações que os apoios aplicam sobre as vigas W3 e W4 valem 4230 N. No entanto, os apoios das vigas W3 e W4 são as vigas W1 e W2. Logo, essas reações de 4230 N são aplicadas sobre as vigas W1 e W2, conforme indica a Figura 66 (Apêndice C).

5.8 VERIFICAÇÃO ESTRUTURAL DAS VIGAS ADOTADAS PARA SUSTENTAÇÃO DA CAIXA D'ÁGUA

Comparando-se a Figura 64 com a Figura 67 e a Figura 65 com a Figura 68 (Apêndice C), conclui-se que os valores máximos dos esforços cortantes e fletores sobre as vigas W1 e W2 são maiores que os esforços máximos sobre as vigas W3 e W4.

O momento fletor resistente de cálculo é dado por:

$$M_{Rd} = \frac{Z_x f_y}{1,1}$$

Em que $f_y = 25 \text{ kN/cm}^2$ é a tensão de escoamento do aço utilizado e Z_x é característica do perfil.

Portanto:

$$M_{Rd} \geq M_d$$

$$\frac{Z_x f_y}{1,1} \geq M_d$$

5.8.1 Esbeltez local

As diretrizes para o cálculo estrutural relacionadas à Esbeltez Local foram obtidas através da Norma ABNT NBR 8800:2008.

I. Alma (FLA)

Tem-se:

$$H/t_w = 32,14$$

Portanto:

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \sqrt{\frac{20000}{25}} = 106,35$$

Condição que deve ser verificada: $H/t_w < \lambda_p$.

A estrutura está segura quanto aos efeitos de flexão da alma.

II. Mesa (FLM)

Tem-se:

$$b_f/2t_r = 10,2$$

Portanto:

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{20000}{25}} = 10,75$$

Condição que deve ser verificada: $b_f/2t_r < \lambda_p$

A estrutura está segura quanto aos efeitos de flexão da mesa.

III. Flambagem Lateral com Torção (FLT)

Tem-se:

$$\lambda_r = 132 \text{ cm}$$

Portanto:

$$\lambda_p = 1,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \sqrt{\frac{20000}{25}} = 49,78$$

Sendo l o comprimento crítico de flambagem e R_y tabelado, temos que:

$$\lambda_y = \frac{l}{R_y} = 155,41$$

Calcula-se então o valor de M_{Rk} :

- Se $\lambda_y < \lambda_p$, então $M_{Rk} = M_{pl} = Z_x f_y$
- Se $\lambda_p < \lambda_y < \lambda_r$, então $M_{Rk} = C_b (M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \left(\frac{\lambda_y - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right))$
- Se $\lambda_y > \lambda_r$, então deve-se verificar um perfil mais resistente

A estrutura não está segura quanto aos efeitos de flambagem lateral com torção. Dessa forma, deve-se realizar uma nova verificação com um perfil mais resistente.

Para a nova verificação, será utilizado o perfil W 200 x 26,6. Sendo assim, as vigas W3 e W4 receberão um carregamento total de 7860,65 N/m.

O momento fletor resistente de cálculo é dado por:

$$M_{Rd} = \frac{Z_x f_y}{1,1}$$

Em que $f_y = 25$ kN é a tensão de escoamento do aço utilizado e Z_x é característica do perfil.

O momento fletor resistente de cálculo deve ser maior ou igual que o momento fletor de cálculo (indicado na Figura 70):

$$M_{Rd} \geq M_d$$

$$\frac{Z_x f_y}{1,1} \geq M_d$$

$$Z_x \geq \frac{1,1 M_d}{f_y} = \frac{1,1 * 234,2}{25} = 10,30 \text{ cm}^3$$

I. Alma (FLA)

Tem-se:

$$H/t_w = 32,79; \lambda_p = 3106,35$$

Como $H/t_w < \lambda_p$, as vigas não estão sujeitas aos efeitos críticos de flexão de alma.

II. Mesa (FLM)

Tem-se:

$$b_f/2t_r = 7,92; \lambda_p = 10,75$$

Como $b_f/2t_r < \lambda_p$, as vigas não estão sujeitas aos efeitos críticos de flexão de mesa.

III. Flambagem Lateral com Torção (FLT)

$$\lambda_r = 133 ; \lambda_p = 49,78 ; \lambda_y = 111,29$$

$$M_{Rk} = 7405,05 \text{ kNm}$$

O momento resistente de cálculo é dado por:

$$M_{Rd} = \min \left\{ \frac{M_{pl}}{1,1}, \frac{M_{Rk}}{1,1} \right\} = 6409,09 \text{ kNm} = 64090,9 \text{ Nm}$$

Como $M_{Sd} = 2342 \text{ Nm} \leq M_{Rd}$, as vigas de caixa d'água estão seguras quanto aos efeitos de flambagem lateral com torção.

IV. Cortante

Tem-se:

$$\lambda = h/t_w = 32,79$$

$$\lambda_p = 1,10 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 31,11$$

$$\lambda_r = 1,37 \sqrt{\frac{k_v E}{f_y}} = 86,65$$

Com $k_v = 5,0$ já que as almas não têm enrijecedores transversais.

$V_{pl} = 0,6 f_y A_w = 165,47 \text{ kN}$ é a força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento.

Em que, $A_w = t_w * h = 11,03 \text{ cm}^2$.

Então,

$$\text{Se } \lambda \leq \lambda_p \text{ então } V_{Rd} = \frac{V_{pl}}{1,1}$$

$$\text{Se } \lambda_p < \lambda \leq \lambda_r \text{ então } V_{Rd} = \frac{\lambda_p V_{pl}}{\lambda 1,1}$$

$$\text{Se } \lambda > \lambda_r \text{ então } V_{Rd} = 1,24 \left(\frac{\lambda_p}{\lambda} \right)^2 V_{pl}$$

Dessa forma, a força cortante resistente é dada por:

$$V_{Rd} = \frac{\lambda_p V_{pl}}{\lambda 1,1} = 142,72 \text{ kN}$$

A máxima solicitante de cálculo, indicada na Figura 69 é

$$V_{Sd} = 4,795 \text{ kN}$$

Então,

$$V_{Sd} < V_{Rd}$$

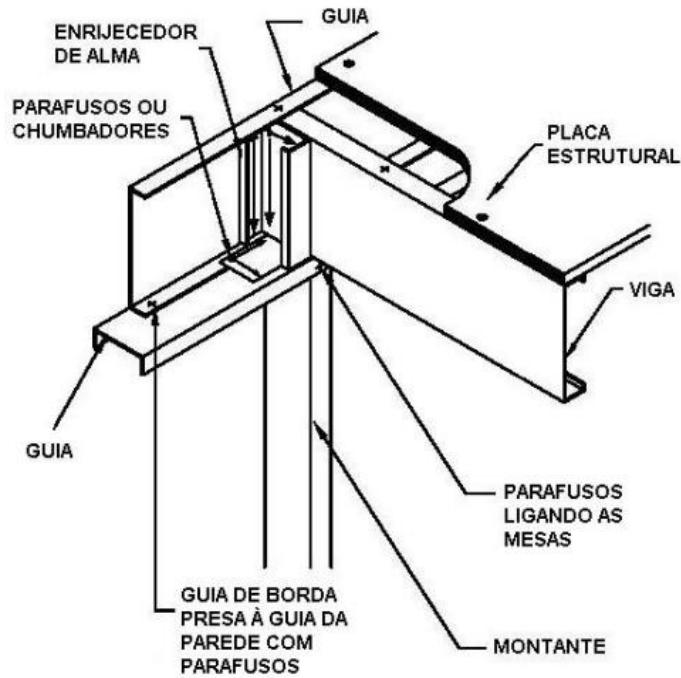
Portanto, a estrutura da caixa d'água está segura para todos os efeitos quando concebida com perfis W 200 x 26,6.

Os detalhes da estrutura de suporte da caixa d'água estão apresentados no Apêndice A – Caderno de Projetos.

5.9 ESTRUTURA DA CASA

A casa será construída em *Light Steel Frame*, que é um tipo de estrutura feito com perfis leves de aço. Os montantes são perfis de aço colocados na vertical, enquanto as guias são colocadas na horizontal, de modo a formar a base e o topo dos montantes. As vigas por sua vez estão conectadas às guias, conforme indica a Figura 17.

Figura 17 - Conexão entre guia e montante

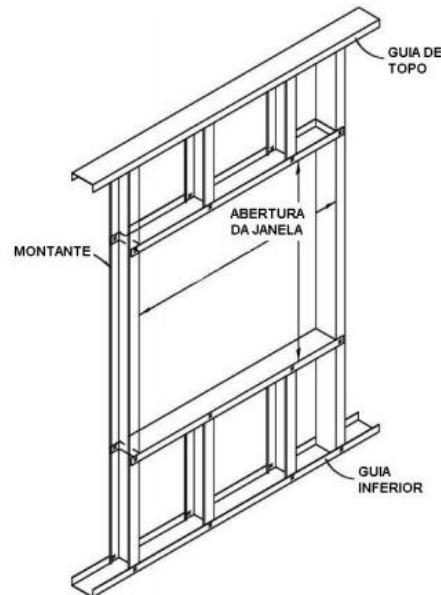


Fonte: CBCA, 2016

Para os Montantes são utilizados perfis do tipo U que devem apresentar um espaçamento mínimo entre si de 400 mm e máximo de 600 mm.

As vergas são elementos estruturais que desviam o caminhamento das cargas para fora das aberturas de portas e janelas. Elas são ilustradas pela Figura 18.

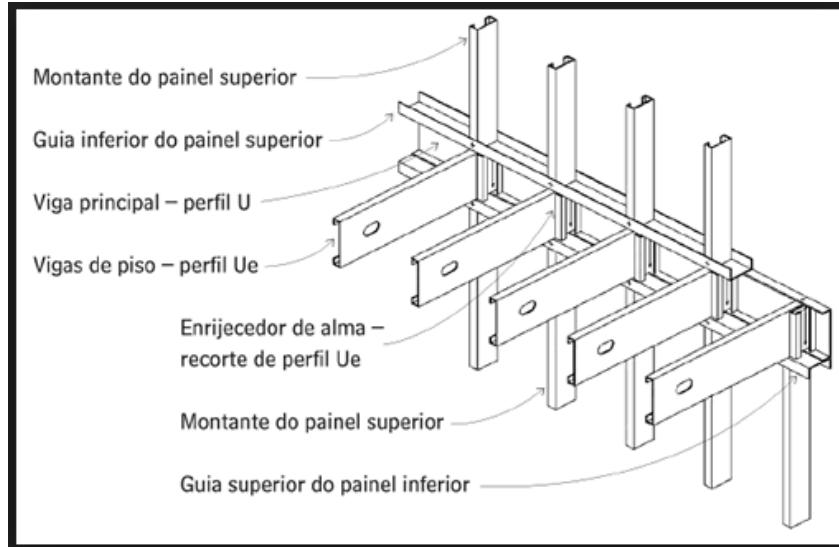
Figura 18 – Vergas



Fonte: CBCA, 2016.

Tem-se, por fim um esquema que ilustra de forma global como cada um dos elementos componentes da estrutura em *Light Steel Frame* se combinam entre si. Esse esquema está ilustrado na Figura 19.

Figura 19 - combinação entre elementos



Fonte: CBCA, 2016.

5.10 VERIFICAÇÃO DOS MONTANTES ESTRUTURAIS

Para a estrutura da casa, serão utilizados montantes estruturais de 90 mm. Estes são os perfis que geralmente são utilizados em construções similares à deste trabalho. Este perfil garante uma espessura de parede adequada para que os revestimentos das paredes exerçam os papéis de isolamento térmico e acústico.

Devido ao fato de a habitação ser térrea, e com baixas cargas, além de a tecnologia em Steel Frame ainda não possuir uma norma técnica específica, optou-se por fazer apenas uma verificação da compressão e da flambagem dos montantes, utilizando como parâmetro os perfis de mercado.

As diretrizes de dimensionamento à compressão serão dadas pela norma ABNT NBR 8800:2008.

Para calcular a esbeltez da barra, foi utilizada a Equação 24, com relação ao eixo x e ao eixo y.

Equação 24 - Esbeltez da barra

$$\lambda_o = \frac{\lambda}{\sqrt{\frac{\pi^2 E}{f_y}}} = \frac{l/r}{\sqrt{\frac{\pi^2 E}{f_y}}}$$

Sendo:

- l é o comprimento de flambagem da barra, em centímetros, sendo 280 cm para o caso deste trabalho;
- r é o raio de giração, em centímetros;
- E é o módulo de elasticidade do aço utilizado, com valor de 20000 kN/cm² para o aço utilizado;
- $E f_y$ é a tensão de escoamento do aço, com valor de 25 kN/cm² para o aço utilizado.

Para o cálculo do raio de giração, utilizou-se a Equação 25.

Equação 25 - Raio de giração

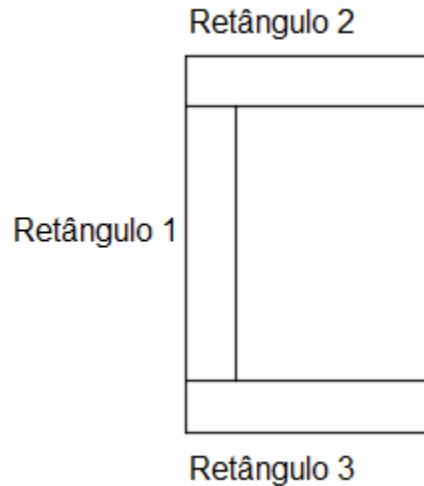
$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Sendo:

- I é o momento de inércia da seção, em cm³;
- A é a área da seção.

Para o cálculo do momento de inércia, a seção foi dividida em três retângulos, conforme a Figura 20.

Figura 20- Divisão da seção



Fonte: elaborado pelos autores

Para o cálculo do momento de inércia dos três retângulos, utilizou-se a Equação 26.

Equação 26 - Momento de inércia de retângulo

$$I = \frac{b \times h^3}{12}$$

Então, utilizou-se a Equação 27 para que se chegasse ao momento de inércia da seção inteira, em relação ao seu centro de gravidade.

Equação 27 - Fórmula de mudança de eixo

$$I = I' + A \times d^2$$

Sendo:

- I' é o momento de inércia em relação aos eixos de cada retângulo menor;

- A é a área de cada retângulo menor;
- D é a distância entre os eixos dos retângulos menores e o eixo da seção inteira.

Os Quadro 13 e Quadro 14 mostram os resultados dos cálculos explicados anteriormente.

Quadro 13 - Características em relação ao eixo x

Eixo de inércia x	Retângulo 1	Retângulos 2 e 3	Total
b (mm)	0,8	39,2	-
h (mm)	90	0,8	-
A (mm ²)	72	31,36	134,72
I _x (mm ⁴)	48600	62381,7301	173363,5
r _x (cm)	-	-	11,3439

Fonte: elaborado pelos autores

Quadro 14 -Características em relação ao eixo y

Eixo de inércia y	Retângulo 1	Retângulos 2 e 3	Total
b (mm)	88,4	0,8	-
h (mm)	0,8	40	-
A (mm ²)	70,72	32	134,72
I _y (mm ⁴)	6135,0382	7654,1914	21443,42
r _y (cm)	-	-	3,9896

Fonte: elaborado pelos autores

Com as elbeltezes das barras calculadas, prossegue-se para o cálculo do fator redutor de capacidade resistente.

Segundo a norma, o fator redutor deve ser calculado da seguinte forma:

- Para $\lambda_o \leq 1,5$, $\chi = 0,658\lambda_o^2$
- Para $\lambda_o > 1,5$, $\chi = \frac{0,877}{\lambda_o^2}$

Para seu cálculo, deve se considerar a situação mais crítica, que é a de maior valor de λ_o .

Ainda pela norma, tem-se a Equação 28 para calcular a força resistente da barra em análise.

Equação 28 - Força normal resistente

$$N_{Rk} = \chi Q A f_y$$

Sendo:

- A é a área bruta da seção;
- Q vale 1,0 na ausência de instabilidade local;
- χ é o fator redutor da capacidade resistente.

Os resultados dos cálculos acima se encontram no Quadro 15.

Quadro 15 - Cálculo de Nrk

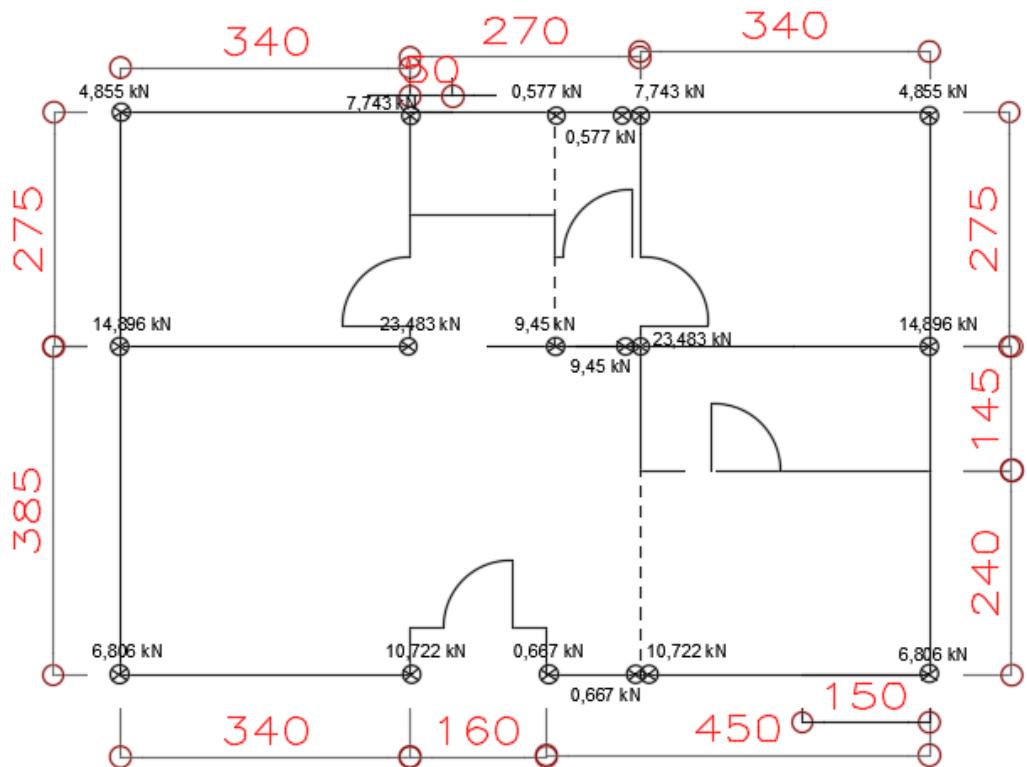
Propriedade	Valor
f_y (kN/cm²)	25
E (kN/cm²)	20000
I (cm)	280
r_x (cm)	11,3439
r_y (cm)	3,9896
Lam.x	24,6828
Lam.y	70,1822
Lam.ox	0,2778
Lam.oy	0,7898
Lam.o	0,7898
Equis	0,7702
Nrk (kN)	25,9404

Fonte: elaborado pelos autores

Portanto, a força normal resistente dos montantes é de 25,94 kN.

Como pode ser visto na Figura 21, o montante mais solicitado recebe uma carga de 23,483 kN, que é menor do que a força resistente, que tem valor de 25,94 kN. Além disso, os revestimentos de OSB também exercem papel estrutural e não foram considerados na verificação, para se ter mais segurança. Portanto, o perfil escolhido para a residência foi aprovado na verificação estrutural e será utilizado.

Figura 21 - Distribuição de cargas



Fonte: elaborado pelos autores

6 FUNDAÇÃO

Após os projetos de arquitetura e estrutura, a próxima etapa de qualquer residência está ligada com a fundação e o solo do terreno.

Muitas vezes, entretanto, é necessário um projeto bem específico e aprofundado, dada a variabilidade de terrenos e solos. Por isso, o projeto em questão não se aterá a calcular o tipo de fundação.

Contudo, dada as pequenas cargas do tipo de sistema construtivo utilizado, o projeto partirá da conjectura de uma fundação simples, do tipo radiê.

7 INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

7.1 ILUMINAÇÃO - POTÊNCIA MÍNIMA E PONTOS DE ILUMINAÇÃO

Segundo a ABNT NBR5413:1992 e ABNT NBR5410:2004, para iluminação residencial deve ser atribuída uma potência mínima de 100 VA para cômodos com áreas iguais ou inferiores a 6m².

Para cômodos com áreas superiores a 6m², atribui-se 100 VA para os primeiros 6m² e acrescentam-se 60 VA para cada aumento de 4m² inteiros à área.

Além disso, as recomendações que a ABNT NBR5410:2004 traz para a quantidade de pontos de iluminação é que cada cômodo tenha pelo menos um ponto de luz no teto comandado por um interruptor na parede.

Dessa forma, o número de pontos é calculado no Quadro 16.

Quadro 16 - Número de pontos de luz

	Área (m ²)	Potência (VA)	Potência Adotada (VA)	Número de Pontos
Dormitório 1	9,3	100	100	1
Dormitório 2	9,3	100	100	1
BWC	3,6	100	155	2
Circulação	3,6	100	100	1
Lavanderia	2,6	100	100	1
Cozinha	8,1	100	100	1
Estar/Jantar	22,5	340	360	4
Hall	1,7	100	100	1

7.2 CARGA DE TOMADAS

7.2.1 Tomadas de Uso Específico (TUE's)

Para as tomadas de uso geral, as recomendações da ABNT NBR5410:2004 são as seguintes:

- a) Quantidades mínimas de TUG's por cômodo/dependências:
 - Com área igual ou inferior a 6 m² → mínimo de uma tomada;
 - Com área superior a 6 m² → uma tomada a cada 5 m ou fração de perímetro, espaçadas tão uniformemente quanto possível;
 - Cozinhas e ou copas → uma tomada a cada 3,5 m ou fração de perímetro, independente da área;
 - Subsolos, varandas, garagens ou sótãos → pelo menos uma tomada;
 - Banheiros → no mínimo uma tomada junto ao lavatório com uma distância mínima de 60cm do limite do boxe.
- b) Determinação das potências mínimas das TUG's:
 - Banheiros, cozinhas, copas, áreas de serviços, lavanderias e locais semelhantes → mínimo de 600 VA por tomada (primeiras 3 TUG's) e 100 VA para os excedentes;
 - Demais cômodos ou dependências → mínimo de 100 VA por tomada.

7.3 TOMADAS DE USO ESPECÍFICO (TUE'S)

Para as tomadas de uso específico, a quantidade é estabelecida pelos aparelhos de utilização já previstos em uma dada localização. Alguns dos aparelhos são chuveiros elétricos, secadoras de roupas, torneiras elétricas, geladeiras, entre outros.

Para a residência em estudo, serão considerados uma geladeira na cozinha, uma máquina de lavar roupas na área de serviço e um chuveiro elétrico no banheiro.

Dessa forma é possível calcular as potências demandadas pelo uso da residência, conforme Quadro 17.

Quadro 17 - Potências demandadas

Dimensões		Potência de Iluminação (VA)	TUG's			TUE's	
Área (m ²)	Perímetro (m)		Num de pontos mínimos	Num de pontos utilizados	Potência (VA)	Num de pontos	Potência (VA)
Dormitório 1	9,3	12,3	100	3	4	400	-
Dormitório 2	9,3	12,3	100	3	4	400	-
BWC	3,6	8,8	155	1	1	600	1 chuveiro 5600
Circulação	3,6	8,5	100	1	1	100	-
Lavanderia	2,6	6,5	100	1	2	1200	1 maq.de lavar 1000
Cozinha	8,1	11,6	100	4	5	2000	1 geladeira 500
Estar/Jantar	22,5	21	360	5	6	600	-
Hall	1,7	5,4	100	1	1	600	-
Potência Aparente		1115	Potência Aparente		5900	Potência Ativa	7100

7.4 CÁLCULO DA POTÊNCIA ATIVA TOTAL

Para a potência aparente total de iluminação é utilizado 1 como valor para o coeficiente. Já para a potência aparente total das tomadas de uso geral é adotado o valor de 0,8.

Com esses dois valores de potência ativa, soma-se a potência ativa das TUE's, chegando em:

- Potência Ativa Total = $1115 \times 1 + 5900 \times 0,8 + 7100 = 12935$ VA

7.5 TIPO DE FORNECIMENTO E TENSÃO

O fornecimento de energia elétrica na cidade de São Paulo é feito pela AES Eletropaulo. O fornecimento doméstico disponibilizado pela empresa é de 127V e 220V para toda a cidade. Dessa forma, o projeto será baseado em tais voltagens.

7.6 DIVISÃO DOS CIRCUITOS

Segundo os critérios estabelecidos pela NBR5410, devem ser obedecidas as seguintes considerações mínimas:

- Circuitos de iluminação devem ser separados dos circuitos de tomadas de uso geral (TUG's);
- Para equipamentos com corrente nominal superior a 10A deve ser previsto um circuito independente exclusivo para tal;
- Recomenda-se prever circuitos independentes para cada tomada de uso específico (TUE's), pois geralmente ficam sujeitos a correntes mais altas;
- Recomenda-se separar o circuito de iluminação em mais de um circuito, caso haja necessidade, para evitar grandes bitolas de fiação;
- Recomenda-se separar também o circuito de tomadas de uso geral em mais de um circuito, caso haja necessidade, para evitar grandes bitolas de fiação;

Para o projeto em estudo, a divisão de circuitos é apresentada no Quadro 18.

Quadro 18 - Divisão dos circuitos

nº	Tipo	Tensão (V)	Local	Potência		Corrente (A)
				Quantidade x Potência (VA)	Total (VA)	
1	Ilum. Social	127	Dormitório1 Dormitório2 Estar/Jantar Banheiro Circulação	1 x 100 1 x 100 3 x 100 1 x 60 1 x 100 1 x 55 1 x 100	815	6,4
2	Ilum. Serviço	127	Cozinha Lavanderia Hall	1 x 100 1 x 100 1 x 100	300	2,36
3	TUG's Socil	127	Dormitório1 Dormitório2 Estar/Jantar Banheiro Circulação	4 x 100 4 x 100 6 x 100 1 x 600 1 x 100	2100	16,5
4	TuG's e TUE's Serviço 1	127	Lavanderia Hall	2 x 600 1 x 600	1800	14,2
5	TuG's e TUE's Serviço 2	127	Cozinha	3 x 600 2 x 100 1 x 500	2500	19,7
6	TUE	220	Chuveiro	1 x 5600	5600	25,5
7	TUE	127	máquina de lavar	1 x 1000	1000	7,8

7.7 SISTEMAS DE PROTEÇÃO

As exigências de proteção para os circuitos segundo a ABNT NBR5410:2004 são as seguintes:

- Para tomadas de corrente situadas em ambientes molhados ou molháveis (cozinha, área de serviço, garagens, etc.) é necessário a proteção Diferencial Residual (disjuntor ou interruptor) de alta sensibilidade;

- Para tomadas de corrente situadas em áreas externas é necessário a proteção Diferencial Residual (disjuntor ou interruptor) de alta sensibilidade;
- Para tomadas de corrente que, mesmo situadas em áreas internas alimentem equipamentos de uso em áreas externas, é necessário a proteção Diferencial Residual (disjuntor ou interruptor) de alta sensibilidade;
- Para pontos situados em locais contendo banheira ou chuveiro é necessário a proteção Diferencial Residual (disjuntor ou interruptor) de alta sensibilidade;
- Para os demais circuitos não relacionados às exigências citadas faz-se a proteção por Disjuntores Termomagnéticos (DTM);
- Caso seja usado Interruptor Diferencial Residual (IDR) como proteção geral, não é necessário o uso do mesmo tipo de proteção em nenhum outro circuito, faz-se então a proteção apenas por DTM.

Para a residência em estudo foi adotada uma proteção geral por Interruptor Diferencial Residual (IDR) e a proteção dos demais sete circuitos por Disjuntores Termomagnéticos, como indicados no Quadro 19.

Quadro 19 - Circuito e descrição das proteções

Círculo		Tensão (V)	Local	Potência		Corrente (A)	nº de circuitos agrupados	Seção dos condutores (mm²)	Proteção		
nº	Tipo			Quantidade x Potência (VA)	Total (VA)				Tipos	nº de polos	Corrente nominal (A)
1	Illum. Social	127	Dormitório1 Dormitório2 Estar/Jantar Banheiro Circulação	1x100 1x100 3x100 1x60 1x100 1x55 1x100	815	6,4			DTM	1	10
2	Illum. Serviço	127	Cozinha Lavanderia Hall	1x100 1x100 1x100	300	2,36			DTM	1	10
3	TUG's Socil	127	Dormitório1 Dormitório2 Estar/Jantar Banheiro Circulação	4x100 4x100 6x100 1x600 1x100	2100	16,5			DTM	1	20
4	TuG's e TUE's Serviço	127	Lavanderia Hall	2x600 1x600	1800	14,2			DTM	1	20
5	TuG's e TUE's Serviço	127	Cozinha	3x600 2x100 1x500	2500	19,7			DTM	1	20
6	TUE	220	Chuveiro	1x5600	5600	25,5			DTM	2	30
7	TUE	127	máquina de lavar	1x1000	1000	7,8			DTM	1	10
Distribuição		220	Quadro Distribuição Quadro Medidor		9042	41,1			DTM + IDR	2 2	50

7.8 CÁLCULO DA CORRENTE DE DISTRIBUIÇÃO

7.8.1 Potência ativa de iluminação e de TUG's

O cálculo da potência ativa de iluminação e da potência ativa de TUG's é apresentado a seguir:

- Potência ativa de iluminação: $1115 \times 1 = 1115W$

- Potência ativa de TUG's: $5900 \times 0,8 = 4720\text{W}$
- Potência ativa de iluminação + TUG's = 5835W

O valor encontrado é multiplicado pelo fator de demanda de iluminação e TUG's compatível de acordo com o Quadro 20, obtendo-se:

$$5835 \times 0,45 = 2625,75\text{ W}$$

Quadro 20 - Fator de demanda

Fator de Demanda para iluminação e tomadas de uso geral (TUG's)	
Potência (W)	Fator de demanda
0 a 1000	0,86
1001 a 2000	0,75
2001 a 3000	0,66
3001 a 4000	0,59
4001 a 5000	0,52
5001 a 6000	0,45
6001 a 7000	0,4
7001 a 8000	0,35
8001 a 9000	0,31
9001 a 10000	0,27
Acima de 10000	0,24

7.8.2 Potência ativa de TUE's

Para o cálculo da potência ativa de tomadas de uso específico, multiplica-se o valor total de potência de TUE's pelo fator de demanda de TUE's compatível com o número de circuitos de TUE's previsto no projeto, segundo o Quadro 21. O resultado obtido foi:

$$7100 \times 0,84 = 5964\text{ W}$$

Quadro 21 - Fator de demanda para TUE's

Fator de Demanda para tomadas de uso específico (TUE's)	
nº de circuitos TUE's	Fator de demanda
1	1
2	1
3	0,84
4	0,76
5	0,7
6	0,65
7	0,6
8	0,57
9	0,54
10	0,52
11	0,49
12	0,48
13	0,46
14	0,45
15	0,44
16	0,43
17	0,4
18	0,4
19	0,4
20	0,4
21	0,39
22	0,39
23	0,39
24	0,38
25	0,38

7.8.3 Corrente de distribuição

Com os valores de potência ativa devidamente corrigidos pelos respectivos fatores de demanda, encontra-se a potência ativa total:

$$\text{Potência ativa total} = 2625,75 + 5964 = 8589,75\text{W}$$

Com a potência ativa total, encontra-se a potência do circuito de distribuição dividindo-a pelo fator 0,95.

$$\text{Potência do circuito de distribuição} = \frac{8589,75}{0,95} = 9041,84 \text{ W}$$

Com a potência do circuito de distribuição devidamente calculada, calcula-se a corrente do circuito de distribuição: pela fórmula Equação 29, onde U=220V.

$$P = U \times I$$

Equação 29 - Fórmula de potência

Sendo assim, obtém-se:

$$\text{Corrente do circuito de distribuição} = I = \frac{41,84}{220} = 41,10 \text{ A}$$

Quadro 22 - Divisão dos circuitos e Distribuição Geral

Círculo		Tensão (V)	Local	Potência		Corrente (A)
nº	Tipo			Quantidade x Potência (VA)	Total (VA)	
1	Ilum. Social	127	Dormitório1 Dormitório2 Estar/Jantar Banheiro Circulação	1x100 1x100 3x100 1x60 1x100 1x55 1x100	815	6,4
2	Ilum. Serviço	127	Cozinha Lavanderia Hall	1x100 1x100 1x100	300	2,36
3	TUG's Socil	127	Dormitório1 Dormitório2 Estar/Jantar Banheiro Circulação	4x100 4x100 6x100 1x600 1x100	2100	16,5
4	TuG's e TUE's Serviço 1	127	Lavanderia Hall	2x600 1x600	1800	14,2
5	TuG's e TUE's Serviço 2	127	Cozinha	3x600 2x100 1x500	2500	19,7
6	TUE	220	Chuveiro	1x5600	5600	25,5
7	TUE	127	máquina de lavar	1x1000	1000	7,8
Distribuição		220	Quadro Distribuição		9042	41,1
			Quadro Medidor			

7.9 DIMENSIONAMENTO DA FIAÇÃO E DOS DISJUNTORES DOS CIRCUITOS

O dimensionamento da proteção dos circuitos foi feito de acordo com a ABNT NBR5410:2004, onde diz que devem ser previstos disjuntores ou interruptores diferencial residual nos seguintes locais:

- Tomadas de corrente em cozinhas, copas-cozinhas, lavanderias, áreas de serviços, garagens e, no geral, a todo local interno molhado em uso normal o sujeito a lavagens;
- Tomadas de correntes em áreas externas;
- Tomadas de correntes em que, embora instaladas em áreas internas, possam alimentar equipamentos de uso em áreas externas;
- Pontos situados em locais contendo banheira ou chuveiro.

Para os circuitos não relacionados aos casos anteriormente citados, pode ser prevista uma proteção apenas por Disjuntores Termomagnéticos (DTM).

Entretanto, a mesma Norma diz que se optar por fazer a proteção geral por Disjuntor ou Interruptor Diferencial Residual, as proteções dos demais circuitos terminais poderão ser feitas apenas por DMT.

Para este trabalho foi escolhido o Interruptor Diferencial Residual para a proteção geral e o DTM para os demais circuitos terminais.

Para determinar a bitola dos fios utilizados por cada circuito e a amperagem de suas respectivas proteções é preciso conhecer a corrente que passará pelo mesmo e quantos circuitos passarão pelo eletroduto junto a ele. As correntes já foram anteriormente calculadas, e o número de circuitos por eletrodutos é possível identificar na planta elétrica no Apêndice A – Caderno de Projetos. Dessa forma, o Quadro 23 - Resumo dos circuitos resume as informações necessárias separadas para cada circuito da residência em estudo.

Quadro 23 - Resumo dos circuitos

Nº do Circuito	Tipo	Corrente (A)	Nº de circuitos agrupados
1	Illuminação	6,4	2
2	Illuminação	2,36	4
3	Força	16,5	2
4	Força	14,2	4
5	Força	19,7	4
6	Força	25,5	1
7	Força	7,8	4
Distribuição		41,1	1

Com estas informações e baseados no Quadro 24 e no Quadro 25, determina-se as bitolas dos condutores e os disjuntores mostrados no Quadro 26.

Quadro 24 - Seção dos condutores e corrente nominal

Seção dos Condutores (mm ²)	Corrente nominal do Disjuntor (A)			
	1 Circuito por eletroduto	2 Circuitos por eletroduto	3 Circuitos por eletroduto	4 Circuitos por eletroduto
1,5	15	10	10	10
2,5	20	15	15	15
4	30	25	20	20
6	40	30	25	25
10	50	40	40	35
16	70	60	50	40
25	100	70	70	60
35	125	100	70	70
50	150	100	100	90
70	150	150	125	125
95	225	150	150	150
120	250	200	150	150

Quadro 25 - Seção mínima dos condutores (NBR 5410)

Seção mínima de condutores	
Tipo de circuito	Seção mínima (mm ²)
Iluminação	1,5
Força	2,5

Quadro 26 - Disjuntores e seção dos condutores

Nº do Circuito	Tipo	Corrente (A)	Nº de circuitos agrupados	Corrente nominal do disjuntor - DTM (A)	Seção do condutor (mm ²)
1	Iluminação	6,4	2	10	1,5
2	Iluminação	2,36	4	10	1,5
3	Força	16,5	2	25	4
4	Força	14,2	4	15	2,5
5	Força	19,7	4	20	4
6	Força	25,5	1	30	4
7	Força	7,8	4	10	2,5
Distribuição		41,1	1	50	10

7.10 DIMENSIONAMENTO DOS ELETRODUTOS

Para o dimensionamento dos eletrodutos segundo a ABNT NBR5410:2004, é importante conhecer quantos condutores passam por ele e a seção do maior entre eles.

Analizando a planta elétrica no Apêndice A - Caderno de Projetos e o Quadro 26, com as seções dos condutores já determinadas, tem-se todas as informações necessárias para que, consultando o Quadro 27, possam ser extraídos os diâmetros adequados de cada eletroduto.

Quadro 27 - Diâmetro dos eletrodutos

Seção Nominal (mm ²)	Número de condutores no eletroduto									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	Tamanho nominal do eletroduto (mm)									
1,5	16	16	16	16	16	16	20	20	20	20
2,5	16	16	16	20	20	20	20	25	25	25
4	16	16	20	20	25	25	25	25	25	25
6	16	20	20	25	25	25	25	32	32	32
10	20	20	25	25	32	32	32	40	40	40
16	20	25	25	32	32	40	40	40	40	40
25	25	32	32	40	40	40	50	50	50	50
35	25	32	40	40	50	50	50	50	60	
50	32	40	40	50	50	60	60	60	75	
70	40	40	50	60	60	60	75	75	75	
95	40	50	60	60	75	75	75	85	85	
120	50	50	60	75	75	75	85	85	-	
150	50	60	75	75	85	85	-	-	-	
185	50	75	75	85	85	-	-	-	-	
240	60	75	85	-	-	-	-	-	-	

Fazendo esta análise, percebe-se um trecho crítico para o eletroduto que sai do quadro de distribuição e vai até a cozinha e área de serviço. Este eletroduto abriga um total de 9 condutores e a maior seção dentre estes é de 4 mm². Assim, consultando o Quadro 27, encontra-se um diâmetro de 25 mm para este eletroduto (Eletroduto 1).

Como todos os outros eletrodutos transportam um número menor de condutores, uma opção é manter como o padrão de todos os eletrodutos esse diâmetro de 25 mm que atenderia a todos.

Entretanto maiores diâmetros custam mais e pesam mais. Dessa forma será dimensionado um segundo trecho crítico, os que ligam o quadro de distribuição aos quartos, salas e banheiro. Este, por sua vez, carrega 5 condutores e a maior seção encontrada é de 4 mm². Consultando novamente o Quadro 27, encontra-se um diâmetro de 20 mm para este segundo eletroduto (Eletroduto 2).

Ainda há eletrodutos que transportarão apenas três condutores e que nenhum deles ultrapassará uma seção de 4 mm², podendo assim ter um diâmetro de 16 mm. Contudo, mesmo para estes serão utilizados os eletrodutos de 20 mm para que haja uma folga para futuras eventuais mudanças de circuitos.

7.11 CHICOTE ELÉTRICO

Após todas as verificações e dimensionamentos de forma semelhante a um projeto de uma casa tradicional, fez-se uso da tecnologia do Chicote elétrico.

O chicote elétrico é um sistema formado por trechos da instalação elétrica e composto por eletrodutos, fios e caixas elétricas, pré-montados e testados em fábrica.

Esse método, cada vez mais comum nas obras tradicionais, permite minimizar erros e agilizar a montagem das paredes, alinhando com o objetivo do trabalho.

Como as dimensões já são conhecidas de projeto, ao chegar na obra, os conduites são instalados no forro e se ligam nos conduites das paredes.

Como no projeto em questão as paredes são prontas desde a fábrica, foi feita uma adaptação, onde os pontos de energia e adaptadores já estão embutidos dentro dos módulos e a rede se liga no encontro do forro com as placas.

8 SISTEMA DE ESGOTO

Para o dimensionamento do esgoto da casa, foi utilizada a NBR 8160:1999, “Sistemas prediais de esgoto sanitário”.

Anteriormente ao dimensionamento, definiram-se os elementos do banheiro: Bacia com caixa acoplada Liberty Branco da Santa Marina (Figura 22) e Lavatório 395X295mm Izy Deca L.15.17 (Figura 23).

Figura 22 - Bacia sanitária



Figura 23 - Lavatório DECA



Os elementos sanitários presentes em cada cômodo podem ser vistos no Quadro 28.

Quadro 28 - Elementos sanitários

Cômodos	Elementos sanitários
Banheiro	Chuveiro
	Bacia
	Lavatório
	Ralo
Cozinha	Pia
Lavanderia	Tanque
	Máquina de lavar
	Ralo

O método utilizado para o dimensionamento do sistema será o das Unidades de Hunter de Contribuição (UHC). Foram utilizados o Quadro 29, o Quadro 30 e o Quadro 31, retirados da NBR 8160:1999.

Quadro 29 - Unidades de Hunter de contribuição dos aparelhos sanitários e diâmetro nominal mínimo dos ramais de descarga

Aparelho sanitário		Número de Unidades de Hunter de Contribuição	Diâmetro nominal mínimo do ramal de descarga DN
bacia sanitária		6	100 ⁽¹⁾
banheira de residência		2	40
bebedouro		0,5	40
bidê		1	40
chuveiro	de residência	2	40
	coletivo	4	40
lavatório	de residência	1	40
	de uso geral	2	40
mictório	válvula de descarga	6	75
	caixa de descarga	5	50
	descarga automática	2	40
	de calha	2 ⁽²⁾	50
pia de cozinha residencial		3	50
pia de cozinha industrial	preparação	3	50
	lavagem de panelas	4	50
tanque de lavar roupas		3	40
máquina de lavar louças		2	50 ⁽³⁾
máquina de lavar roupas		3	50 ⁽³⁾

Quadro 30 - Unidades de Hunter de Contribuição para aparelhos não relacionados na Tabela 1, para ramais de descarga

Diâmetro nominal mínimo do ramal de descarga DN	Número de unidades de Hunter de contribuição UHC
40	2
50	3
75	5
100	6

Quadro 31 - Dimensionamento dos ramais de esgoto

Diâmetro nominal do tubo DN	Número máximo de Unidades de Hunter de contribuição UHC
40	3
50	6
75	20
100	160

8.1 DIMENSIONAMENTO

8.1.1 Ramais de descarga

De acordo com a tabela 3, têm-se os seguintes diâmetros nominais adotados para os ramais de descarga:

- RD1 (banheiro): Chuveiro: 2 UHC → DN 40 mm;
- RD2 (banheiro): Lavatório: 1 UHC → DN 40 mm;
- RD3 (banheiro): Bacia sanitária: 6 UHC → DN 100 mm;
- RD4 (banheiro e lavanderia): Ralo: 1 UHC → DN 40 mm;
- RD5 (cozinha): Pia: 3 UHC → DN 50 mm;
- RD6 (lavanderia): Máquina de lavar roupa: 3 UHC → 50 mm;
- RD7 (lavanderia): Tanque: 3 UHC → 40 mm.

Para todos os ramais, foi adotada inclinação de 2%.

8.1.2 Ramais de esgoto

- RE1 (banheiro): recebe efluentes do chuveiro, lavatório e ralo, com 4 UHC → DN 50 mm, de acordo com a tabela 4, porém foi adotado DN 50 mm, que é o mínimo da caixa sifonada.
- RE2 (banheiro): recebe efluentes de RE1 e bacia sanitária, com 9 UHC → DN 75 mm de acordo com a tabela 4, porém foi adotado DN 100 mm, que é o mínimo da bacia sanitária.
- RE3 (lavanderia): recebe efluentes do tanque, máquina de lavar roupa e ralo, com 7 UHC → DN 75 mm.

8.2 DISTRIBUIÇÃO DOS RAMAIS

A distribuição das redes de esgoto pode ser observada no Apêndice A - Caderno de Projetos. Foi estabelecido um posicionamento de forma a minimizar o uso de materiais e estabelecendo como premissa a passagem da rede pelo perímetro externo da casa.

8.3 KIT HIDRÁULICO

Como em todas as especialidades, procurou-se para o esgoto uma tecnologia que se adequasse ao objetivo do trabalho de tornar a construção industrializável. Para esse fim, utilizou-se o Kit Hidráulico.

Segundo a revista Construção Mercado, os kits podem ser classificados em três graus de interação, de acordo com a industrialização neles contida.

No primeiro, as tubulações são pré-cortadas e embaladas, diferenciando dos kits de grau 2, onde os componentes já são pré-montados.

Para o projeto em questão, será utilizado os kits de grau de interação 3, que são entregues na obra totalmente prontos e pré-testados, contendo todos os metais e louças sanitárias, restando apenas o tratamento das juntas entre as paredes e o shaft, abordado no capítulo de Vedações.

9 SISTEMA DE ÁGUA

Para o projeto em questão, foi escolhido um sistema indireto de fornecimento de água fria, o qual se caracteriza por possuir um conjunto de reservação de água.

A escolha de tal sistema se deu pela imprevisibilidade e falta confiabilidade do sistema público de abastecimento de água fria no Brasil.

Para se adequar as características do projeto industrializável, utilizou-se uma tubulação de PEX, que além da fácil instalação, tem ganhos relativos a produtividade e a manutenção.

9.1 VOLUME DE ÁGUA CONSUMIDO

Admitindo-se que se trata de uma residência popular, pelo Quadro 32, o consumo “per capita” adotado será de 120 l/dia. Admitindo-se que cada casa terá quatro habitantes, temos o consumo pela Equação 30.

Quadro 32 - Consumo "per capita" diário de água

Edifício	Consumo (l/dia)
alojamento provisório	80 "per capita"
apartamento	200 "per capita"
asilo, orfanato	150 "per capita"
cinema e teatro	2 por lugar
ed. público, com.l ou c/escrit.	50 "per capita"
escola - externato	50 "per capita"
escola - internato	150 "per capita"
escola - semi-internato	100 "per capita"
garagem	50 por automóvel
hospital	250 por leito
hotel (s/ coz. e s/ lav.)	120 por hóspede
jardim	1,5 por m ² de área
lavanderia	30 por kg de roupa seca
mercado	5 por m ² de área
quartel	150 "per capita"
residência popular ou rural	120 "per capita"
residência	150 "per capita"
restaurante e similares	25 por refeição

Equação 30- Consumo diário da residência

$$Cd = C \times P = 120 \times 4 = 480 \text{ l/dia}$$

Onde:

- Cd é o consumo diário total (l/dia);
- C é o consumo diário "per capita" (l/dia);
- P é a população da casa (pessoas).

9.2 CAIXA D'ÁGUA

A norma NBR 5626 estabelece que o reservatório deve conter volume suficiente para abastecer a residência durante um dia. Portanto, considerando o consumo diário calculado pela fórmula 1, será necessária uma caixa d'água de 500 litros para a residência.

9.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE ÁGUA FRIA

Para o dimensionamento do sistema de água fria da residência, será utilizada a tabela 1, que mostra uma estimativa do consumo “per capita” diário.

Para dimensionar os ramais de alimentação da residência, será usado o método probabilístico, que leva em conta os pesos relativos e a probabilidade de os equipamentos estarem funcionando simultaneamente. Através da Equação 31, pode-se calcular as vazões dos ramais da residência.

Equação 31 - Vazão do ramal de alimentação

$$Q = 0,3 \times \sqrt{\sum ni \times Pi}$$

Onde:

- 0,3 l/s é a vazão máxima na tubulação, limitada pela norma NBR 5626/98, devido ao ruído que pode causar, além da possibilidade de corrosão e pelo controle do golpe de aríete;
- Ni é o número de elementos “i”;
- Pi é o peso relativo do elemento “i”, de acordo com o Quadro 33.

A Quadro 33 mostra os pesos atribuídos aos pontos de utilização, de acordo com a NBR 5626/98.

Quadro 33 - Pesos atribuídos aos pontos de utilização

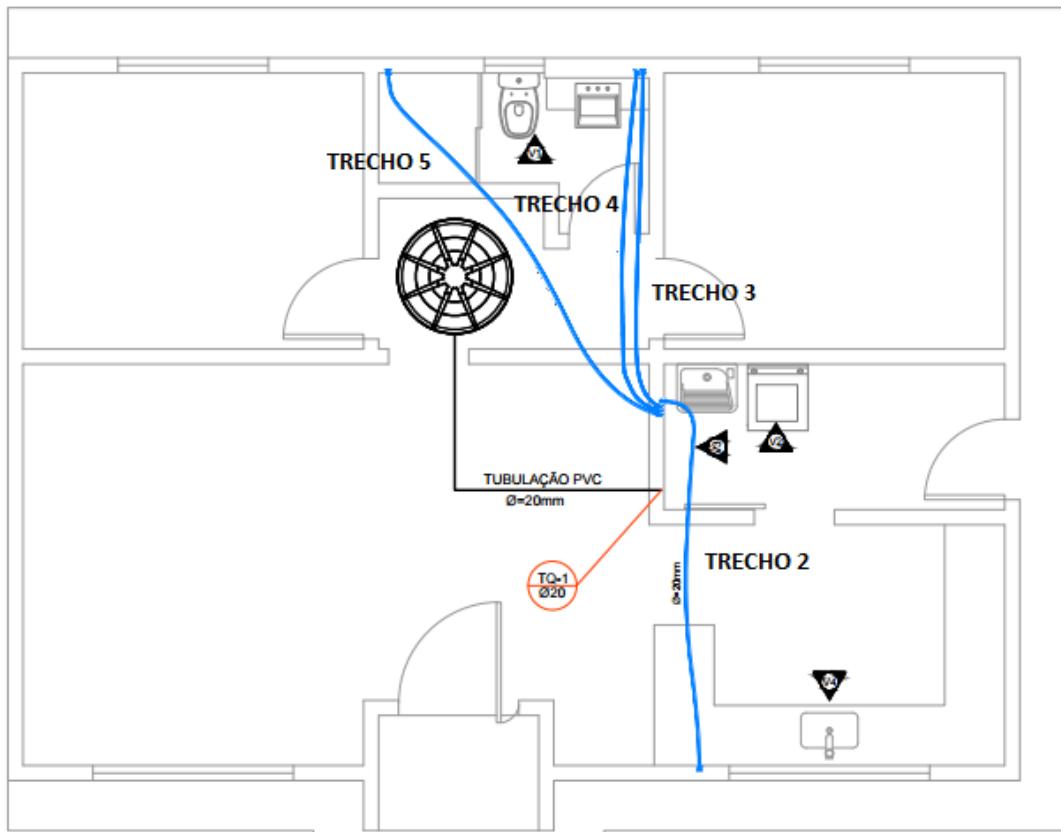
Aparelho Sanitário	Peça de utilização	Peso relativo
Bacia sanitária	Caixa de descarga	0,3
	Válvula de descarga	32
Banheira	Misturador (água fria)	1,0
Bebedouro	Registro de pressão	0,1
Bidê	Misturador (água fria)	0,1
Chuveiro ou ducha	Misturador (água fria)	0,4
Chuveiro elétrico	Registro de pressão	0,1
Lavadora de pratos ou de roupas	Registro de Pressão	1,0
Lavatório	Torneira ou misturador (água fria)	0,3
Mictório	Válvula de descarga	2,8
Cerâmico		0,3
Mictório tipo calha	Caixa de descarga ou reg.de pressão	0,3
Pia	Torneira ou misturador (água fria)	0,7
	Torneira elétrica	0,1
Tanque	Torneira	0,7
Torn. jardim ou de lav. em geral	Torneira	0,4

No projeto em questão, foi considerada uma tubulação que sai da caixa d'água e chega ao manifold e mais seis trechos que ligam o manifold aos pontos de utilização. Na Figura 24, mostra-se a disposição dos trechos de tubulação, sendo:

- Trecho 1: tubulação ascendente, da caixa d'água ao Manifold;
- Trecho 2: tubulação do manifold à cozinha;
- Trecho 3: tubulação do manifold à pia do banheiro;
- Trecho 4: tubulação do manifold à bacia sanitária;
- Trecho 5: tubulação do manifold ao chuveiro;
- Trecho 6: tubulação do manifold ao tanque
- Trecho 7: tubulação do manifold à máquina de lavar.

Do trecho 2 ao trecho 7, utilizou-se a Equação 31 para se determinar suas vazões, enquanto que para a vazão do trecho 1, somou-se a vazão de todos outros trechos.

Figura 24 - Ramais de água fria



Tendo a vazão, será usada a velocidade máxima permitida pela norma NBR 5626 (3m/s) para determinar o diâmetro mínimo necessário para suportá-la. Para tal, foi utilizada a Equação 32 para se calcular os diâmetros dos trechos.

Equação 32 - Cálculo do diâmetro

$$D_{\min} = \sqrt{4 * Q / (\pi * V)}$$

Onde:

- Q é a vazão calculada anteriormente, em m³ / s;
- V é a velocidade máxima permitida, em 3 m/s;
- Dmin é o diâmetro mínimo do ramal de alimentação da residência.

O Quadro 34 mostra o cálculo da vazão e do diâmetro mínimo dos trechos de tubulação.

Quadro 34 - Cálculo do diâmetro mínimo

TRECHO	EQUIPAMENTOS	VAZÃO (l/s)	Diâmetro mínimo (mm)
2	Pia	0,250998008	10,32118516
3	Lavatório	0,164316767	8,350940185
4	Bacia Sanitária	0,164316767	8,350940185
5	Chuveiro	0,09486833	6,345342361
6	Tanque	0,250998008	10,32118516
7	Máquina de lavar	0,3	11,28379167
1	-	1,22549788	22,80608371

O Quadro 35 mostra as características dimensionais dos tubos de PEX soldável. A partir dos valores calculados na Quadro 35, será adotado o diâmetro externo de 16 mm para os trechos de 2 a 7 e o diâmetro externo de 32 para o trecho 1.

Quadro 35 - relação entre diâmetros interno e nominal para o PEX

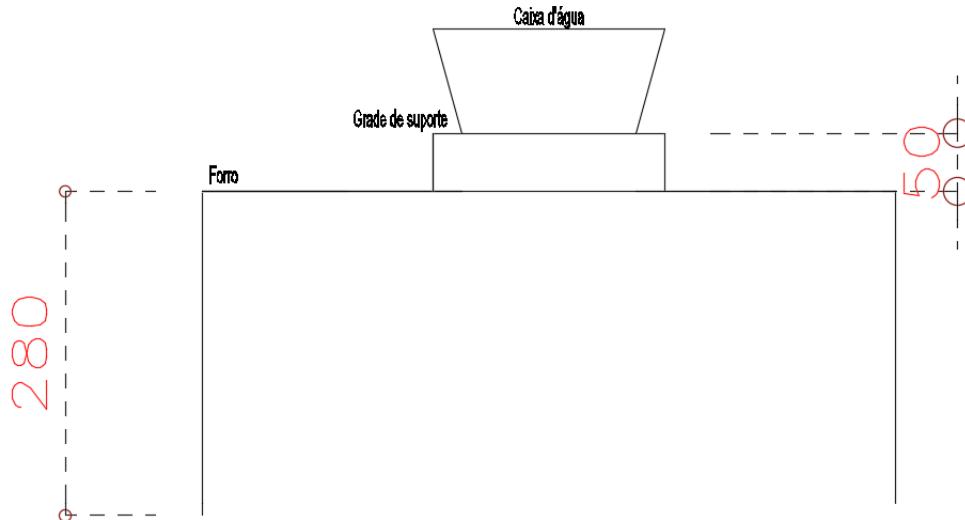
PEX		Soldável		PPR		Aquatherm®		Roscável	
De	DI	De	DI	De	DI	De	DI	De	DI
16	12,4			20	14,4	15	11,8	1/2"	12,7
20	16,2	20	17	25	18	22	18	3/4"	19,05
25	20,4	25	21,6	32	23,2	28	23		
32	26,2	32	27,8	40	28,8	35	28,6	1"	25,4

9.4 PRESSÃO ESTÁTICA MÁXIMA

A pressão estática máxima é a máxima pressão da rede de distribuição com todos os pontos de vazão fechados. Portanto, para determiná-la, deve-se encontrar a diferença de cotas entre o nível d'água mais alto e o ponto mais baixo da rede.

Para que se obter a pressão necessária para o abastecimento da casa optou-se por colocar a caixa d'água a 0,5 metros do forro, conforme Figura 25.

Figura 25 - Corte longitudinal da casa



.Portanto, caixa d'água está a 3,3 metros do solo e o ponto mais baixo da rede será na bacia sanitária, com cota de 0,60 metro. Considerando um nível de água na caixa de 0,6 metros, foi utilizada a Equação 33 para obter a pressão estática máxima de 3,3 metros.

Equação 33 - Pressão Estática Máxima

$$\text{Pressão máxima} = H + Ha - Hb = 3,3 + 0,6 - 0,6 = 3,3 \text{ m}$$

Sendo:

- H é a cota da caixa d'água;
- Ha é o nível de água na caixa d'água;
- Hb é o nível da bacia sanitária.

Segundo a NBR 5626, este valor é aceitável por ser menor que 40 metros.

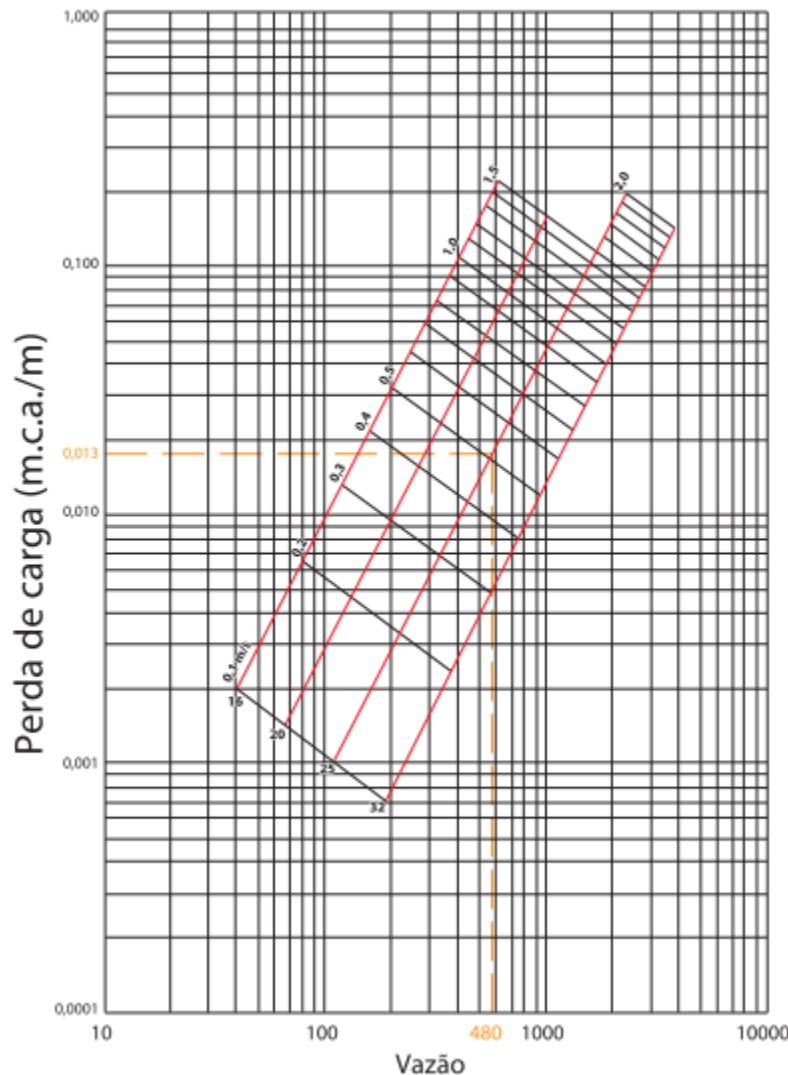
9.5 PRESSÃO DINÂMICA MÍNIMA

É necessário verificar se a pressão nos pontos críticos da residência é suficiente.

Para tal, serão verificados dois pontos: o chuveiro (Chuveiro Eletrônico Pressurizado de Parede 5500W 127V (110V) Temperatura Gradual Optima Hydra) que, de acordo com o manual, deve operar com pressão mínima de 0,3 m e a cozinha (trecho 2), que é o ponto mais distante da caixa d'água.

A perda de carga distribuída foi calculada utilizando a Figura 26, que foi obtida do manual de tubulação PEX da Tigre.

Figura 26 - Perda de carga distribuída



Primeiramente, calcula-se a perda de cálculo no trecho 1, que é anterior tanto ao trecho 2, quanto ao trecho 5. Com a vazão de 4411 l/h (1,22 l/s) e diâmetro de 32 mm, utiliza-se a Figura 26 e obtém-se perda de carga de 0,15 m.c.a/m.

Para o trecho 5, que leva água ao chuveiro, tem-se a vazão de 342 l/hora (0,094 l/s), com diâmetro nominal de 16 mm. Utilizando a Figura 26, obtém-se uma perda de carga de 0,08 m.c.a/m.

Já para a cozinha (trecho 2), tem-se o mesmo diâmetro, porém com uma vazão de 903 l/h (0,26 l/s). Utilizando a Figura 26, obtém-se uma perda de carga de 0,4 m.c.a/m.

Além disso, o Quadro 36 e Quadro 37 foram utilizados para a obtenção dos comprimentos equivalentes das singularidades no cálculo das perdas localizadas.

Quadro 36 - Cálculo das perdas

Trecho	Vazão (l/s)	Diâmetro nominal (mm)	Diâmetro interno (mm)
Trecho 1	1,22	32	16,2
Trecho 5	0,09	16	12,4
Trecho 2	0,25	16	12,4

Quadro 37 - Cálculo das perdas

Trecho	L real (m)	L virtual(m)	L equiv. (m)	j (m/m)	ΔH (m)	Pressão final (mca)
Trecho 1	2,7	0	2,7	0,15	0,41	2,3
Trecho 5	3,97	0,6	4,57	0,08	0,77	0,33
Trecho 2	6,1	0	6,1	0,4	2,85	-0,54

Portanto, no chuveiro, a pressão verificada (0,33 mca) é maior do que a especificada no manual do equipamento (0,3mca). Porém na cozinha, a pressão verificada é menor do que 1 mca, que é o valor recomendado pela norma. Portanto, o diâmetro do trecho 2 será alterado para o diâmetro nominal de 20 mm.

Utilizando-se novamente a Figura 26, porém com o novo diâmetro, obtém-se uma perda de carga de 0,13 m.c.a/m. Portanto, os novos valores do trecho 2 são mostrados no Quadro 38 e no Quadro 39.

Quadro 38 - Cálculo do diâmetro do trecho 2

Trecho	Vazão (l/s)	Diâmetro nominal (mm)	Diâmetro interno (mm)
Trecho 2	0,25	16	12,4

Quadro 39 - Cálculo do diâmetro do trecho 2

Trecho	L real (m)	L virtual(m)	L equiv.	j (m/m)	ΔH (m)	Pressão final (mca)
Trecho 2	6,1	0	6,1	0,13	1,2	1,1

Com o novo diâmetro, o trecho 2 respeita a norma. Portanto, os diâmetros finais de cada trecho são mostrados na Quadro 40.

Quadro 40 - Diâmetro dos trechos

Trecho	EQUIPAMENTOS	Diâmetro nominal (mm)
2	Pia	20
3	Lavatório	16
4	Bacia Sanitária	16
5	Chuveiro	16
6	Tanque	16
7	Máquina de lavar	16
1	-	32

O detalhamento do sistema predial de água fria encontra-se no Apêndice A – Caderno de Projetos.

10 VEDAÇÃO

Nos processos de vedação vertical e horizontal mais comuns na construção em steel frame é feito, após a colocação dos estribos e perfis, o plaqueamento, onde são fixadas cada placa de acordo com sua função e posicionamento em camadas.

Para este estudo, com finalidade de industrializar e consequentemente agilizar este processo, serão propostos módulos de montagem, já com perfis metálicos e parte das placas de vedação acoplados para que, na obra, sejam apenas encaixados e fixados uns aos outros seguidos de acabamento.

A empresa Tecverde desenvolveu recentemente (início em 2009) construções industrializadas com este formato, mas, com tecnologia Wood Frame, e vem realizando suas obras até o presente momento com êxito.

Para este trabalho, foram utilizadas como referência as informações contidas no DATec 020 da Tecverde pela sua semelhança quanto ao processo de fabricação e montagem. Entretanto por se tratarem de perfis de madeira e não de aço, também foi levado em conta como referência outro DATec, o 030 da LP Brasil, e o SINAT 003 que tratam da construção em Steel Frame e seus fechamentos e componentes de vedação vertical e horizontal.

10.1 MÓDULOS VERTICais (VEDAÇÃO VERTICAL)

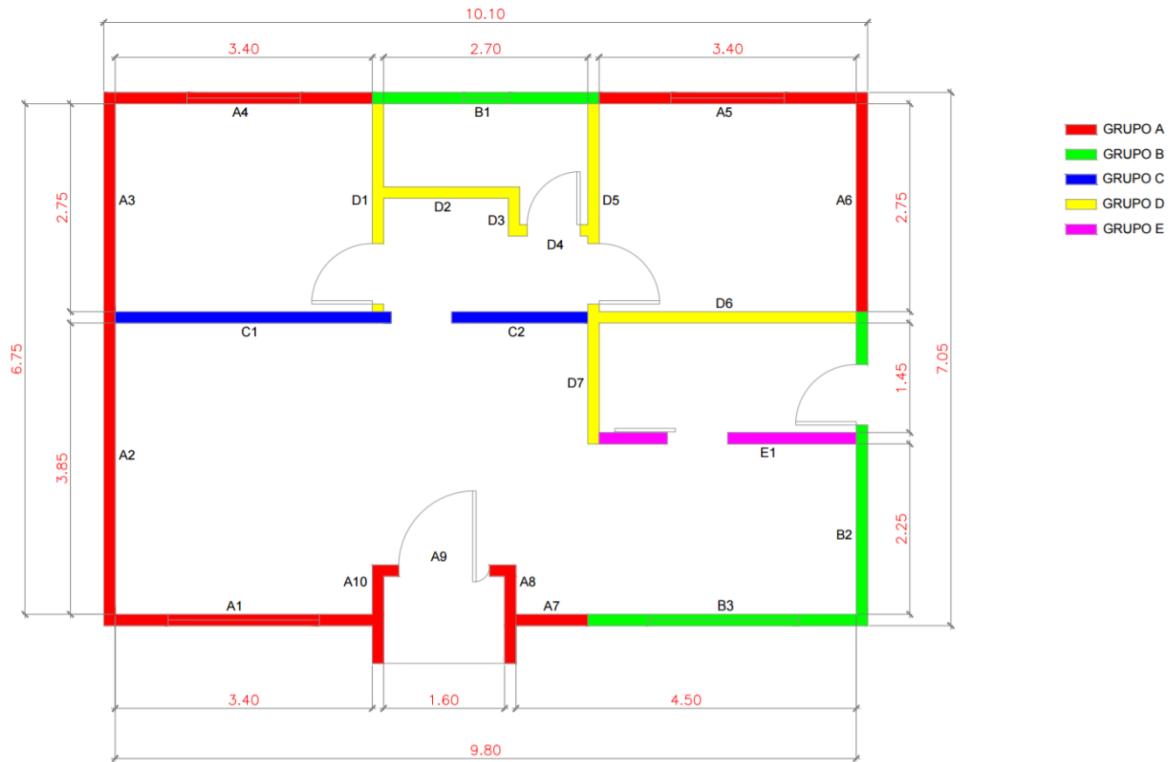
Os módulos verticais serão divididos em cinco grupos:

- Grupo A - Vedação externa-interna seca. Esse grupo reúne os módulos que dividem área externa de área interna seca.
- Grupo B - Vedação externa-interna molhada. Esse grupo reúne os módulos que dividem área externa de área interna molhada ou molhável.
- Grupo C - Vedação interna seca-interna seca. Esse grupo reúne os módulos que dividem áreas internas secas.

- Grupo D - Vedação interna seca-interna molhada. Esse grupo reúne os módulos que dividem área interna seca de área interna molhada ou molhável.
- Grupo E - Vedação interna molhada-interna molhada. Esse grupo reúne os módulos que dividem áreas internas molhadas e molháveis.

Os grupos caracterizam basicamente os componentes e materiais a partir dos quais os módulos são fabricados. Entretanto, cada módulo tem dimensões e particularidades como vão de esquadrias ou posicionamento de caixas de luz específicas de cada um. A disposição dos módulos de cada grupo está representada na Figura 27.

Figura 27 - Representação em planta da disposição dos módulos de cada grupo



10.1.1 Grupo A - Vedação externa-interna seca

Os módulos deste grupo serão formados por:

- Perfis metálicos Ue de 90 mm como parte da estrutura;
- Lã de vidro para isolamento térmico e acústico preenchendo o espaço entre as placas de OSB e os perfis metálicos;
- Manta asfáltica de 3,0mm de espessura;

Parte interna seca:

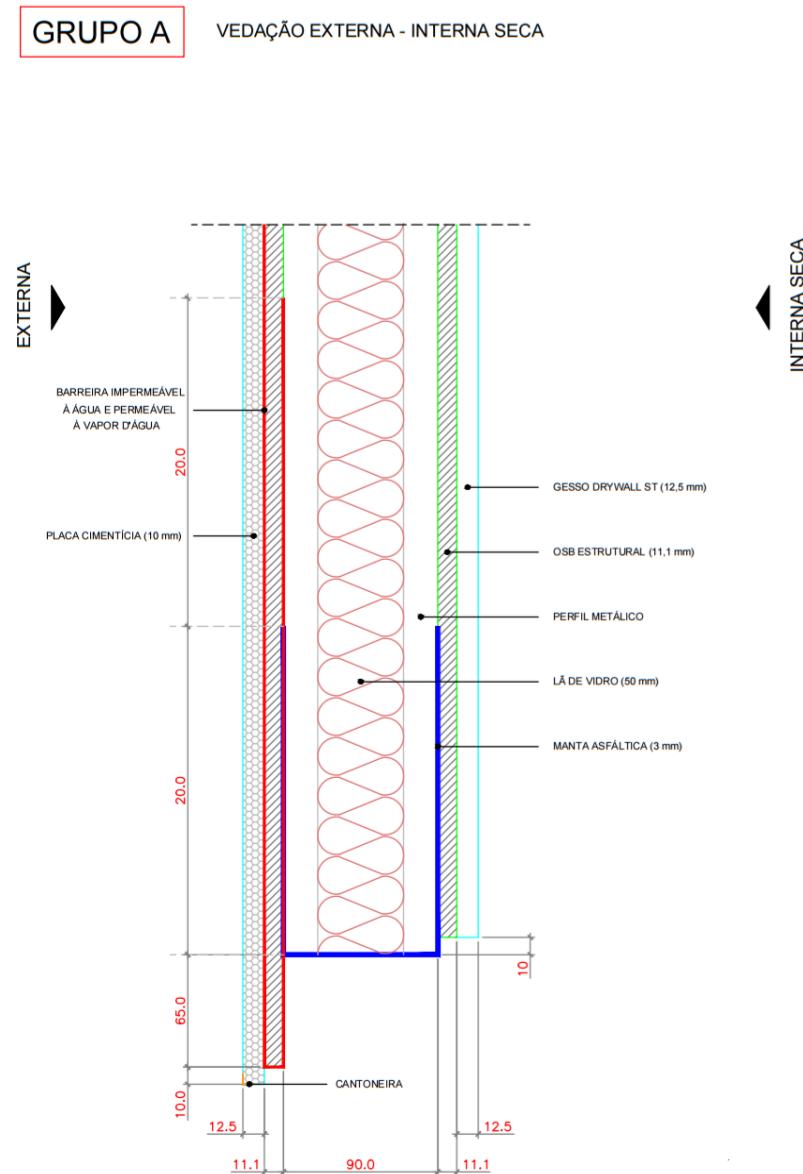
- Chapas de OSB com função estrutural - 11,1mm de espessura;
- Chapa de gesso ST para drywall - 12,5mm de espessura;

Parte externa:

- Chapas de OSB com função estrutural - 11,1mm de espessura;
- Barreira impermeável a água e permeável ao vapor d'água;
- Placa cimentícia de 10mm de espessura.

Todos estes elementos estarão unidos como um módulo do grupo A vindos prontos de fábrica como mostra a Figura 28.

Figura 28 - Grupo A



Os elementos de montagem e finalização do acabamento de todas as paredes serão detalhados no ítem 10.3 Interface entre paredes e piso, deste mesmo capítulo.

10.1.2 Grupo B - Vedaçao externa-interna molhada

Os módulos deste grupo serão formados por:

- Perfis metálicos Ue de 90 mm como parte da estrutura;
- Lã de vidro para isolamento térmico e acústico preenchendo o espaço entre as placas de OSB e os perfis metálicos;
- Manta asfáltica de 3mm de espessura na proteção da base do perfil.

Parte interna molhada:

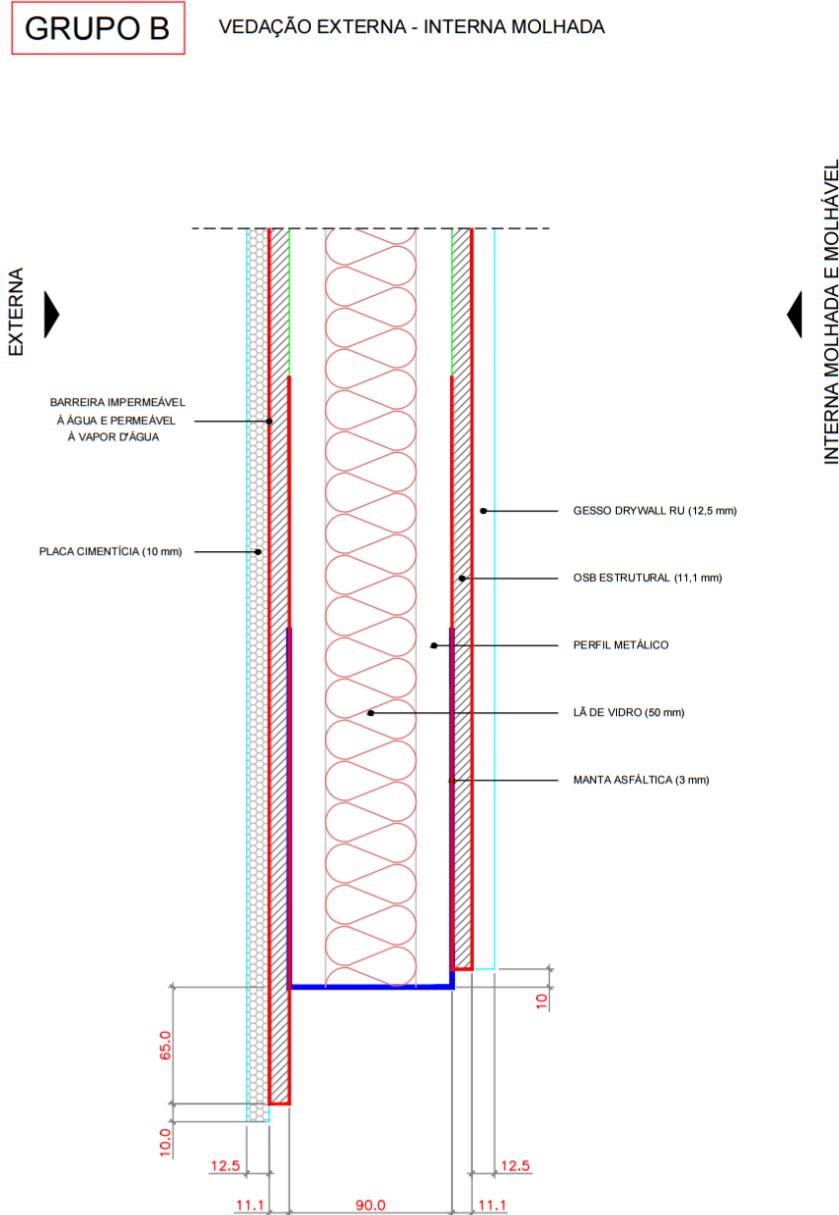
- Chapas de OSB com função estrutural - 11,1mm de espessura;
- Barreira impermeável a água e permeável ao vapor d'água;
- Chapa de gesso RU para drywall - 12,5mm de espessura;

Parte externa:

- Chapas de OSB com função estrutural - 11,1mm de espessura;
- Barreira impermeável a água e permeável ao vapor d'água;
- Placa cimentícia de 10mm de espessura.

Todos estes elementos citados formam um módulo do grupo B que chegam a obra como mostrado na Figura 29.

Figura 29 - Grupo B



10.1.3 Grupo C - Vedaçāo interna seca-interna seca

Os módulos deste grupo serão formados por:

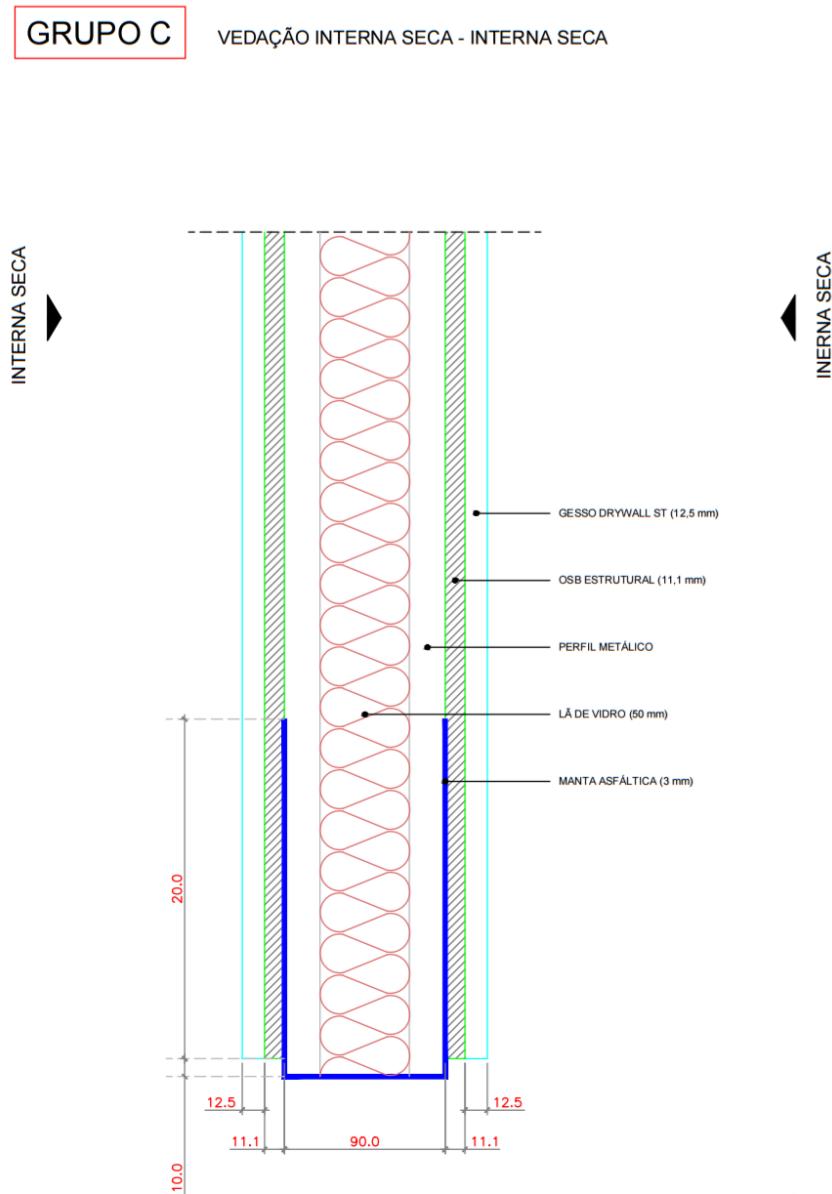
- Perfis metálicos Ue de 90 mm como parte da estrutura;
- Lã de vidro para isolamento térmico e acústico preenchendo o espaço entre as placas de OSB e os perfis metálicos;

Parte interna seca - Ambas as faces:

- Chapas de OSB com função estrutural - 11,1mm de espessura;
- Chapa de gesso ST para drywall - 12,5mm de espessura;

Todos estes elementos citados formam um módulo do grupo C que chegam à obra como mostrado na Figura 30.

Figura 30 - Grupo C



10.1.4 Grupo D - Vedaçāo interna seca-interna molhada

Os módulos deste grupo serão formados por:

- Perfis metálicos Ue de 90 mm como parte da estrutura;
- Lã de vidro para isolamento térmico e acústico preenchendo o espaço entre as placas de OSB e os perfis metálicos;

- Manta asfáltica de 3mm de espessura na proteção da base do perfil.

Parte interna molhada:

- Chapas de OSB com função estrutural - 11,1mm de espessura;
- Barreira impermeável a água e permeável ao vapor d'água;
- Chapa de gesso RU para drywall - 12,5mm de espessura;

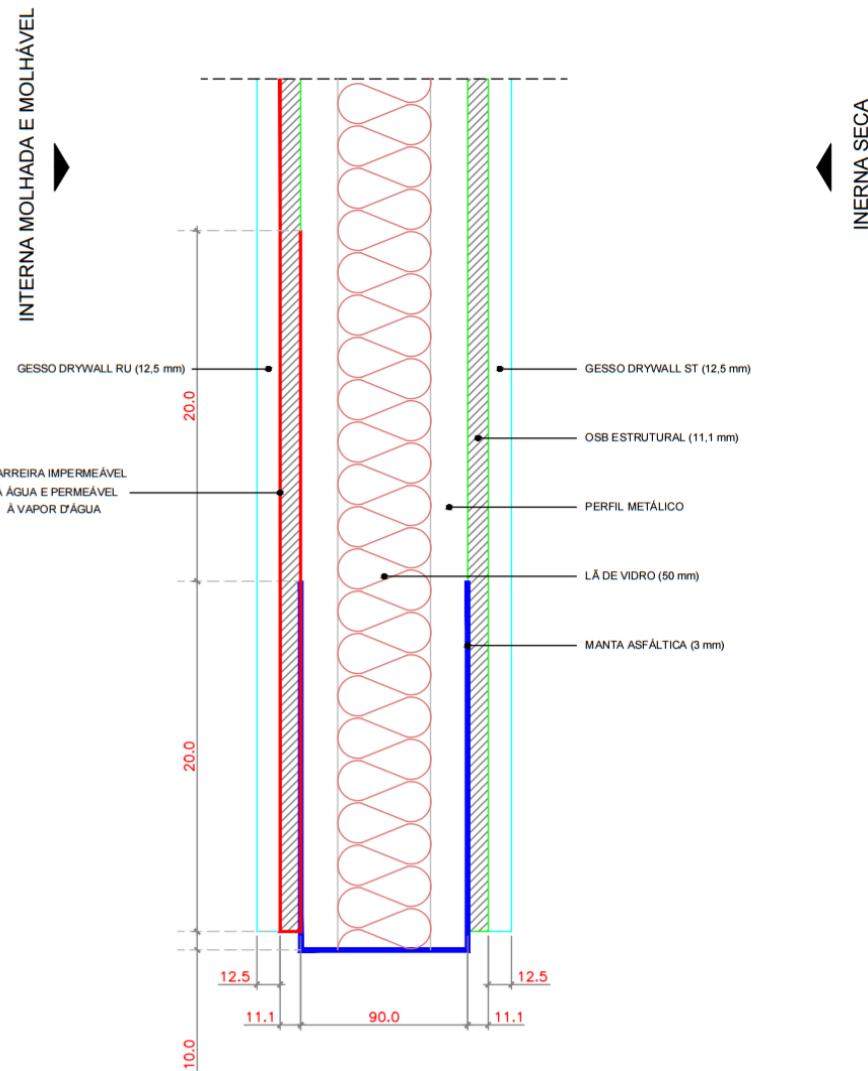
Parte interna seca:

- Chapas de OSB com função estrutural - 11,1mm de espessura;
- Chapa de gesso ST para drywall - 12,5mm de espessura.

Todos estes elementos citados formam um módulo do grupo D que chegam à obra como mostrado na Figura 31.

Figura 31 - Grupo D

GRUPO D VEDAÇÃO INTERNA SECA - INTERNA MOLHADA



10.1.5 Grupo E - Vedação interna molhada-interna molhada

Os módulos deste grupo serão formados por:

- Perfis metálicos Ue de 90 mm como parte da estrutura;

- Lã de vidro para isolamento térmico e acústico preenchendo o espaço entre as placas de OSB e os perfis metálicos;
- Manta asfáltica de 3mm de espessura na proteção da base do perfil.

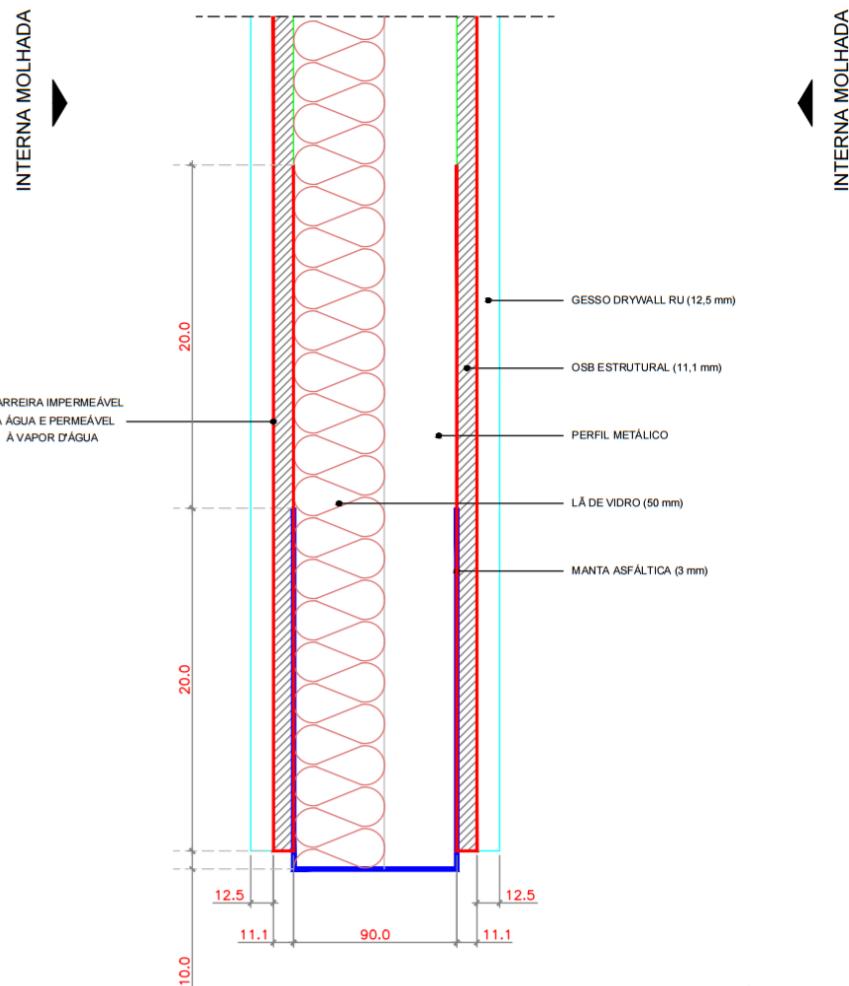
Parte interna molhada - ambas as faces:

- Chapas de OSB com função estrutural - 11,1mm de espessura;
- Barreira impermeável a água e permeável ao vapor d'água;
- Chapa de gesso RU para drywall - 12,5mm de espessura.

Todos estes elementos citados formam um módulo do grupo D que chegam à obra como mostrado na Figura 32.

Figura 32 - Grupo E

GRUPO E
VEDAÇÃO INTERNA MOLHADA - INTERNA MOLHADA



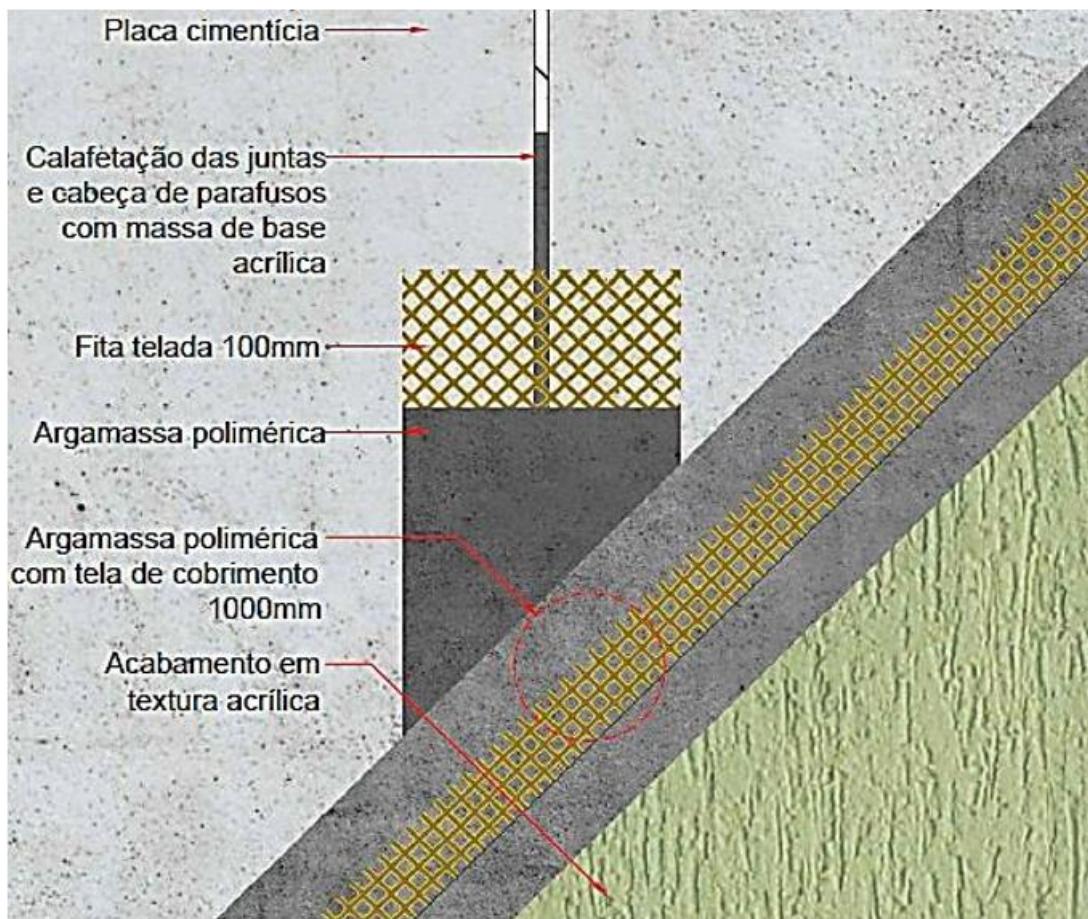
10.2 TRATAMENTO DE JUNTAS

10.2.1 Juntas entre placas cimentícias

O tratamento de juntas de placas cimentícias é feito pela aplicação de massa de base acrílica nas juntas, de modo a preenchê-las, seguida da aplicação de fita telada de fibra de vidro ácalirresistente, com largura de 100mm. Sobre as placas cimentícias e juntas é aplicada uma primeira camada de argamassa polimérica e, na sequência,

aplica-se tela de fibra de vidro álcaliresistente com largura de 1000mm. Em seguida é aplicada uma segunda demão da mesma massa polimérica finalizando o cobrimento total da tela.

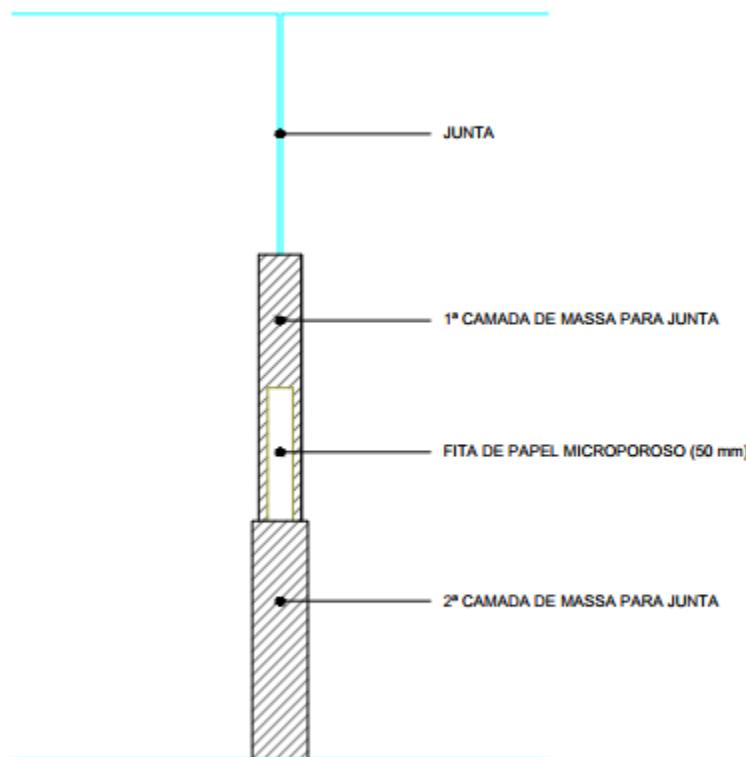
Figura 33 - Juntas das placas cimentícias



10.2.2 Juntas entre placas de gesso para drywall

O tratamento de juntas entre placas de gesso para drywall é feito pela aplicação de massa para juntas e em seguida a aplicação de fita de papel microporoso de 50mm e posteriormente à secagem desta etapa, aplica-se mais uma camada de massa para juntas Figura 34.

Figura 34 - Drywall - Tratamento das juntas



10.2.3 Interface entre a base dos módulos e elemento de fundação

A base dos módulos das paredes são posicionadas sobre sóculo (de 55mm de altura e 100 mm de largura) e são fixadas com o auxílio de cantoneiras metálicas de 120mm de altura e 40mm de largura revestidas com pintura epoxi (Figura 35).

As cantoneiras são fixadas ao montante, na sua parte inferior, sobre a chapa de OSB estrutural por quatro pregos anelados e ao elemento de fundação por chumbadores do tipo aparafulsável com cabeça escareada (diâmetro de 7,5mm; comprimento de 100mm). O espaçamento entre as cantoneiras é de 1200mm.

Figura 35 - Base dos módulos

INTERFACE ENTRE BASE DOS MÓDULOS E ELEMENTO DE FUNDAÇÃO

The diagram illustrates the cross-section of the base interface between modular units and foundation elements. The vertical height of the wall section is indicated as 150.0 mm. Key components labeled include:

- PILA CIMENTÍCIA (10 mm)
- GESSO DRYWALL
- OSB ESTRUTURAL
- PERFIL METÁLICO
- LÂ DE VIDRO (50 mm)
- MANTA ASFÁLTICA (3 mm)
- PREGO ANELADO
- SÓCULO
- CANTONEIRA METÁLICA
- CHUMBADOR METÁLICO
- FUNDAÇÃO
- IMPERMEABILIZAÇÃO COM ARGAMASSA POLIMÉRICA

Dimensions shown in red indicate specific thicknesses: 65.0 mm, 55.0 mm, 10 mm, and 150.0 mm.

10.3 INTERFACE ENTRE PAREDES E PISO

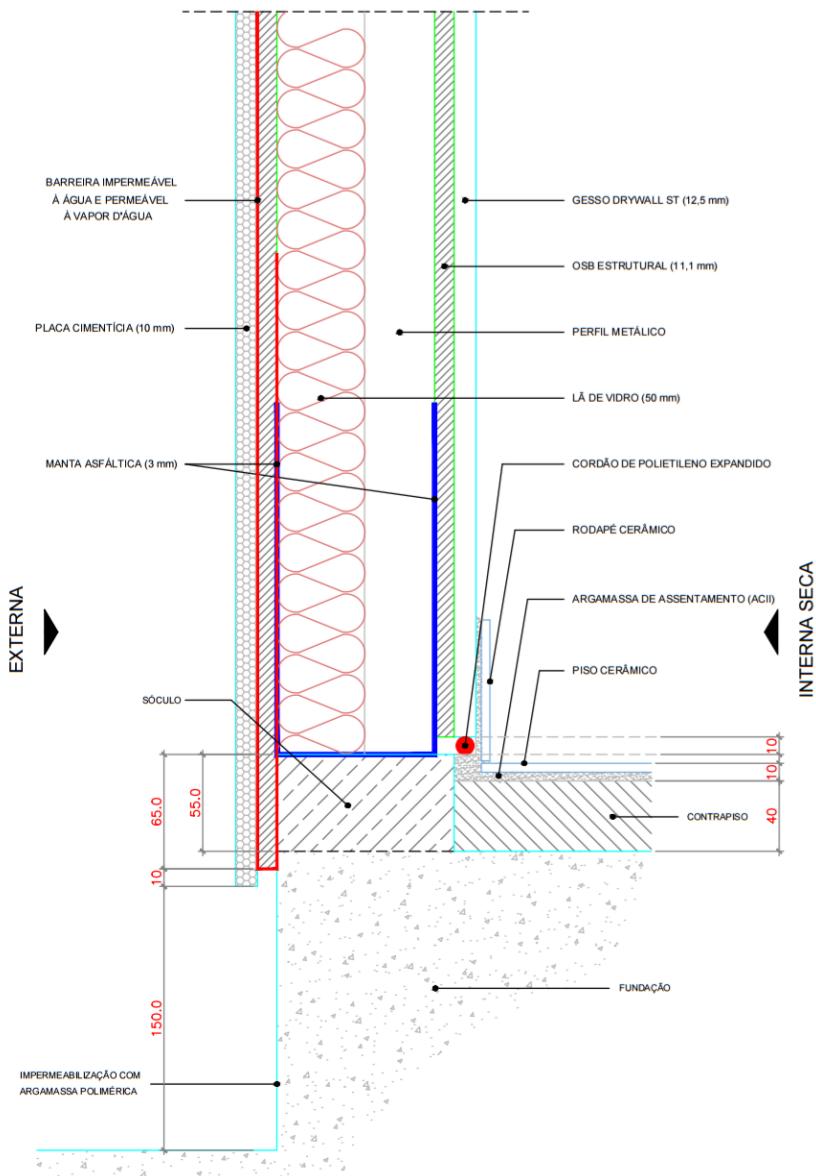
10.3.1 Área externa e interna seca

O sóculo é revestido por uma argamassa polimérica para impermeabilização. O módulo A é posicionado e fixado de acordo com o processo de montagem. O contrapiso (área seca) é feito até uma altura de 40mm a partir da fundação.

Alinhado à face do drywall ST é feito um preenchimento com argamassa, do contrapiso até a borda superior do sóculo (15mm de altura), de forma a sobrar um vão de 10mm até a borda inferior do gesso drywall que será preenchido por um cordão de polietileno expandido (Figura 36). Acima do contrapiso é feito o assentamento do piso e rodapé cerâmicos com argamassa de assentamento ACII. O rodapé deve ter uma altura de 70mm a partir do piso. O desnível entre a base da placa cimentícia e a calçada deve ser de 150mm.

Figura 36 - Interface parede e piso

DETALHAMENTO INTERFACE ENTRE PAREDE E PISO (EXTERNO - INTERNO SECO)



10.3.2 Área externa e área interna molhada e molhável

Sobre o sóculo, é feita uma impermeabilização com argamassa polimérica. O contrapiso da área do box é feito até uma altura de 20mm e o contrapiso da demais áreas molhadas (banheiro, cozinha e área de serviço) é feito até uma altura de 30mm de forma que o desnível entre áreas secas e áreas molhadas seja de 10mm e entre áreas molhadas e o box também de 10mm.

Alinhado à face do drywall RU, é feito o preenchimento com argamassa, do contrapiso até a borda superior do sóculo (35mm de altura para o box e 25mm para áreas molhadas), de forma a sobrar um vão de 10mm até a borda inferior da placa de gesso acartonado tipo RU que será preenchido por um cordão de polietileno expandido.

No box uma impermeabilização com argamassa polimérica é feita sobre o contrapiso e sobre todas as paredes (sobre o gesso drywall RU). Nas demais áreas molhadas do banheiro, essa impermeabilização é feita nas paredes até uma altura de 400mm e uma extensão de 200mm sobre o contrapiso. Acima da impermeabilização, tanto no box como em áreas molhadas, é feito o assentamento do revestimento cerâmico com argamassa ACII para o piso e paredes.

Figura 37 – Interface entre parede e piso

DETALHAMENTO INTERFACE ENTRE PAREDE E PISO BOX

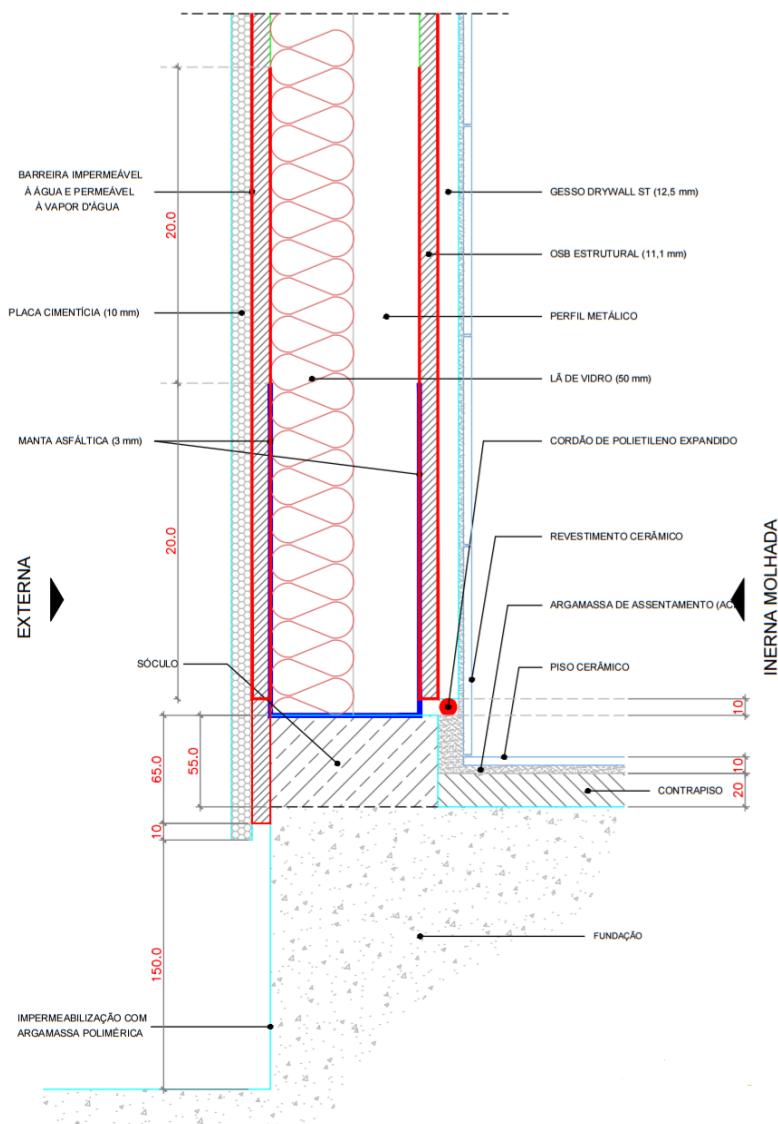
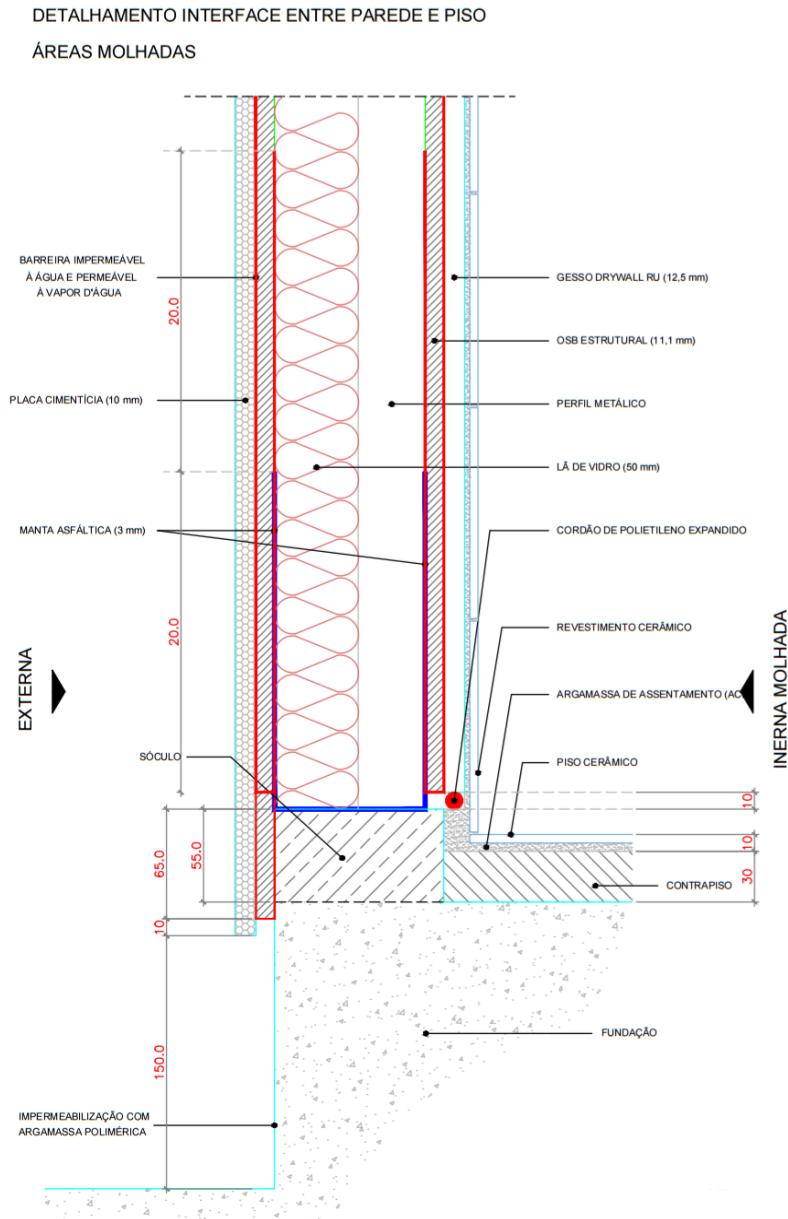


Figura 38 - Detalhamento interface em áreas molhadas

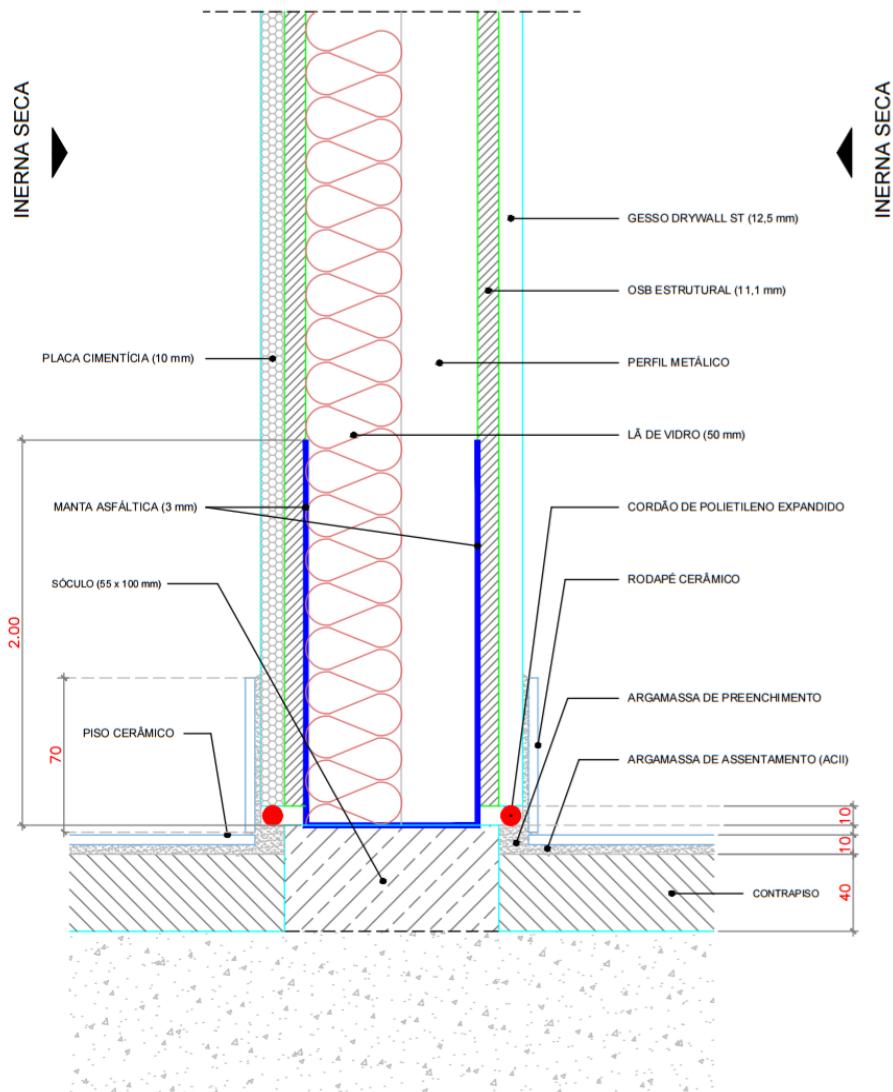


10.3.3 Paredes e pisos de áreas secas

A interface das paredes e pisos de áreas secas serão exatamente como descrito no item 10.3.1. Área externa e interna seca no que diz respeito às áreas secas, só que neste casos sendo ambos os lados de paredes e pisos estando em áreas secas, como representado na Figura 39.

Figura 39 - Interface parede e piso – Interna Seca

DETALHAMENTO INTERFACE ENTRE PAREDE E PISO (INTERNO SECO - INTERNO SECO)



10.3.4 Parede e piso de áreas molháveis e molhadas

Para o projeto em estudo, só haverá uma parede que dividirá duas áreas internas molhadas (parede entre cozinha e área de serviço). A interface entre esta parede e pisos destas áreas será exatamente como na descrição do item 10.3.2. Área externa e área interna molhada e molhável no que desrespeita às áreas molhadas para ambos os lados.

10.3.5 Paredes e pisos entre áreas secas e áreas molhadas

A face da parede voltada para a área molhada e molhável, e sua interface com o piso são exatamente como descrito no item 10.3.2. Área externa e área interna molhada e molhável no que desrespeita às áreas molhadas. A face voltada para a área seca será exatamente como descrita no item 10.3.1. Área externa e interna seca no que desrespeita às áreas secas.

10.3.6 Interface entre parede e esquadrias

10.3.6.1 Janelas

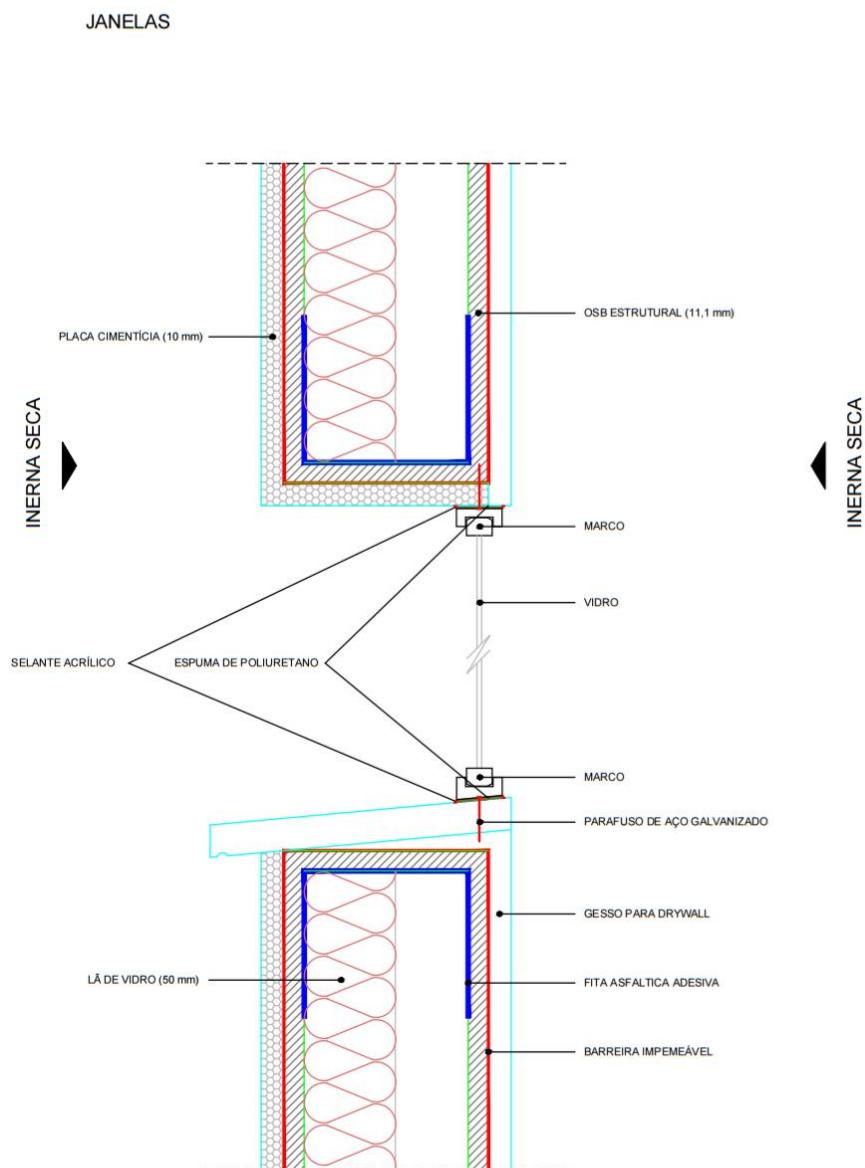
As janelas da residência são todas de PVC, um material leve, com alta durabilidade e que proporciona um ótimo isolamento térmico e acústico que satisfazem as normas de desempenho, segundo seus fornecedores (Pavidec, Squadra, entre outros).

As janelas da sala e cozinha são de correr com 2 folhas de vidro, as dos quartos são também de correr, mas com 4 folhas, sendo 2 venezianas e 2 de vidro, e a do banheiro é do tipo maxiar.

O requadro dos vãos das janelas nos módulos é feito por tiras de chapas OSB, barreira impermeável e tiras de placa cimentícia para acabamento do vão. Os arremates da barreira impermeável são realizados por fita asfáltica adesiva. Acima do OSB, na porção inferior do vão, há uma pingadeira de granito com 2% de inclinação, fixada e posicionada por argamassa de assentamento.

Na interface entre as janelas e as paredes há um marco de PVC que é fixado por buchas e parafusos de aço galvanizados diretamente ao vão do módulo (Figura 40) e vedado com espuma de poliuretano em todo o perímetro. Para o acabamento e vedação entre o marco e vão é aplicado por todo o perímetro interno e externo uma camada de selante acrílico.

Figura 40 – Corte interface de janelas com módulos



10.3.6.2 Portas

As portas desta residência são todas de madeira do tipo porta pronta e serão instaladas em obra. A porta pronta gera maior eficiência e agilidade na instalação da mesma, o que condiz com as diretrizes de rápida construção do projeto em estudo. Na interface entre portas e paredes, os batentes das portas são posicionados nos vãos e fixados por espuma de poliuretano aplicada por todo o contorno. O acabamento é feito pela colocação da guarnição.

O detalhamento das portas encontra-se no Apêndice A – Caderno de Projetos.

10.3.6.3 Interface entre dois ou mais módulos

Na interface entre dois ou mais módulos haverá juntas que serão tratadas da mesma forma que as juntas das placas nos módulos, explicadas no item 10.2. Tratamento de Juntas.

No caso de juntas em extremidades ou requadros serão utilizadas também cantoneiras metálicas do tipo L, perfuradas e galvanizadas tanto para as placas cimentícias como para as de gesso para drywall. Para as placas cimentícias essa cantoneira será colocada após a primeira camada de argamassa polimérica e o restante do processo segue a partir daí. Para as placas de gesso para drywall, a cantoneira é posicionada após a colocação da fita de papel microporosa e seu acabamento segue com a massa para juntas (segunda camada) realizada após o tempo de cura da primeira camada.

10.4 VEDAÇÃO VERTICAL DAS TRELIÇAS

Nas laterais da casa, na região das treliças acima dos módulos, o fechamento do vão é feito da mesma maneira que o fechamento dos módulos de faces externas. Entretanto, ao contrário dos módulos que vêm fechados de fábrica, o plaqueamento das treliças é feito após sua instalação.

Assim como descrito nos módulos verticais A e B, com relação a face externa, o fechamento do vão das treliças é feito por chapas de OSB estrutural de 11,1mm de espessura, seguida de uma manta impermeável à água e permeável à vapor d'água. Acima desta manta são fixadas as placas cimentícias de 10mm de espessura e depois é feito o tratamento das juntas das mesmas conforme descrito no item 10.2.1.

10.5 VEDAÇÃO HORIZONTAL

10.5.1 Pisos

A vedação horizontal é formada pelo elemento de fundação, pelos sóculos, argamassa, piso cerâmico e impermeabilização quando necessária.

Os sóculos vêm acima da fundação e têm 55mm de altura, servindo de gabarito e elemento para fixação para os módulos das paredes.

Uma impermeabilização é feita por toda a extensão dos súculos, de seu topo até sua base continuando até uma largura de 100mm na fundação, por argamassa polimérica, como observado nas figuras de detalhes das interfaces.

O contrapiso tem diferentes espessuras para cada área. Para a área do box, o contrapiso tem uma espessura de 20mm. Já para as demais áreas molhadas e molháveis (banheiro, cozinha e área de serviço), a espessura é de 30mm. Para as áreas secas essa espessura é de 40mm. Ficando, assim, um desnível de 10mm entre box e banheiro e de mais 10mm entre áreas secas e molhadas.

Sobre o contrapiso de áreas molhadas é realizada uma impermeabilização por argamassa polimérica que se inicia na parede (sobre o gesso para drywall RU) até uma altura de 400mm e se estende até o contrapiso em 200mm. Especificamente para área do box, essa impermeabilização é feita por todo o box (piso e paredes).

O piso de toda a residência será feito por placas cerâmicas assentadas por argamassa de assentamento e haverá por toda a área seca um rodapé de mesmo material cerâmico de 70mm de altura a partir do piso. As áreas molhadas não contam com rodapé pois seu revestimento vertical já é feito por placas cerâmicas.

10.5.2 Forro

O forro é do tipo estruturado em perfis leves com chapas de gesso drywall tipo ST (padrão) para áreas secas e tipo RU (resistente à umidade) para áreas molhadas e molháveis. As chapas possuem 1,2 m de largura, seu comprimento pode ser de 1,8 m a 3,0 m e espessura de 12,5mm. A fixação das chapas aos montantes é feita por parafusos TA de 25mm espaçados de 150mm nas extremidades das chapas e de 300mm nas áreas internas a elas onde possam existir outros montantes.

11 VEDAÇÃO DA COBERTURA

11.1 VEDAÇÃO

A cobertura tem por objetivo proteger as edificações das ações das intempéries além de ter um papel fundamental na arquitetura quanto à estética e também ao desempenho técnico. Para o dimensionamento das partes da cobertura será inicialmente escolhida a telha.

Dentre as telhas disponíveis no mercado, foi escolhida a Telha de asfalto coberta por grânulos, ou mais conhecida por Telha *Shingle*, por serem bem leves, pesando aproximadamente 4 vezes menos que as telhas cerâmicas, segundo seus fornecedores. Sendo uma tecnologia recente no mercado, ainda não possuem DATec's referente a elas, mas já são bastante usadas no exterior e vem crescendo cada vez mais aqui no Brasil.

Alguns dos fornecedores da Telha *Shingle* no Brasil são Brasilit Saint-Gobain, LP Brasil, TC *Shingle* do Brasil e Cobertech Shingle. Pela possibilidade de montagem de painéis, agilizando o processo de construção, viu-se certa compatibilidade deste tipo de vedação com as características da construção em *steel framing*.

Escolhida a telha, deve-se determinar algumas características que deverão ser atribuídas à estrutura da cobertura que são referentes à telha escolhida.

A Norma que regulamenta e determina as condições e cálculos para coberturas de acordo com o tipo de telha é a ABNT NBR15873:2010. Além disso, fabricantes das telhas *Shingle*, que seguem a referente norma, disponibilizam um manual com todas as informações técnicas e construtivas sobre o produto.

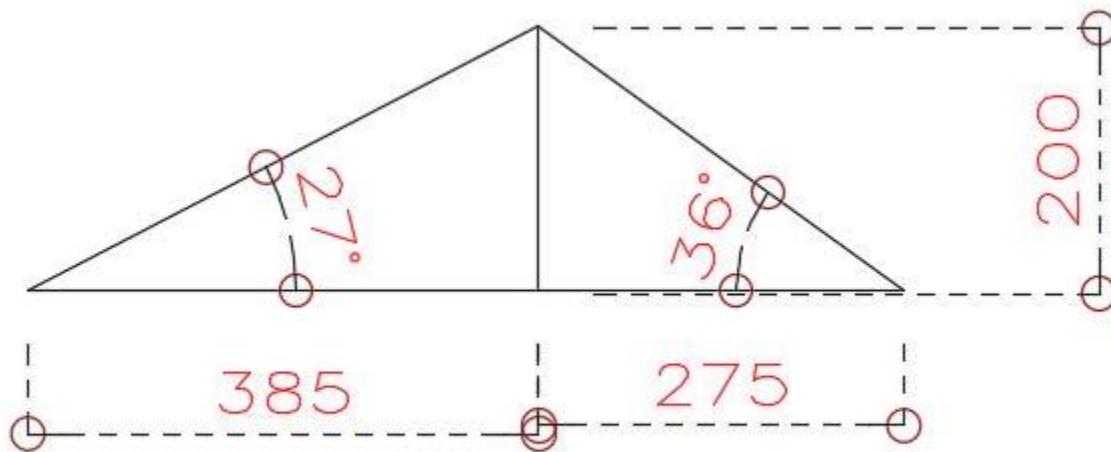
Desta forma, foi utilizado o manual da fabricante Brasilit sobre a telha *Shingle*, para extrair as informações necessárias para o projeto.

Segundo o fabricante Brasilit, a inclinação mínima para coberturas com vedação de *Shingle* é de 9,5°, e não é recomendada a sua instalação em telhados com inclinação inferior a esta.

Entretanto, a Brasilit ainda classifica a inclinação da cobertura em três faixas aplicáveis: Baixa inclinação, de 9,5° a 18,5°; Inclinação padrão, de 18,5° a 60°; Alta inclinação, de 60° a 90°.

Para o projeto da cobertura serão adotadas duas águas que, por motivos de compatibilidade estrutural, terão diferentes inclinações. A maior água terá inclinação de 18,5° ou 34% e a menor água de 25° ou 47%, ou seja, ambas entram na Inclinação Padrão.

Figura 41-Corte lateral simplificado do telhado com dimensões



Fonte: Elaborada pelos autores

11.2 CARACTERÍSTICAS DO TELHADO

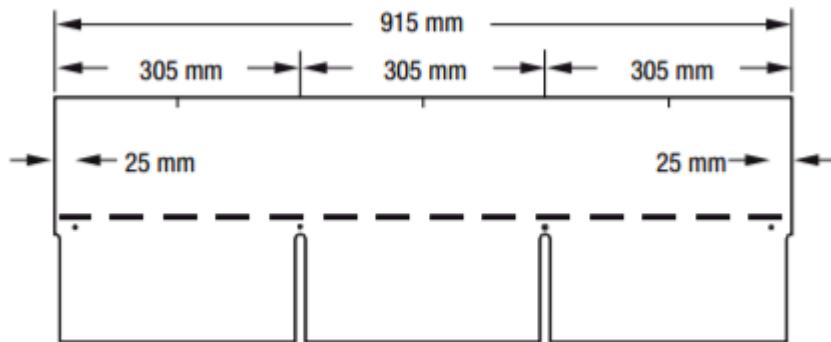
O telhado é composto primeiramente por toda estrutura metálica que está detalhada no Capítulo 5 - Estrutura. Acima dos perfis metálicos de *Steel frame* encontra-se uma camada formada por painéis estruturais de madeira de alta resistência e durabilidade chamados de *Plywood* pela fornecedora Brasilit Saint-Gobain. Estes painéis possuem dimensões de 1200mm x 2400mm de largura e altura, respectivamente e, 12,5mm de espessura.

Para um melhor acabamento e aderência das telhas *Shingle*, acima dos painéis estruturais de madeira coloca-se uma manta de papel impregnado com asfalto, microporos e fibras reforçadas, o *Felt Paper*. Esta manta é fixada por pregos de 18 x 25 mm espaçados de 150mm nas na região das bordas e, na região interna à manta, um prego a 300mm e outro a 600m da borda inferior alternando essas distâncias formando um “zigue-zague” com espaçamento de 305mm.

Acima desta subcobertura são colocadas as telhas *Shingle*, que por terem alta flexibilidade não precisam de peças especiais de acabamento.

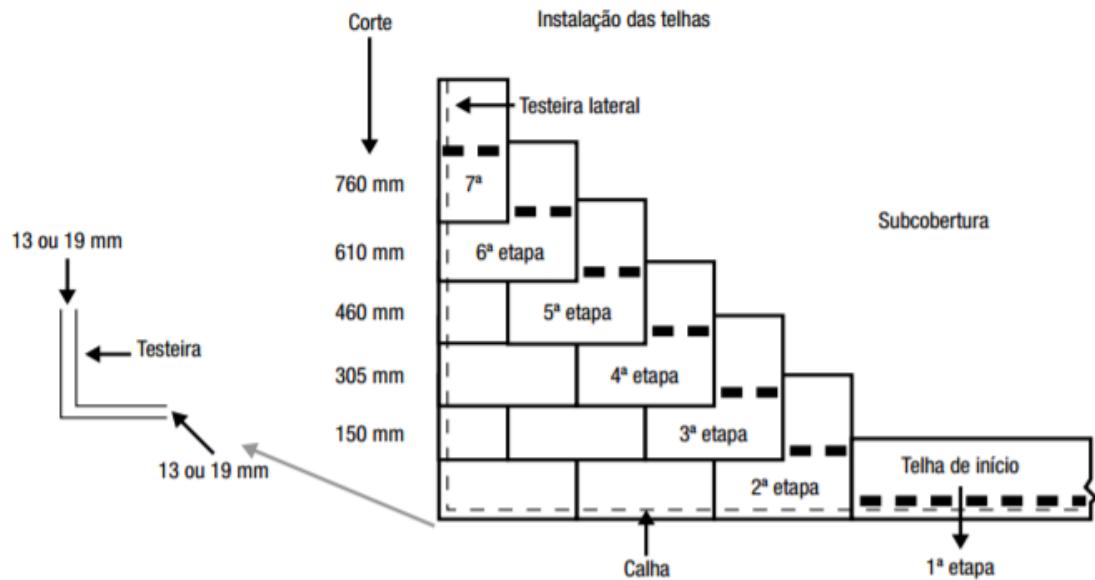
Cada telha é fixada por 4 pregos dispostos de acordo com a Figura 42 e a distribuição das telhas sobre o telhado é feita como mostrado na Figura 43.

Figura 42 - Fixação de uma telha - 4 pregos



Fonte: Catálogo Telha Shingle Brasilit

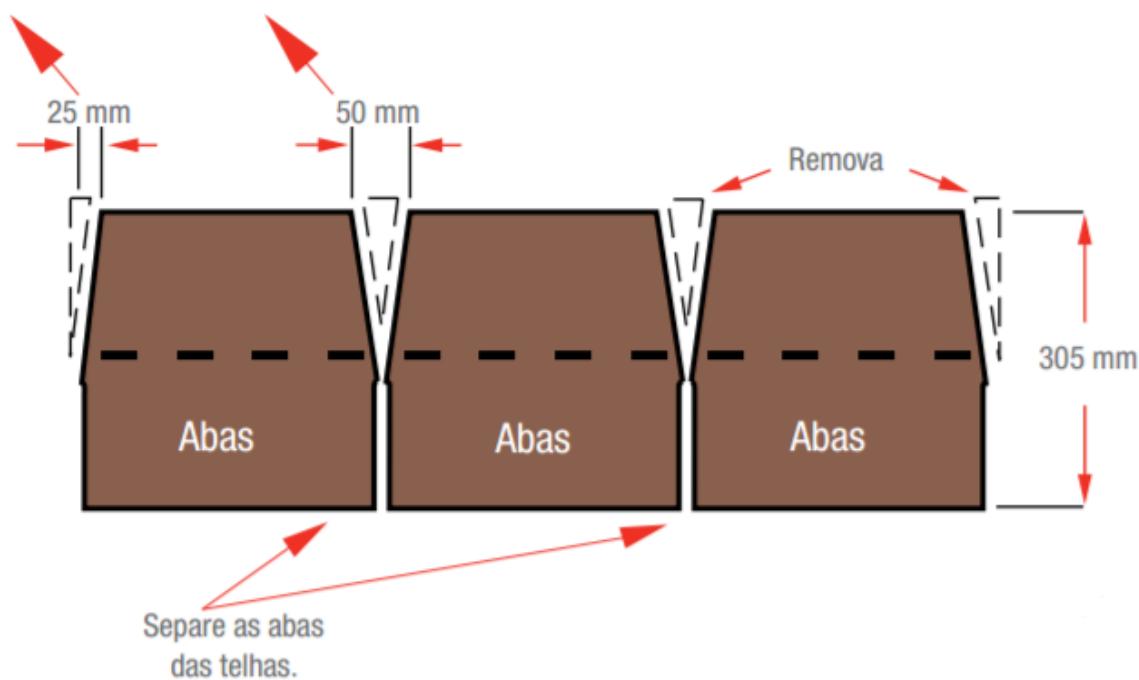
Figura 43 - Disposição e ordem de montagem das telhas Shingle



Fonte: Catálogo Telha Shingle Brasilit

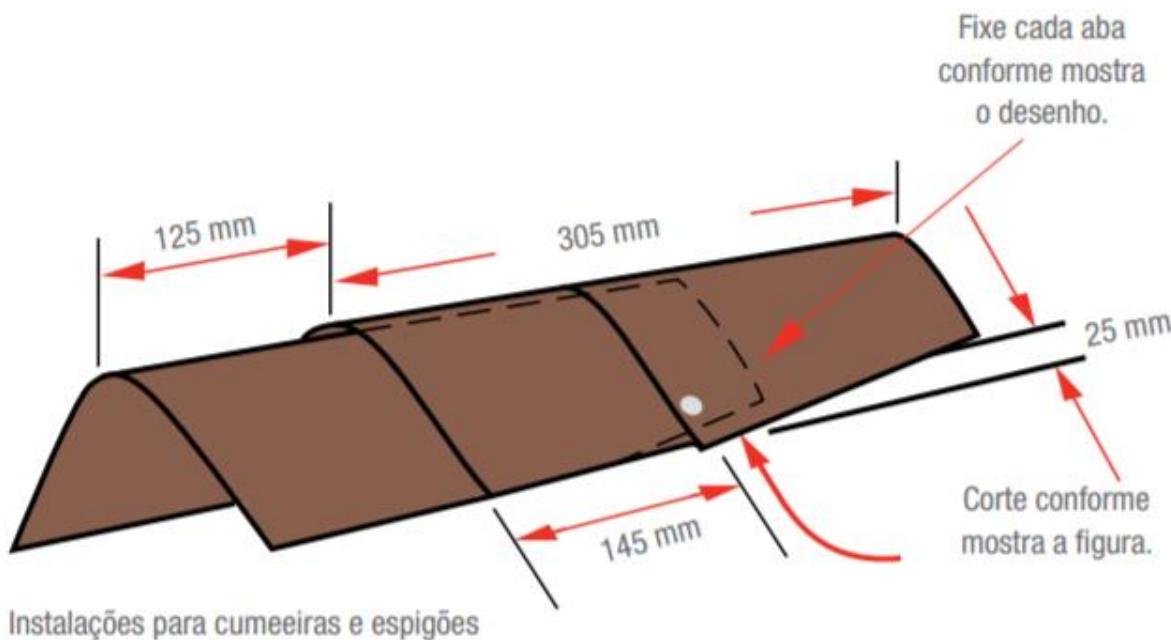
Por fim, no topo do telhado, é instalada a cumeeira de ventilação que melhora a circulação de ar e o conforto térmico da residência. Esta cumeeira também é coberta pelas telhas *Shingle* que, precisa de recortes antes de serem fixadas. Os detalhes destes recortes e o posicionamento das telhas sobre a cumeeira estão mostrados nas Figura 44 e Figura 45.

Figura 44 - Recorte das telhas para cumeeira



Fonte: Catálogo Telhas Shingle e Acessórios para Telhado - Brasilit

Figura 45 - Posicionamento das telhas Shingle sobre a cumeeira



Fonte: Catálogo Telhas Shingle e Acessórios para Telhado - Brasilit

Para o cálculo estrutural foi levado em conta, para compor as cargas permanentes, o peso total do telhado incluindo cada uma de suas partes, anteriormente citadas, assim como o peso dos fixadores e selantes. Estas informações não têm variações significativas de um fornecedor para outro, e lembrando que em todos os cálculos entram fatores de segurança exigidos pelas normas referentes a cada parte do projeto. Dessa forma, foi adotado como base para os cálculos as informações disponibilizadas pelo fabricante Brasilit.

Estas informações estão nos Quadro 41, Quadro 42 e Quadro 43 a seguir retiradas do próprio catálogo sobre telhas *Shingle* da Brasilit com a *Saint-Gobain*.

Quadro 41 - Acessórios para as telhas Shingle

Acessórios

Produto	Peso	Rendimento
Felt Paper	16,4 kg	A cada 40 m ² de cobertura, utiliza-se 1 rolo de Felt Paper .
Manta Autoaderente para Água-Furtada	23 kg	A cada 20 m lineares de água-furtada, utiliza-se 1 rolo de Manta Autoaderente para Água-Furtada .
Selamax	400 g	A cada 25 m ² de cobertura, utiliza-se 1 tubo de Selamax .
Cumeeira de Ventilação	0,7 kg	A cada 1 m linear de cumeeira, utiliza-se 1 peça de Cumeeira de Ventilação .
Pregos 18 x 25 mm	1 kg	A cada 12 m ² de cobertura, utiliza-se 1 caixa de Pregos 18 x 25 mm .
Pregos 18 x 50 mm	1 kg	A cada 10 m lineares de cumeeira, utiliza-se 1 caixa de Pregos 18 x 50 mm .
Plywood 1220 x 2440 mm	15,24 kg	2,97 m ²

Telha Shingle Brasilit

Fonte: Catálogo Telhas *Shingle* Saint-Gobain

Quadro 42 - Características técnicas das telhas Shingle

Características Técnicas das Telhas

Produto	Cores	Peso por pacote	Área útil por pacote
Landmark	Resawn Shake AR	37,2 kg	3,1 m ²
	Moire Black AR		
	XT25 Evergreen AR		
	XT25 Cedar Brown AR		
Tradicional	XT25 Silver Lining AR	34,1 kg	3,1 m ²
	XT25 Moire Black AR		
	XT25 Timber Blend AR		
	XT25 Dove Gray AR		
	XT25 Tile Red Blend AR		

Fonte: Catálogo Telhas *Shingle* Saint-Gobain

Quadro 43 - Especificações técnicas dos painéis de madeira (Plywood)

■ **Especificações técnicas**

Descrição:	Painel estrutural multilaminado, produzido com lâminas de pinus reflorestados, que são coladas com resina fenólica (resistente ao cupim) em prensa de alta temperatura.
Madeira:	Pinus reflorestado (Certificação FSC)
Espaçamento entre apoios:	600 mm
Espessura:	12,5 mm ou 1/2"
Camadas:	5 Camadas
Largura:	1200 mm
Comprimento:	2400 mm
Peso:	21,16 kg

Fonte: Catálogo Telhas *Shingle* Brasilit Saint-Gobain

12 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DOS MÓDULOS

Os módulos das paredes são industrializados em fábrica de modo que cheguem à obra apenas para serem fixados uns aos outros e ao piso, e recebam as esquadrias e acabamentos finais.

O processo de montagem em fábrica destes módulos é realizado na horizontal, de acordo com uma ordem que pode variar segundo o grupo a que pertencem. A sequência de montagem de cada grupo é descrita a seguir e os detalhes de fixação, dimensões e espaçamentos são abordados nos projetos de montagem (Apêndice A).

12.1 GRUPO A

1º) As guias e os montantes são posicionados e fixados uns aos outros por meio de parafusos cabeça flangeada ponta broca de 1/2" na horizontal sobre uma bancada em conformidades e espaçamentos que devem ter na vertical pré-definidos em projeto.

2º) Sobre os perfis montados é fixada a manta asfáltica até a altura de 200mm a partir da base e é deixada uma sobra de 290mm desta manta, além da base, para ser dobrada posteriormente e cobrir a guia e os 200mm da outra face dos perfis.

3º) Acima da manta asfáltica, a barreira impermeável à água e permeável à vapor d'água é aparafusada aos perfis, por meio de parafusos a uma altura de 400mm a partir da base e é deixada uma sobra de 2780mm para ser fixada sobre o OSB após sua fixação aos perfis. Para os módulos de largura inferiores a 2,74m é possível utilizar apenas uma membrana, para os módulos com largura superiores a 2,74m utiliza-se uma membrana de largura de 2,74m mais uma de 0,91m ou outra de 2,74m dependendo da necessidade. Na junção das partes da membrana é necessária uma sobreposição de no mínimo 15cm.

4º) Após esta etapa, são fixadas nos perfis as placas de OSB estrutural (11,1mm de espessura). A borda inferior das chapas de OSB é posicionada 65mm abaixo da borda da guia (por ser a face externa). A fixação é feita por parafusos cabeça trombeta, ponta broca (ST 4,2 mm x 32 mm) espaçados de 150mm quando na região das bordas ou de 300mm quando nas regiões centrais da chapa.

5º) Feita a fixação do OSB, a aba de sobra da membrana impermeável à água e permeável a vapor d'água é dobrada sobre a chapa cobrindo-a por inteiro e fixada a ela por meio de grampos galvanizados.

6º) Sobre a chapa de OSB com a membrana são fixadas as placas cimentícias (10,0mm de espessura). A borda interior das placas cimentícias são posicionadas 10mm abaixo da borda inferior das chapas de OSB. A fixação é feita por parafusos cabeça trombeta, ponta broca (ST 4,2 mm x 32 mm) espaçados de 200mm ao longo dos perfis.

7º) Após a fixação das placas cimentícias, é feito o tratamento das juntas entre elas como descrito no item 10.2. Em seguida uma cantoneira metálica (10mmx10mm) é fixada à borda inferior das placas cimentícias para proteção.

8º) Tratadas as juntas, e decorrido seu tempo de secagem, o módulo, parcialmente pronto, é girado e reposicionado com sua outra face para cima para ser concluído.

9º) Nos espaços entre os perfis é fixada a lâ de vidro de 50mm de espessura.

10º) Em seguida, a sobra da manta asfáltica é dobrada e fixada aos montantes até uma altura de 200mm.

11º) Sobre os perfis e manta asfáltica são fixadas as chapas de OSB estrutural da mesma forma que na face anteriormente produzida, mas com a borda inferior do

OSB estando 10mm acima da borda inferior da guia. Neste caso (grupo A), a chapa de OSB não recebe membrana impermeável por ser interna à edificação.

12º) Em cima do OSB são fixadas as chapas de gesso para drywall tipo ST (12,5mm de espessura). A borda inferior das chapas de gesso ficam alinhadas com a borda das chapas de OSB (10mm acima da guia). Estas chapas são posicionadas verticalmente e fixadas à estrutura metálica com parafusos cabeça trombeta, ponta broca (ST 3,5 mm x 35 mm), distantes 300 mm um do outro.

13º) Por fim é feito o tratamento de juntas como o descrito no item x.2.2.

12.2 GRUPO B

1º) Sobre uma bancada na posição horizontal as guias e, em seguida, os montantes são devidamente acoplados a elas, por meio de parafusos cabeça flangeada ponta broca $\frac{1}{2}$ " seguindo-se os espaçamentos pré-definidos em projeto.

2º) Sobre os perfis já montados é fixada a manta asfáltica até a altura de 200mm, a partir da base e é deixada uma sobra de 290mm desta manta, além da base, para ser dobrada posteriormente e cobrir a guia e os 200mm da outra face dos perfis.

3º) Sobre a manta asfáltica, posiciona-se a barreira impermeável à água e permeável à vapor d'água, parafusando-a aos perfis por meio de parafusos até a altura de 400mm a partir da base e é deixada uma sobra de 2780mm para ser fixada sobre o OSB após a fixação destes aos perfis. Para os módulos de largura inferiores a 2,74m é possível utilizar apenas uma membrana, para os módulos com largura superiores a 2,74m utiliza-se uma membrana de largura de 2,74m mais uma de 0,91m ou outra de 2,74m dependendo da necessidade. Na junção das partes da membrana é necessário uma sobreposição de no mínimo 15cm.

4º) Após esta etapa, são fixadas nos perfis as placas de OSB estrutural (11,1mm de espessura). A borda inferior das chapas de OSB é posicionada 65mm abaixo da borda da guia (por ser a face externa). A fixação é feita por parafusos cabeça trombeta, ponta broca (ST 4,2 mm x 32 mm) espaçados de 150mm quando na região das bordas ou de 300mm quando nas regiões centrais da chapa.

5º) Feita a fixação do OSB, a aba de sobra da membrana impermeável à água e permeável a vapor d'água é dobrada sobre a chapa cobrindo-a por inteiro e fixada a ela por meio de grampos galvanizados.

6º) Sobre a chapa de OSB com prévia fixação da membrana, são fixadas as placas cimentícias com 10,0mm de espessura. A borda interior das placas cimentícias são posicionadas 10mm abaixo da borda inferior das chapas de OSB. A fixação é feita por parafusos cabeça trombeta, ponta broca (ST 4,2 mm x 32 mm) espaçados de 200mm ao longo dos perfis.

7º) Após a fixação das placas cimentícias, é feito o tratamento das juntas entre elas como descrito no item 10.2.1. Em seguida uma cantoneira metálica (10mmx10mm) é fixada à borda inferior das placas cimentícias para proteção.

8º) Tratadas as juntas, e decorrido seu tempo de secagem, o módulo, parcialmente pronto, é girado e reposicionado com sua outra face para cima para ser concluído.

9º) Nos espaços entre os perfis é fixada a lâ de vidro de 50mm de espessura.

10º) Em seguida, a sobra da manta asfáltica é dobrada e fixada aos montantes até uma altura de 200mm.

11º) Sobre os perfis e a manta asfáltica é fixada a membrana impermeável à água e permeável a vapor d'água da mesma forma como no 3º item desta montagem mas a sobra deixada neste caso é de 2710mm.

12º) Sobre os perfis e a membrana são fixadas as chapas de OSB estrutural da mesma forma que na fase anteriormente produzida, mas com a borda inferior do OSB estando 10mm acima da borda inferior da guia.

13º) Feita a fixação do OSB, a aba de sobra da membrana é dobrada sobre a chapa cobrindo-a por inteiro e fixada a ela por meio de grampos galvanizados.

14º) Em cima do OSB com a membrana são fixadas as chapas de gesso para drywall tipo ST (12,5mm de espessura). A borda inferior das chapas de gesso ficam alinhadas com a borda das chapas de OSB (10mm acima da guia). Estas chapas são posicionadas verticalmente e fixadas à estrutura metálica com parafusos cabeça trombeta, ponta broca (ST 3,5 mm x 35 mm), distantes 300 mm um do outro.

15º) Por fim é feito o tratamento de juntas como o descrito no item 10.2.

12.3 GRUPO C

1º) Sobre uma bancada na posição horizontal as guias e, em seguida, os montantes são devidamente acoplados a elas, por meio de parafusos de cabeça flangeada ponta broca $\frac{1}{2}$ " seguindo-se os espaçamentos pré-definidos em projeto.

2º) Sobre os perfis montados é fixada a manta asfáltica até a altura de 200mm, a partir da base e é deixada uma sobra de 290mm desta manta, além da base, para ser dobrada posteriormente e cobrir a guia e os 200mm da outra face dos perfis.

3º) Em cima da manta asfáltica são fixadas as placas de OSB estrutural (11,1mm de espessura) nos perfis. A borda inferior das chapas de OSB é posicionada 10mm acima da borda da guia. A fixação é feita por parafusos cabeça trombeta, ponta

broca (ST 4,2 mm x 32 mm) espaçados de 150mm quando na região das bordas ou de 300mm quando nas regiões centrais da chapa.

4º) Sobre o OSB são fixadas as chapas de gesso para drywall tipo ST (12,5mm de espessura). A borda inferior das chapas de gesso ficam alinhadas com a borda das chapas de OSB, 10mm acima da guia. Estas chapas são posicionadas verticalmente e fixadas à estrutura metálica com parafusos cabeça trombeta, ponta broca (ST 3,5 mm x 35 mm), distantes 300 mm um do outro.

5º) Feita a fixação do drywall é realizado o tratamento de juntas como o descrito no item 10.2.

6º) Tratadas as juntas, e decorrido seu tempo de secura, o módulo parcialmente pronto é girado e reposicionado com sua outra face para cima para ser concluído.

7º) Nos espaços entre os perfis é fixada a lã de vidro de 50mm de espessura.

8º) Em seguida, a sobra da manta asfáltica é dobrada e fixada aos montantes até uma altura de 200mm.

9º) Fixada a manta asfáltica, da 3^a à 7^a etapa o processo é repetido para que se finalize este módulo.

12.4 GRUPO D

1º) Sobre uma bancada na posição horizontal as guias e, em seguida, os montantes são devidamente acoplados a elas, por meio de parafusos de cabeça flangeada ponta broca $\frac{1}{2}$ " seguindo-se os espaçamentos pré-definidos em projeto.

2º) Sobre os perfis montados é fixada a manta asfáltica até a altura de 200mm, a partir da base e é deixada uma sobra de 290mm desta manta, além da base, para ser dobrada posteriormente e cobrir a guia e os 200mm da outra face dos perfis.

3º) Acima da manta asfáltica, a barreira impermeável à água e permeável à vapor d'água é aparafusada aos perfis, por meio de parafusos a uma altura de 400mm a partir da base e é deixada uma sobra de 2780mm para ser fixada sobre o OSB após sua fixação aos perfis. Para os módulos de largura inferiores a 2,74m é possível utilizar apenas uma membrana, para os módulos com largura superiores a 2,74m utiliza-se uma membrana de largura de 2,74m mais uma de 0,91m ou outra de 2,74m dependendo da necessidade. Na junção das partes da membrana é necessária uma sobreposição de no mínimo 15cm.

4º) Após esta etapa, são fixadas nos perfis as placas de OSB estrutural (11,1mm de espessura). A borda inferior das chapas de OSB é posicionada 10mm acima da borda da guia. A fixação é feita por parafusos cabeça trombeta, ponta broca (ST 4,2 mm x 32 mm) espaçados de 150mm quando na região das bordas ou de 300mm quando nas regiões centrais da chapa.

5º) Feita a fixação do OSB, a aba de sobra da membrana impermeável à água e permeável a vapor d'água é dobrada sobre a chapa cobrindo-a por inteiro e fixada a ela por meio de grampos galvanizados.

6º) Sobre a chapa de OSB com prévia fixação da membrana impermeável, são fixadas as chapas de gesso para drywall tipo RU com 12,5mm de espessura. A borda inferior das chapas de gesso ficam alinhadas com a borda das chapas de OSB (10mm acima da guia). Estas chapas são posicionadas verticalmente e fixadas à estrutura metálica com parafusos cabeça trombeta, ponta broca (ST 3,5 mm x 35 mm), distantes 300 mm um do outro.

5º) Feita a fixação do drywall, é realizado o tratamento de juntas como o descrito no item 10.2.

6º) Tratadas as juntas, e decorrido seu tempo de secagem, o módulo parcialmente pronto é girado e reposicionado com sua outra face para cima para ser concluído.

7º) Nos espaços entre os perfis é fixada a lã de vidro de 50mm de espessura.

8º) Em seguida, a sobra da manta asfáltica é dobrada e fixada aos montantes até uma altura de 200mm.

9º) Fixada a manta asfáltica, faz-se a fixação das placas de OSB estrutural (11,1mm de espessura) nos perfis. A borda inferior das chapas de OSB são posicionadas 10mm acima da borda da guia. A fixação é feita por parafusos cabeça trombeta, ponta broca (ST 4,2 mm x 32 mm) espaçados de 150mm quando na região das bordas ou de 300mm quando nas regiões centrais da chapa.

10º) Sobre o OSB são fixadas as chapas de gesso para drywall tipo ST (12,5mm de espessura). A borda inferior das chapas de gesso ficam alinhadas com a borda das chapas de OSB (10mm acima da guia). Estas chapas são posicionadas verticalmente e fixadas à estrutura metálica com parafusos cabeça trombeta, ponta broca (ST 3,5 mm x 35 mm), distantes 300 mm um do outro.

11º) Da mesma forma que na outra face, fixadas as chapas de gesso, faz-se o tratamento de suas juntas de acordo com o descrito no ítem 10.2.

12.5 GRUPO E

1º) Sobre uma bancada na posição horizontal as guias e, em seguida, os montantes são devidamente acoplados a elas, por meio de parafusos de cabeça flangeada ponta broca $\frac{1}{2}$ " seguindo-se os espaçamentos pré-definidos em projeto.

2º) Sobre os perfis montados é fixada a manta asfáltica até a altura de 200mm, a partir da base e é deixada uma sobra de 290mm desta manta, além da base, para ser dobrada posteriormente e cobrir a guia e os 200mm da outra face dos perfis.

3º) Acima da manta asfáltica, a barreira impermeável à água e permeável à vapor d'água é aparafusada aos perfis, por meio de parafusos a uma altura de 400mm a partir da base e é deixada uma sobra de 2780mm para ser fixada sobre o OSB após sua fixação aos perfis. Para os módulos de largura inferiores a 2,74m é possível utilizar apenas uma membrana, para os módulos com largura superiores a 2,74m utiliza-se uma membrana de largura de 2,74m mais uma de 0,91m ou outra de 2,74m dependendo da necessidade. Na junção das partes da membrana é necessária uma sobreposição de no mínimo 15cm.

4º) Após esta etapa, as placas de OSB estrutural com 11,1mm de espessura são fixadas nos perfis. A borda inferior das chapas de OSB é posicionada 10mm acima da borda da guia. A fixação é feita por parafusos cabeça trombeta, ponta broca (ST 4,2 mm x 32 mm) espaçados de 150mm quando na região das bordas ou de 300mm quando nas regiões centrais da chapa.

5º) Feita a fixação do OSB, a aba de sobra da membrana impermeável à água e permeável a vapor d'água é dobrada sobre a chapa cobrindo-a por inteiro e fixada a ela por meio de grampos galvanizados.

6º) Em cima do OSB são fixadas as chapas de gesso para drywall tipo RU (12,5mm de espessura). A borda inferior das chapas de gesso ficam alinhadas com a borda das chapas de OSB (10mm acima da guia). Estas chapas são posicionadas verticalmente e fixadas à estrutura metálica com parafusos cabeça trombeta, ponta broca (ST 3,5 mm x 35 mm), distantes 300 mm um do outro.

7º) Feita a fixação do drywall é realizado o tratamento de juntas como o descrito no item 10.2.

8º) Tratadas as juntas, e decorrido seu tempo de cura, o módulo parcialmente pronto é girado e reposicionado com sua outra face para cima para ser concluído.

9º) Nos espaços entre os perfis é fixada a lã de vidro de 50mm de espessura.

10º) Em seguida, a sobra da manta asfáltica é dobrada e fixada aos montantes até uma altura de 200mm.

11º) Fixada a manta asfáltica, da 3^a à 7^a etapa o processo é repetido para que se finalize este módulo.

Os conduítes e caixas de saída de tomada e interruptor determinados pelo projeto de elétrica são posicionados nas paredes durante a montagem dos módulos. Quando, no módulo, houver passagens e saídas elétricas, estas serão fixadas aos montantes antes do plaqueamento da face a que elas pertencem com o auxílio, quando necessário, de tiras metálicas.

13 CONCLUSÃO

O trabalho de formatura trouxe diversos aprendizados, sejam eles o conhecimento técnico, a experiência acadêmica e o desafio do trabalho em grupo.

Após a conclusão do Trabalho de Formatura 1 - Análise e elaboração de moradia emergencial, a primeira dificuldade foi a mudança quase que completa do tema, o que trouxe incertezas.

Nessa segunda fase, o objetivo foi tentar tornar o trabalho menos virtual e mais prático, colocando as diversas especialidades e disciplinas estudadas ao longo do curso de forma totalmente aplicada nos projetos.

Pela gama e diversidade de informações, o contato com professores de outras áreas se fez necessário. A ajuda e experiência deles trouxeram aprendizados que não estariam disponíveis facilmente nas bibliografias. Momentos de discussões tiveram mais proveito que horas de pesquisas, e esse registro também é um reconhecimento e agradecimento pela ajuda.

As tentativas e erros foram comuns, gerando excesso de trabalho e de retrabalho. Foram diversas alternativas que não foram viáveis, o que também trouxe prejuízo nos prazos. Contudo, essas tentativas certamente foram as partes que proporcionaram grandes aprendizados.

Como destaque dos históricos de tentativas, pode-se destacar a torre externa no sistema de água, que por não ter sido viável, tornou-se uma caixa d'água, impactando no projeto estrutural e da cobertura. Também a seção da estrutura, por ser uma novidade tecnológica, demandou diversos cálculos e projetos alternativos, sendo a parte mais extensa do trabalho.

O exercício de projetar também se mostrou bastante trabalhoso e por diversas vezes uma pequena mudança refletia em alterações em várias especialidades. Com

esse trabalho, observou-se de forma prática que um projeto deve ser valorizado e pensado muito antes, viabilizando mudanças que não impactem no futuro da obra e ao longo do horizonte de projeto.

Contudo, grande dificuldade também se deu pelo pouco conteúdo disponibilizado ao longo do curso para desenvolver desenhos e projetos. O aprendizado muitas vezes é feito apenas na prática, e um período para momentos assim ao longo da graduação é fator importante para o desenvolvimento como engenheiros.

A diversidade de especialidades fez relembrar de assuntos pouco estudados ao longo do curso, e mostrou a importância do trabalho em equipe, destacando o fato que dificilmente uma pessoa terá todas as informações, valorizando os pontos fortes e conhecimentos dos companheiros de equipe.

De forma geral, sentiu-se a dificuldade de encontrar normas e referências principalmente quanto a novas tecnologias, muitas vezes restritas a empresas que fazem uso dessa inovação. É preocupante o fato de não existir uma norma específica, por exemplo, para uma tecnologia como o *Light Steel Frame*, dado o número de empresas que já estão utilizando o sistema.

Com isso, também é importante trazer para a grade de estudo dos futuros engenheiros temáticas do mercado atual, para que já saiam com uma visão de futuro e mentalidade de criatividade e inovação. O contato com essas tecnologias na sala de aula pode trazer a mudança esperada para a construção civil do futuro.

O objetivo do grupo foi atendido de forma satisfatória, percebendo a importância de novas tecnologias na construção civil, mostrando que desafiar tecnologias consolidadas pode trazer muitos benefícios, seja de ordem social, ambiental ou construtivo.

Ainda com o trabalho, tenta-se mostrar a possibilidade de atendimento da norma de desempenho (ABNT NBR 15575:2013) mesmo usando novas tecnologias, mostrando a compatibilização de métodos tradicionais com novos sistemas.

Concluindo, todos os aspectos apreendidos não fariam sentido se não se utilizasse o conhecimento e análise ao longo do trabalho em prol da sociedade, voltando o objetivo para beneficiar principalmente aqueles que precisam de uma moradia, não se tornando um estudo com fim em si mesmo, mas olhando para o futuro e para o próximo.

14 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Edificações habitacionais — Desempenho.** Rio de Janeiro: Abnt, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800/08: Projeto e execução de estruturas de aço de edifícios.** Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR5410: Instalações elétricas de baixa tensão.** Rio de Janeiro: Abnt, 2008.

_____. **NBR 15758-1 - Sistemas construtivos em chapas de gesso para drywall.** Rio de Janeiro: Abnt, 2009.

_____. **NBR 6123/88:** Forças devidas ao vento em edificações. Rio de janeiro, 1988.

SILVA, Valdir; FRUCHTENGARTEN, Julio. **Dimensiosamento de Estruturas de Aço.** São Paulo, 2012.

BRASILIT SAINT GOBAIN - **Telha shingle Brasilit.** Disponível em: <<http://www.brasilit.com.br/sites/default/files/treinamentos/pdf/apostila-shingle.pdf>>. Acesso em 20 jan. 2017

_____. – **Telha Shingle e acessório para telhado.** Disponível em: <<http://www.brasilit.com.br/pdf/catalogo-shingle.pdf>>. Acesso em 22 jan. 2017

_____. – **Construções industrializadas com Placa Cimentícia e Painel Masterboard.** Disponível em: <<http://www.brasilit.com.br/pdf/take-one-guia-de-reformas.pdf>>. Acesso em 26 mar. 2017.

_____. – **Catálogo de Produtos Gerdau.** Disponível em <<https://www.comercialgerdau.com.br/pt/productsservices/products/Document%20Gally/catalogo-produtos-cg.pdf>>. Acesso em 25 jun.2017.

_____. – **Catálogo de Produtos Paulisteel.** Disponível em <http://www.paulisteel.com.br/site/images/online/cat%C3%A1logo_a%C3%A7os_downloads.pdf>. Acesso em 25 jun.2017.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. Minha Casa Minha Vida - Habitação Urbana. Disponível em: <<http://www.caixa.gov.br/voce/habitacao/minha-casa-minha-vida/urbana/Paginas/default.aspx#quem-pode-ter>>. Acesso em: 6 jul. 2016.

CAMPOS, Patrícia Farrielo de. Light Steel Framing: Uso em construções habitacionais empregando a modelagem virtual como processo de projeto e planejamento. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2014.

DECORLIT- Placas cimentícias - Fixação das placas. Disponível em: <<http://www.decorlit.com.br/placa-cimenticia-fixacao.html>>. Acesso em 24 fev. 2017

ETEC LAURO GOMES – Apostilla de Eletrônica. Disponível em:<<http://www.etelg.com.br/downloads/electronica/apostilas/IE%20Parte1.pdf>>. Acesso em 22 nov. 2016

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – Notas de Aula PCC 436. Disponível em: <<http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/f/fb/ApostilaCobertura.pdf>>. Acesso em 3 jan. 2017

EW7 CURSOS - Balanceamento de fases em sistema trifásico. Disponível em: <<http://ew7.com.br/projetos-eletricos-no-autocad/index.php/dicas-sobre-projetos-eletroresidenciais/122-balanceamento-de-fases-em-sistema-trifasico>>. Acesso em 23 nov. 2016

FERREIRA GONÇALVES - Predial Tigre PEX. Disponível em: <http://www.cfg.com.br/up_catalogos/TIGRE - Pex.pdf>. Acesso em 3 mai. 2017

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO – Desenho Universal Habitação de Interesse Social. Disponível em:<<http://www.mpsp.mp.br/portal/page/portal/Cartilhas/manual-desenho-universal.pdf>>. Acesso em 5 set.2016.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – Relatório Técnico 129 028-205. Disponível em: <<http://www.ipbrasil.com.br/wp-content/uploads/2014/08/IPT-129-028-205-Shingle-Transmit%C3%A2ncia-T%C3%A4rmica1.pdf>>. Acesso em 25 mai. 2017

ORDONEZ, José A. Fernandez - Prefabricacion teoria y practica. 1974.

PEDROSO, Sharon Passini - **STEEL FRAME NA CONSTRUÇÃO CIVIL**. Disponível em: <<http://www.fag.edu.br/upload/ecci/anais/559532ca64bc5.pdf>>. Acesso em 23 mai. 2016.

PRYSMIAN GROUP – **Manual Prysmian de Instalações Elétricas**. Disponível em:<http://br.prysmiangroup.com.br/files/manual_prysmian.pdf>. Acesso em 22 nov.2016

SCHREIBER, Mariana - **Aluguel caro pressiona deficit habitacional nas metrópoles**. Disponível em: <http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2014/05/140527_deficit_habitacional_ms> Acesso em 22 mai. 2016

SINAT – **DATec nº 014-A - Sistema Construtivo a seco SAINT-GOBAIN - Light Steel Frame**. Disponível em:< http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_sinat.php>. Acesso em 20 jun 2017.

_____ . DATec nº 015 - **Sistema construtivo LP BRASIL OSB em Light Steel Frame e fechamento em chapas de OSB revestidas com siding vinílico**. Disponível em:< http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_sinat.php>. Acesso em 20 jun 2017.

_____ .DATec nº 016 - **Sistema construtivo LP BRASIL OSB em Light Steel Frame e fechamento em SmartSide Panel**. Disponível em:< http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_sinat.php>. Acesso em 20 jun 2017.

_____ .DATec nº 020-B - "Sistema de vedação vertical leve em madeira". Disponível em:< http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_sinat.php>. Acesso em 20 jun 2017.

_____ .DATEc nº 030 - **Sistema Construtivo LP Brasil OSB em Light Steel Frame e fechamento em chapas de OSB revestidas com placa cimentícia**. Disponível em:< http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_sinat.php>. Acesso em 20 jun 2017.

SMART SISTEMAS CONSTRUTIVOS – Etapas da Obra de light steel frame. Disponível em:< <http://smartsistemasconstrutivos.com.br/etapas-da-obra/>>. Acesso em 23 mar. 2017

SOUZA, Alexandro. “**LIGHT STEEL FRAMING**”: UMA APOSTA DO SETOR SIDERÚRGICO NO

DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO DA CONSTRUÇÃO CIVIL. 2012 Disponível em: <<http://www.cbca-iabr.org.br/upfiles/downloads/apresent/SteelFramingCBCA.pdf>>. Acesso em 22 jan. 2017

SOUZA, Ubiraci Espinelli Lemes - **Notas de Aula PCC 2302 - Gestão da Produção na Construção Civil.**

2014

TECHNE PINI - **Casa de steel frame.** Disponível em: <instalações <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/141/artigo286557-1.aspx>>. Acesso em 5 mai. 2017

_____ -**Steel frame – Cobertura.** Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/144/artigo285759-1.aspx>>. Acesso em 15 jan. 2017

_____ -**Light Steel Frame e fechamento em OSB revestido com siding vinílico.** Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/196/light-steel-frame-e-fechamento-em-osb-revestido-com-siding-294064-1.asp>>

APÊNDICE B (ANÁLISE E ELABORAÇÃO DE MORADIA EMERGENCIAL)

14.1 OBJETIVO

O trabalho tem por objetivo geral desenvolver o projeto de uma habitação emergencial, de rápida execução e baixo custo e que respeite as exigências mínimas de desempenho técnico e econômico e que possam atender famílias que residem em condições precárias de habitabilidade de baixa renda ou que tenham sofrido a eventuais situações de catástrofes.

14.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para alcançar os objetivos propostos, o trabalho foi realizado em algumas etapas principais:

- a) Etapa 1: Esclarecimento sobre as normas e legislação para a intervenção em comunidades;
- b) Etapa 2: Levantamento de alternativas de construções emergenciais;
- c) Etapa 3: Escolha da alternativa mais aplicável à realidade brasileira;
- d) Etapa 4: Estudo de melhorias da alternativa escolhida, com possível elaboração de estudo de caso em alguma comunidade paulistana.

Para o desenvolvimento da primeira etapa utilizou-se de uma entrevista com o Prefeito da cidade de São Paulo, Fernando Haddad, uma entrevista com o subdiretor de construção da TETO de São Paulo, Marcel Boccia e pesquisas bibliográficas.

Para as demais etapas, os métodos utilizados até aqui foram o de pesquisas bibliográficas e a aplicação de conceitos aprendidos ao longo do curso de Engenharia Civil pela Escola Politécnica da USP.

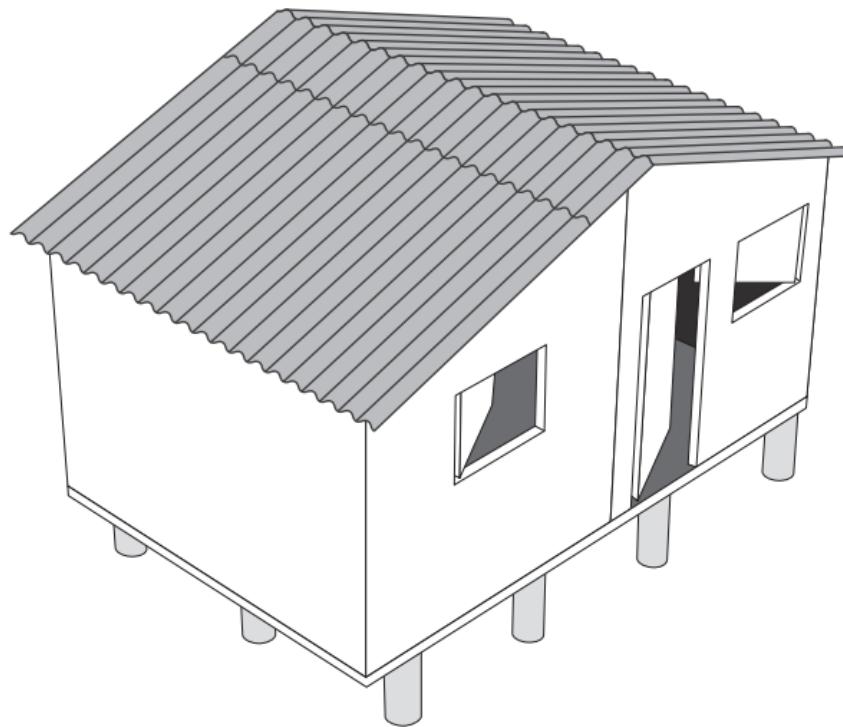
14.3 A TETO

14.3.1 HISTÓRIA

A ONG TETO teve início em 1997, no Chile, onde jovens se mobilizaram juntamente com as famílias necessitadas e começaram a trabalhar para dar melhor condição de moradias a estas famílias. Os jovens buscaram soluções imediatas em construções emergenciais, bem simplificadas, mas que tiravam as famílias das condições inaceitáveis dos assentamentos em que viviam.

Hoje a TETO está presente em 19 países da América Latina, entre eles o Brasil, onde o grupo obteve o contato que motivou o tema do trabalho. As casas construídas pela ONG seguem um padrão (Figura 46), com pequenas alterações de acordo com a região e suas necessidades. Tais moradias serão descritas de forma técnica nos itens que seguem.

Figura 46 - Ilustração de Casa Pequena - TETO



Fonte: Manual de construção da TETO, 2015

14.3.2 PROJETO

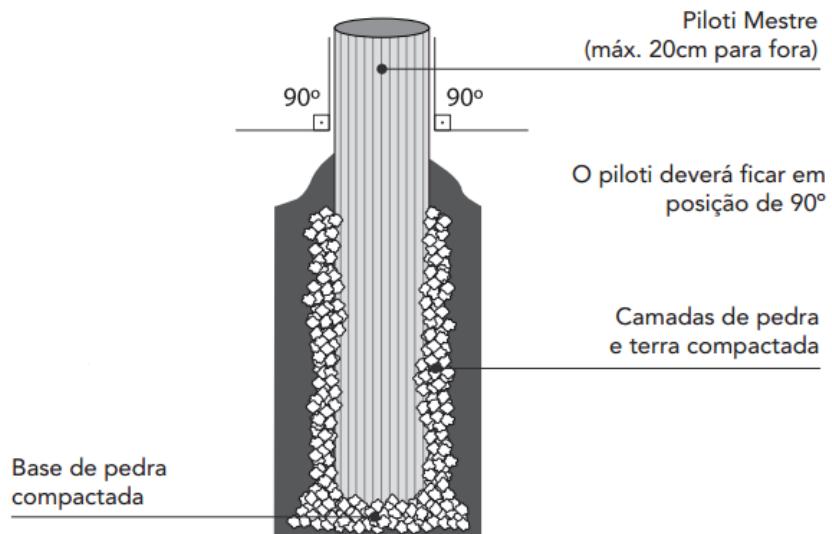
O módulo habitacional se trata de uma estrutura de madeira de um cômodo, construída sobre uma fundação, também de madeira. O módulo pode ser de dois tamanhos - 18,30m² (grande) e 14,64m² (pequena) -, alterando-se apenas uma parte da estrutura padrão.

14.3.2.1 Fundação

A fundação da casa é constituída por 12 pilotes enterrados parcialmente (por escavação e colocação) com britas e nivelados todos a partir do pilote mestre (Figura 47). Os pilotes (Figura 47 e Figura 48) são pontaletes de madeira de Eucalipto de comprimentos que podem variar de 1m a 3m e diâmetros entre 0,10m a 0,20m. O comprimento é determinado pela declividade do terreno, podendo ser serrado quando necessário.

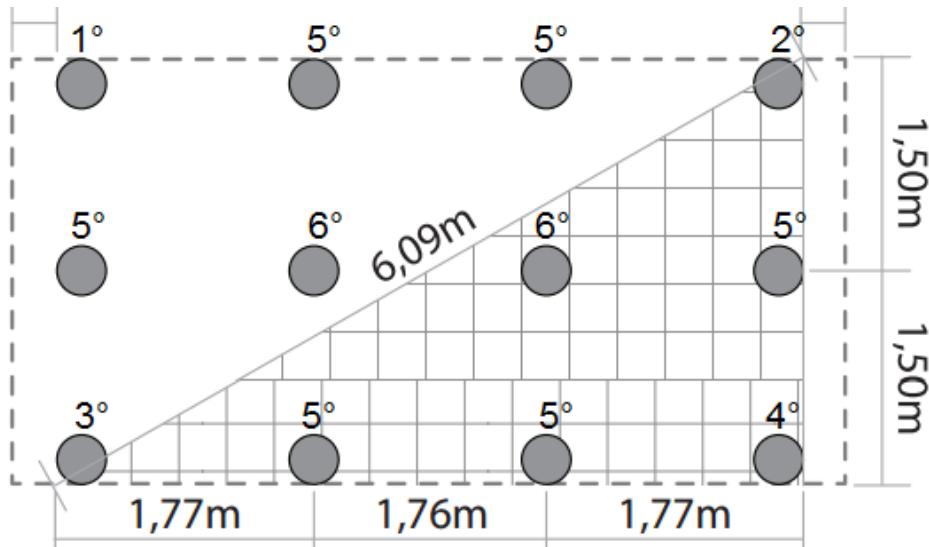
Passam pelo tratamento de autoclave que possibilita impregnar a madeira com produtos inseticidas e fungicidas, protegendo-a contra cupim e outros agentes biológicos de deterioração, o que aumenta sua durabilidade perante as intempéries. Além disso, o tratamento de autoclave possibilita que os pontaletes possam ser eventualmente serrados sem que perca tais propriedades.

Figura 47 - Esquema do piloti mestre



Fonte: Manual de construção da TETO, 2015

Figura 48 - Ordem de fixação dos pilotes

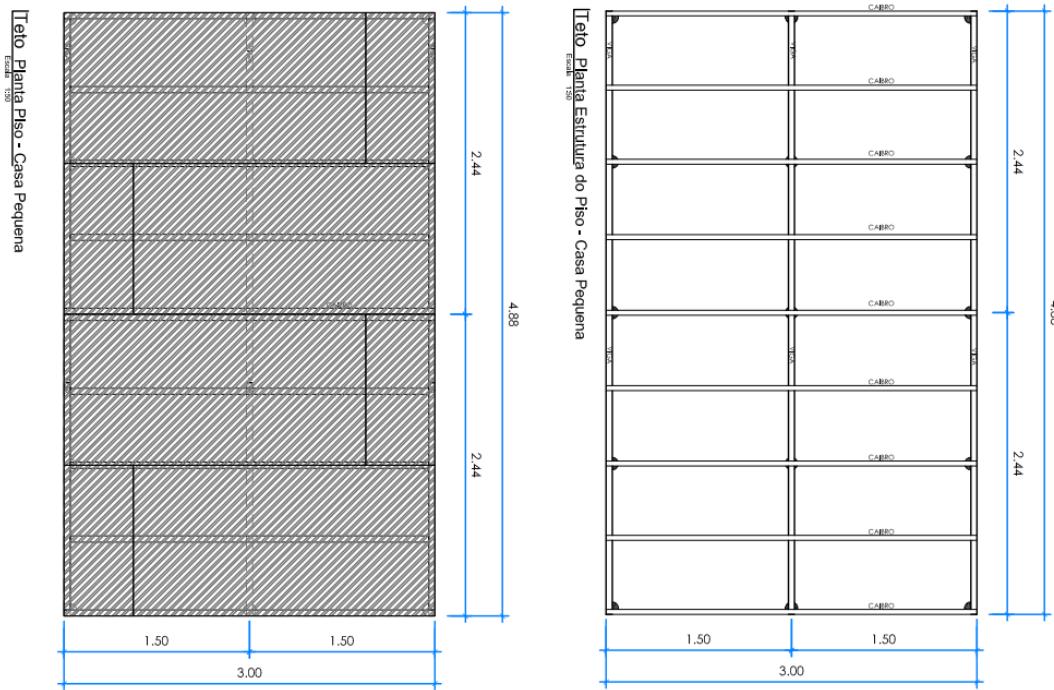


Fonte: Manual de construção da TETO, 2015

14.3.2.2 Piso e Paredes

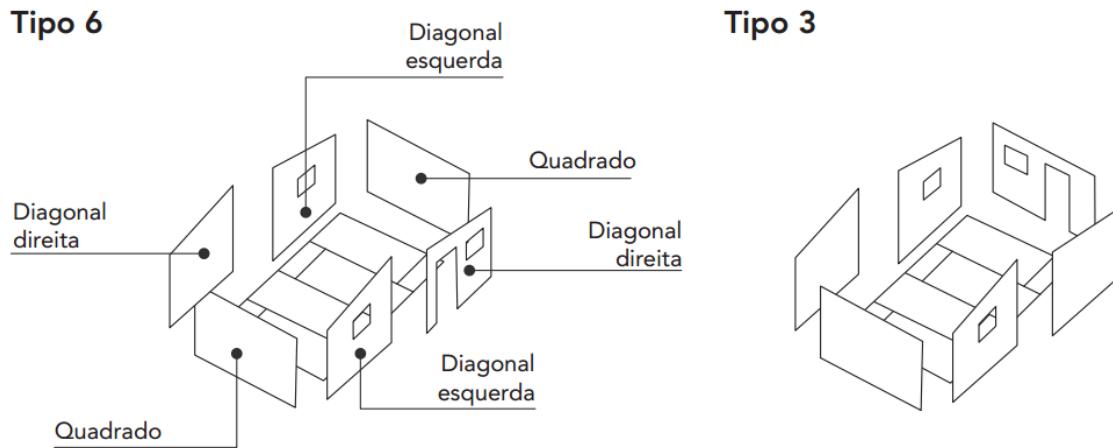
As casas pequenas ($14,64 \text{ m}^2$) são construídas por oito painéis de madeira, entre eles dois para o piso e seis para as paredes, como na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e na Figura 50, em que se encontram todas as dimensões.

Figura 49 - Planta Piso - Casa Pequena



Fonte: Projeto executivo, 2015

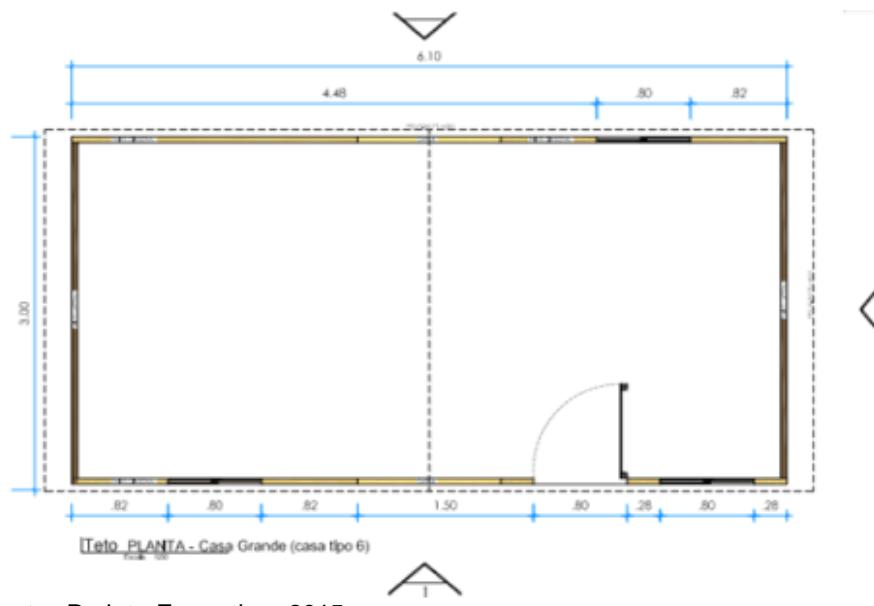
Figura 50 - Disposição dos painéis - Casa Pequena



Fonte: Manual de construção da TETO, 2015

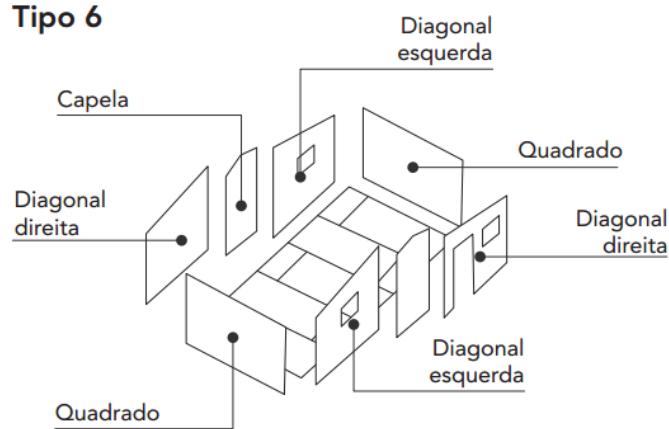
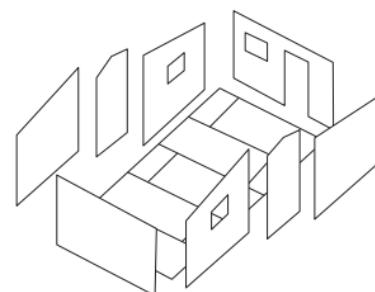
As casas grandes ($18,30m^2$) são construídas por onze painéis. Oito são idênticos aos anteriores, só adicionando um painel em cada lateral maior e outro ao piso, deixando-a assim com maior comprimento, que passa de $4,88m$ para $6,10m$. Estes estão detalhados com suas respectivas medidas na Figura 51 e na Figura 52.

Figura 51 - Planta Piso - Casa Grande



Fonte: Projeto Executivo, 2015

Figura 52 - Disposição dos Painéis - Casa Grande

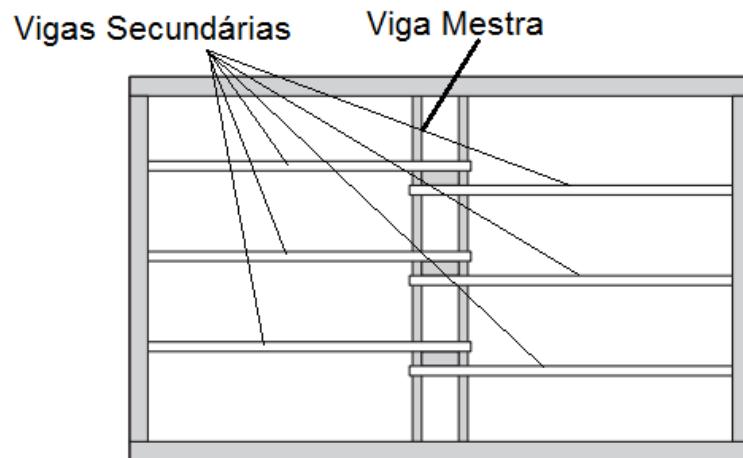
Tipo 6**Tipo 3**

Fonte: Manual de construção da TETO, 2015

Cobertura

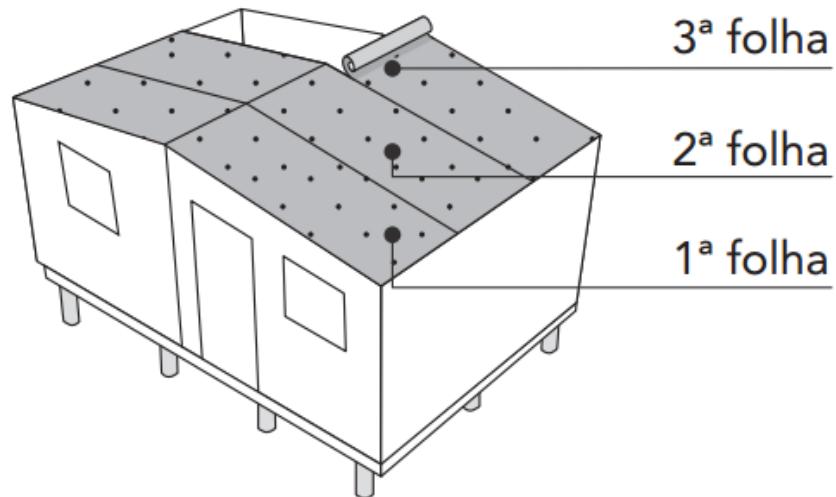
A cobertura é constituída por uma viga mestra, seis vigas secundárias e seis caibros, todos de madeira (Figura 53). Sobre estes é colocada uma manta térmica BigFoil (Figura 54), e acima as telhas frisadas compostas por zinco (Figura 55 e Figura 56).

Figura 53 - Vigas Mestra e Secundárias



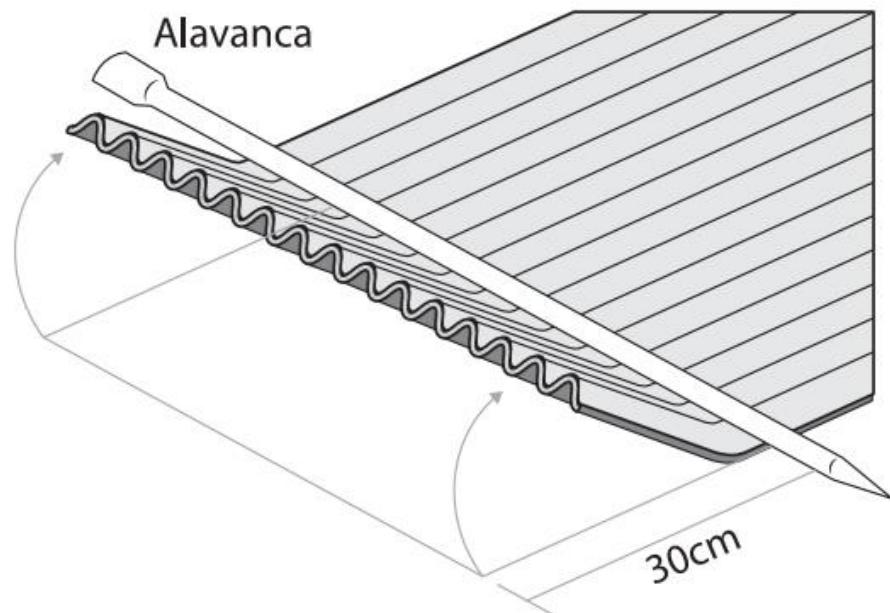
Fonte: Manual de construção da TETO, 2015

Figura 54 - Colocação da manta térmica



Fonte: Manual de construção da TETO, 2015

Figura 55 - Dobramento da telha



Fonte: Manual de construção da TETO, 2015

Figura 56 - Disposição das telhas

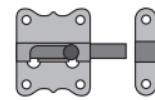


Fonte: Manual de construção da TETO, 2015

14.3.2.3 Esquadrias

Tais componentes das portas e janelas (Figura 57) são também feitos de madeira como as placas das paredes onde já são previstos espaços para as suas instalações. A fixação das janelas e porta é feita por meio de dobradiças de aço e com trincos de mesmo material, como também detalhado na Figura 58. A Figura 59, por sua vez, mostra a disposição das portas e janelas no espaço.

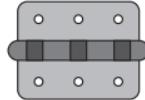
Figura 57 - Modelo de fixadores e trincos



Trincos



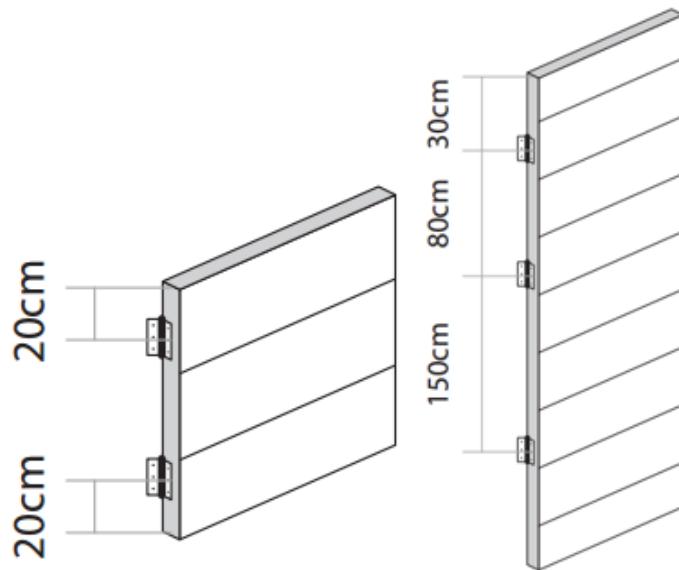
Porta-cadeado



Dobradiças

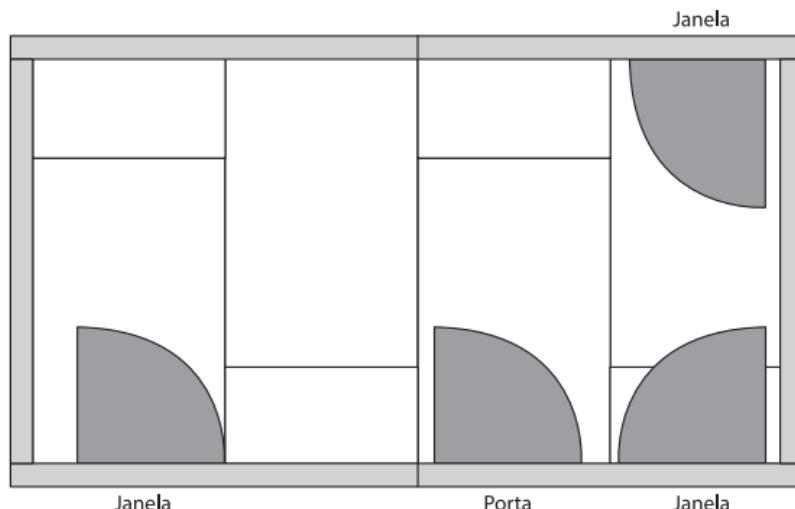
Fonte: Manual de construção da TETO, 2015

Figura 58 - Fixação de portas e janelas



Fonte: Manual de construção da TETO, 2015

Figura 59 - Disposição de portas e janelas



Fonte: Manual de construção da TETO, 2015

14.3.2.4 Sistemas Prediais

Os sistemas elétricos, de gás, de água e de esgoto não são executados nas construções realizadas pela TETO por diversos fatores. Dentre estes, pode ser citada a

localização em que estas comunidades se encontram que, mesmo sendo assentamentos de muitos anos de ocupação, na maioria dos casos não são legalizados e consequentemente grande parte destes não recebe as redes de saneamento, água, luz, entre outras.

Tais redes, mesmo nem sempre sendo autorizadas, chegam aos assentamentos pelos famosos “gatos”, e os próprios moradores fazem suas instalações como podem. Dessa forma a ONG TETO prefere não realizar tais instalações para evitar conflitos com órgãos do governo ou mesmo com as empresas que fornecem esses recursos.

14.3.2.5 Pintura

A pintura da casa não é realizada no mesmo fim de semana da construção, por questões de prioridades e tempo disponível para execução. Esta é realizada em um fim de semana seguinte à construção por voluntários juntamente com as famílias. A pintura tem uma considerável importância no aumento de durabilidade dos painéis de madeira, e ainda confere certa personalização às moradias, uma vez que as famílias escolhem as cores de preferência dentre as disponíveis.

14.3.2.6 Materiais

Os materiais utilizados já foram apresentados nos tópicos acima de acordo com suas respectivas utilizações. Segue, então, um maior detalhamento dos mesmos (Quadro 44).

Quadro 44 - Materiais e suas características

Componente	Material	Tratamento	Dimensões		Densidade (kg/m³)	
Fundação	Pontaletes de Eucalipto	Autoclave	Diâmetro - 0,10 a 0,20m Comprimento - 1 a 3m		~ 1000	
Piso	placas de madeira pinus	-	2,44 x 3,00m 1,22 x 3,00m		480	
Revestimentos (Piso, porta e janelas)	Madeira Pinus	-	0,20 x 0,025m		480	
Vigas	Madeira Pinus	-	Piso - 0,10 x 0,05m			
			Secundária - 0,10 x 0,025m		480	
Caibros	Madeira Pinus	-	0,05 x 0,05m		480	
Manta	Aluminio (99,85%) e Polietileno	Antioxidantes	Espessura 3mm Comprimento 6,40m Largura 1,20m Espessura 3mm Comprimento 5,20m Largura 1,20m		67	
Telha	Aluminio e Zinco	-	Espessura 0,5mm Comprimento 3,60m Largura 1,10m Espessura 0,5mm Comprimento 3,00m Largura 1,10m		2295	
Tinta	Coral	-	cores variadas			
Dobradiças	Aço	-	"3.1/2		7869	
Parafusos	Aço	-	Philips	4x30mm	7860	
				3x20mm		
Pregos	Aço	-	20x48mm		7860	
			20x42mm			
			18x36mm			

Fonte: Autoria própria

14.3.2.7 Custos

Não foi informado o custo parcial de cada material, entretanto o custo total de uma moradia fica em torno de R\$5.200,00 sem contar transporte e a mão de obra que se faz por voluntariado.

14.4 REQUISITOS AVALIADOS

Para a escolha da alternativa mais aplicável à realidade brasileira, foi elaborada uma matriz de decisão. Essa matriz está baseada em alguns requisitos de desempenho, considerados mais importantes para uma habitação com caráter emergencial. Para a escolha e análise dos requisitos, foi utilizado o Guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013. Ainda que se trate de uma norma destinada a habitação tradicional, ela é usada como balizador para ponderar alguns requisitos importantes principalmente relativos à segurança e habitabilidade.

Além disso, na matriz serão colocados outros requisitos, que não estão na norma, como facilidade de construção, custo, entre outros, que foram julgados como essenciais em habitações emergenciais.

A norma é dividida em três grandes categorias: exigência de segurança, exigência de habitabilidade e requisitos de sustentabilidade. Dentro destes três grandes grupos, há diversos requisitos, dos quais foram os escolhidos os mais preponderantes para as habitações estudadas neste trabalho. A seguir, é apresentada a lista dos requisitos considerados mais importantes, além dos demais aspectos não presentes na norma.

14.4.1 Condições de Salubridade

A habitação deve fornecer condições mínimas de salubridade aos moradores. A construção deve dificultar a entrada de insetos e roedores, não deve promover a retenção de umidade e proliferação de fungos e outros animais. Para tanto, a habitação deve garantir a ventilação do ambiente interno, deve ter cobertura, fachadas e janelas que garantam estanqueidade e que não apresentem frestas ou nichos e, por fim, as áreas molhadas devem possuir piso lavável.

14.4.2 Desempenho Estrutural

Este requisito considera os Estados Limites Últimos – ELU (ruína, deformação plástica excessiva) e os Estados Limites de Serviço, que resultam no comprometimento da utilização da habitação, oferecendo risco aos habitantes. Dentre as exigências nesse

item, destaca-se que a estrutura não deve ruir ou perder estabilidade, deve garantir segurança aos usuários sob ação de impactos e não deve transmitir a sensação de insegurança aos moradores.

Além disso, nesse item verificam-se também os deslocamentos do sistema estrutural, que está sob a ação de cargas gravitacionais, vento, temperatura, entre outras solicitações existentes. Portanto, a estrutura não pode apresentar deslocamentos maiores do que os determinados na norma.

Por não ser possível a realização de testes de resistência e de deslocamentos em laboratórios, será analisado qual material é o mais resistente através de suas propriedades.

14.4.3 Segurança Contra Incêndio

O objetivo deste item é primeiramente garantir a segurança dos usuários e depois a segurança patrimonial. São levados em conta: tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF), dificuldade de propagação do fogo, possíveis rotas de fuga, propagação de fumaça e facilidade de acesso dos bombeiros.

Primeiramente, é importante evitar ou dificultar a propagação das chamas, o que depende das características do material, como ignitibilidade, incombustibilidade, entre outros. Posteriormente, o elemento de grande importância é a resistência ao fogo dos elementos da construção.

Para que os requisitos de segurança contra incêndio sejam atendidos, são levados em conta os seguintes critérios:

- a) Estanqueidade: permite analisar se os produtos do incêndio (gases quentes e chamas) são transmitidos pelos elementos construtivos para faces não expostas ao fogo, através de fissuras ou aberturas.

- b) Isolamento térmico: avalia a transmissão de calor para as faces não expostas ao fogo. Para que esse critério seja atendido, a temperatura da face não exposta ao fogo não deve passar de $140^{\circ}\text{C} + T_{\text{ambiente}}$ na média ou de $180^{\circ}\text{C} + T_{\text{ambiente}}$ em qualquer ponto medido.
- c) Estabilidade: analisa se as chamas e gases quentes produzidos durante o incêndio são transmitidos por fissuras ou aberturas para outros ambientes da residência.

Além disso, as paredes estruturais devem resistir ao fogo no mínimo por 30 minutos, garantindo estabilidade, estanqueidade e isolamento térmico, sendo que em habitações unifamiliares de até dois pavimentos, que é o caso do estudo em questão, essa resistência é requerida só para cozinhas e ambientes fechados que abriguem equipamentos de gás, além da estrutura do sistema de cobertura.

Por fim, os materiais de revestimento empregados na face interna devem ter características que dificultem a propagação do fogo, ou seja, devem ter características de reação ao fogo controladas, como incombustibilidade, propagação superficial de chamas e geração de fumaça.

14.4.4 Segurança No Uso e Operação

As peças do telhado e lajes de coberturas não devem se desprender devido à ação do peso próprio, garantindo proteção e estanqueidade.

14.4.5 Funcionalidade e Acessibilidade

Esse item contempla alguns aspectos, dos quais podemos destacar:

- a) Pé direito mínimo: Deve ser de 2,5 metros, podendo se reduzir para 2,3 metros em halls, corredor, despensas e etc.
- b) Disponibilidade mínima de espaços para uso e operação da habitação: Os cômodos devem prover espaços compatíveis com as necessidades e atividades

humanas e devem suportar acomodar móveis e equipamentos-padrão, relacionados no Quadro 45.

Quadro 45 - Móveis e equipamentos-padrão a serem acomodados

Atividades essenciais/Cômodo	Móveis e equipamentos-padrão
Dormir/Dormitório de casal	Cama de casal + guarda-roupa + criado-mudo (mínimo 1)
Dormir/Dormitório para duas pessoas (2º Dormitório)	Duas camas de solteiro + guarda-roupa + criado-mudo ou mesa de estudo
Dormir/Dormitório para uma pessoa (3º Dormitório)	Cama de solteiro + guarda-roupa + criado-mudo
Estar	Sofá de dois ou três lugares + armário/estante + poltrona
Cozinhar	Fogão + geladeira + pia de cozinha + armário sobre a pia + gabinete + apoio para refeição (2 pessoas)
Alimentar/tomar refeições	Mesa + quatro cadeiras
Fazer higiene pessoal	Lavatório + chuveiro (box) + vaso sanitário NOTA: no caso de lavabos, não é necessário o chuveiro.
Lavar, secar e passar roupas	Tanque (externo para unidades habitacionais térreas) + máquina de lavar roupa
Estudar, ler, escrever, costurar, reparar e guardar objetos diversos	Escrivaninha ou mesa + cadeira

Fonte: Autoria própria

Este requisito, porém, não será atendido da forma como a norma pede, por se tratar de casas emergenciais, as quais não possuem como objetivo principal grande conforto para seus habitantes e sim o mínimo para que se possa viver. Portanto, quando da análise deste item, será usado um critério mais subjetivo para verificar quais alternativas chegam mais próximas de atendê-lo, como por exemplo, a possibilidade de se colocar um mobiliário mínimo para se viver.

14.4.6 Desempenho Térmico

Possui grande interferência nas condições de vida dos habitantes, pois pode garantir o conforto necessário para que as pessoas realizem suas atividades diárias. A avaliação do desempenho em relação a este critério pode ser feita através da análise das propriedades térmicas dos componentes da construção ou através de simulações computacionais. No trabalho em questão, será utilizado o primeiro método.

Os critérios de desempenhos neste quesito sempre levam em conta as condições naturais do ambiente, sem sistemas de refrigeração. Neste item, são analisadas as transmitâncias térmicas e as capacidades térmicas das paredes e cobertura, que não devem ultrapassar certos valores, exigidos pela norma. Devido à rusticidade das habitações estudadas neste trabalho, não será imposto o valor máximo possível dessas propriedades, e sim comparados os valores de cada alternativa.

Além disso, ainda seria necessário analisar as temperaturas internas mínimas de inverno e máximas de verão, o que não será possível devido à falta de informações a respeito das alternativas propostas, que dificilmente têm histórico de execução.

14.4.7 Desempenho Acústico

De grande importância para o conforto dos habitantes e para que estes possam realizar suas atividades sem grandes interferências. Neste item, será analisada a capacidade de isolamento acústico das paredes e coberturas. O ruído de impacto em pisos não será analisado em questão por não ser considerado essencial em uma habitação emergencial.

Para que se satisfaça esse item, segundo a norma, a diferença entre o ruído gerado externamente e o ruído interno deve atender ao Quadro 46 abaixo. Como não será possível fazer ensaios em campo para se medir os ruídos existentes, será analisado quais alternativas possuem materiais que mais isolem acusticamente o ambiente.

Quadro 46 - Nível de desempenho acústico

Classe de ruído	Localização da Habitação	dB	Nível de Desempenho
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas.	≥ 20	M
		≥ 25	I
		≥ 30	S
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	≥ 25	M
		≥ 30	I
		≥ 35	S
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que esteja de acordo com a legislação	≥ 30	M
		≥ 35	I
		≥ 40	S

Nota 1 - Para vedação externa de salas, cozinhas, lavanderias e banheiros, não há requisitos específicos.
 Nota 2 - Em regiões de aeroportos, estádios, locais de eventos esportivos, rodovias e ferrovias
 há necessidade de estudos específicos

Fonte: Autoria própria

14.4.8 Desempenho Lumínico

As alternativas analisadas apresentam características lumínicas muito similares com poucas variações entre elas, entretanto será levado em conta na matriz de decisão, pois aumentando os critérios diminui a margem de empates para a escolha do melhor sistema.

14.4.9 Durabilidade

Por se tratar de moradias emergenciais, não será possível seguir a norma neste quesito, pois as habitações não precisam garantir seu desempenho por tanto tempo, como as habitações habituais. No estudo em questão serão consideradas opções que apresentem dez anos de durabilidade, no mínimo.

Anteriormente foram citados os requisitos exigidos por norma que foram considerados mais importantes e possíveis de serem respeitados em uma habitação emergencial. Além desses itens, também serão considerados os seguintes aspectos:

14.4.10 Aspecto Ambiental

Será analisada a procedência dos materiais utilizados nas alternativas estudadas, favorecendo sistemas que utilizem elementos ecologicamente adequados, como por

exemplo, materiais reutilizados. Além disso, será levada em conta também a possibilidade de reutilizar tais materiais após a posterior desmontagem da habitação.

14.4.11 Facilidade de Transporte e Montagem/Desmontagem

Considerando a realidade do Brasil, as moradias emergenciais serão, provavelmente, construídas em comunidades que possuem acesso através de vielas estreitas e precárias, além de apresentarem pouco espaço para a sua construção. Devido a este fato, a facilidade de transporte dos componentes (peso e volume dos materiais) e de construção da habitação é um fator de extrema importância e também será considerada na matriz de decisão.

14.4.12 Custo

Uma das principais características necessárias para moradias emergenciais é seu baixo custo, devido à falta de recursos para sua execução e ao grande número de habitações a serem construídas, portanto, custo será um aspecto preponderante na escolha da alternativa mais aplicável para a realidade brasileira.

APÊNDICE C - (MATERIAL DE APOIO PARA O CAPÍTULO “ESTRUTURA”)

Quadro 47 - Ações permanentes

Combinações	Ações permanentes (γ_g) ^{a,c}					Indiretas	
	Diretas						
	Peso próprio de estruturas metálicas	Peso próprio de estruturas pré-moldadas	Peso próprio de estruturas moldadas no local e de elementos construtivos industrializados e empuxos permanentes	Peso próprio de elementos construtivos industrializados com adições <i>in loco</i>	Peso próprio de elementos construtivos em geral e equipamentos		
Normais	1,25 (1,00)	1,30 (1,00)	1,35 (1,00)	1,40 (1,00)	1,50 (1,00)	1,20 (0)	
Especiais ou de construção	1,15 (1,00)	1,20 (1,00)	1,25 (1,00)	1,30 (1,00)	1,40 (1,00)	1,20 (0)	
Excepcionais	1,10 (1,00)	1,15 (1,00)	1,15 (1,00)	1,20 (1,00)	1,30 (1,00)	0 (0)	
	Ações variáveis (γ_q) ^{a,d}						
	Efeito da temperatura ^b	Ação do vento	Ações truncadas ^e	Demais ações variáveis, incluindo as decorrentes do uso e ocupação			
	1,20	1,40	1,20	1,50			
Normais	1,00	1,20	1,10	1,30			
Especiais ou de construção	1,00	1,00	1,00	1,00			

Fonte: ABNT NBR 6123:1988.

Quadro 48 – Tipo de Relevo do Terreno

S ₁	TIPO DE RELEVO DO TERRENO
1	Terreno Plano ou fracamente acidentado
VARIÁVEL	Taludes e Morros
0,9	Vales Profundos e protegidos de ventos de qualquer direção.

Fonte: ABNT NBR 6123:1988.

Quadro 49 - Tipo de superfície do terreno

CATEGORIA	TIPO DE SUPERFÍCIE DO TERRENO
I	Superfícies lisas de grandes dimensões, com mais de 5 km de extensão, medida na direção e sentido do vento incidente.
II	Terrenos abertos em nível ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos isolados, tais como árvores e edificações baixas. Obstáculos com altura média abaixo de 1,0 metros.
III	Terrenos planos ou ondulados com obstáculos, tais como sebes e muros, poucos quebra-ventos. Obstáculos com altura média de 3,0 metros.
IV	Terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados, em zona florestal, industrial ou urbanizada. Altura média dos obstáculos de 10 metros.
V	Terrenos cobertos por obstáculos numerosos, grandes, altos e pouco espaçados. Obstáculos com altura média de 25 metros ou mais.

Fonte: ABNT NBR 6123:1988.

Quadro 50 - Dimensões do edifício

CLASSE	DIMENSÕES DO EDIFÍCIO
A	Todas as unidades de vedação, seus elementos de fixação e peças individuais de estruturas sem vedação. Toda edificação na qual a maior dimensão horizontal ou vertical seja inferior a 20 metros .
B	Toda edificação ou parte de edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal esteja entre 20 e 50 metros .
C	Toda edificação ou parte de edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal exceda 50 metros .

Fonte: ABNT NBR 6123:1988.

Quadro 51 - Altura da edificação (1)

Altura z (m)	I			II		
	CLASSE			CLASSE		
	A	B	C	A	B	C
≤ 5	1,06	1,04	1,01	0,94	0,92	0,89
10	1,1	1,09	1,06	1	0,98	0,95
15	1,13	1,12	1,09	1,04	1,02	0,99
20	1,15	1,14	1,12	1,06	1,04	1,02
30	1,17	1,17	1,15	1,1	1,08	1,06
40	1,2	1,19	1,17	1,13	1,11	1,09
50	1,21	1,21	1,19	1,15	1,13	1,12
60	1,22	1,22	1,21	1,16	1,15	1,14
80	1,25	1,24	1,23	1,19	1,18	1,17
100	1,26	1,26	1,25	1,22	1,21	1,2
120	1,28	1,28	1,27	1,24	1,23	1,22
140	1,29	1,29	1,28	1,25	1,24	1,24
160	1,3	1,3	1,29	1,27	1,26	1,25
180	1,31	1,31	1,31	1,28	1,27	1,27
200	1,32	1,32	1,32	1,29	1,28	1,28
250	1,34	1,34	1,33	1,31	1,31	1,31
300				1,34	1,33	1,33
350						
400						
420						
450						
500						

Fonte: ABNT NBR 6123:1988.

Quadro 52 - Altura da edificação (2)

Altura z (m)	III CLASSE			IV CLASSE			V CLASSE			
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
	≤ 5	0,88	0,86	0,82	0,79	0,76	0,73	0,74	0,72	0,67
10	0,94	0,92	0,88	0,86	0,83	0,8	0,74	0,72	0,67	
15	0,98	0,96	0,93	0,9	0,88	0,84	0,79	0,76	0,72	
20	1,01	0,99	0,96	0,93	0,91	0,88	0,82	0,8	0,76	
30	1,05	1,03	1	0,98	0,96	0,93	0,87	0,85	0,82	
40	1,08	1,06	1,04	1,01	0,99	0,96	0,91	0,89	0,86	
50	1,1	1,09	1,06	1,04	1,02	0,99	0,94	0,93	0,89	
60	1,12	1,11	1,09	1,07	1,04	1,02	0,97	0,95	0,92	
80	1,16	1,14	1,12	1,1	1,08	1,06	1,01	1	0,97	
100	1,18	1,17	1,15	1,13	1,11	1,09	1,05	1,03	1,01	
120	1,2	1,2	1,18	1,16	1,14	1,12	1,07	1,06	1,04	
140	1,22	1,22	1,2	1,18	1,16	1,14	1,1	1,09	1,07	
160	1,24	1,23	1,22	1,2	1,18	1,16	1,12	1,11	1,1	
180	1,26	1,25	1,23	1,22	1,2	1,18	1,14	1,14	1,12	
200	1,27	1,26	1,25	1,23	1,21	1,2	1,16	1,16	1,14	
250	1,3	1,29	1,28	1,27	1,25	1,23	1,2	1,2	1,18	
300	1,32	1,32	1,31	1,29	1,27	1,26	1,23	1,23	1,22	
350	1,34	1,34	1,33	1,32	1,3	1,29	1,26	1,26	1,26	
400				1,34	1,32	1,32	1,29	1,29	1,29	
420					1,35	1,35	1,33	1,3	1,3	
450							1,32	1,32	1,32	
500							1,34	1,34	1,34	

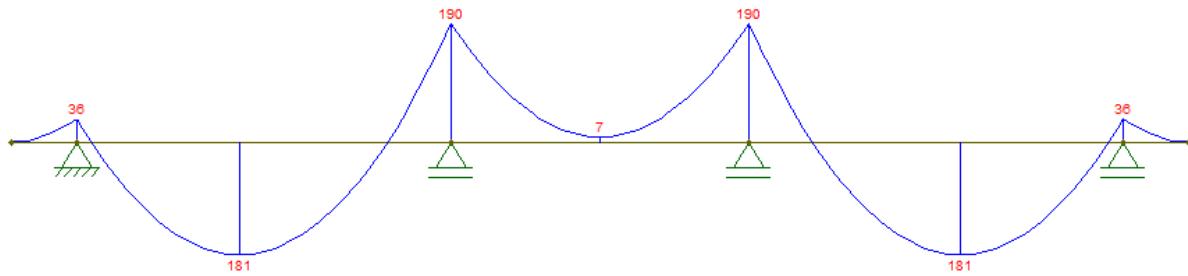
Fonte: ABNT NBR 6123:1988.

Quadro 53 - Grau de segurança

GRUPO	DESCRÍÇÃO	FATOR s_3
1	Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros e de forças de segurança, centrais de comunicação, etc.)	1,1
2	Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação.	1
3	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc.)	0,95
4	Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc.)	0,88
5	Edificações temporárias. Estruturas dos grupos 1 a 3 durante a construção.	0,83

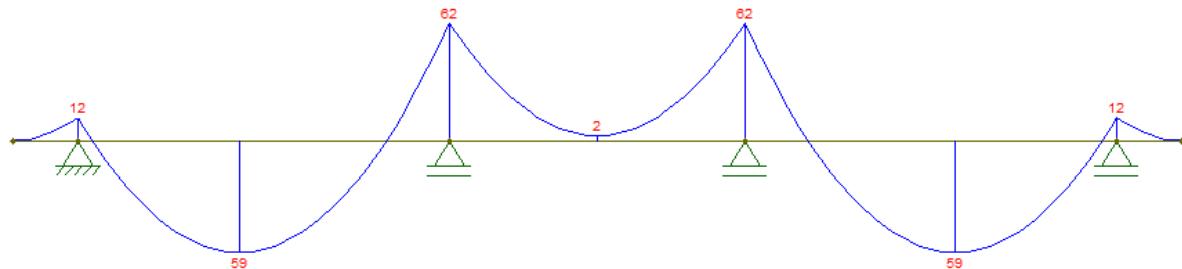
Fonte: ABNT NBR 6123:1988.

Figura 60- Momentos em x (kNcm) na terça 2



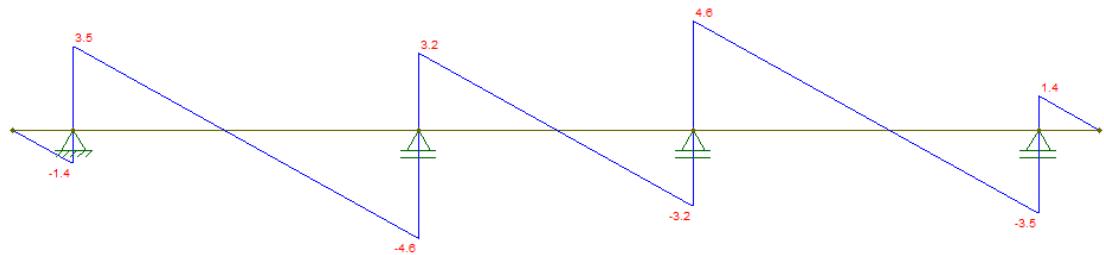
Fonte: elaborado pelos autores.

Figura 61 - Momentos em y (kN cm) na terça 2



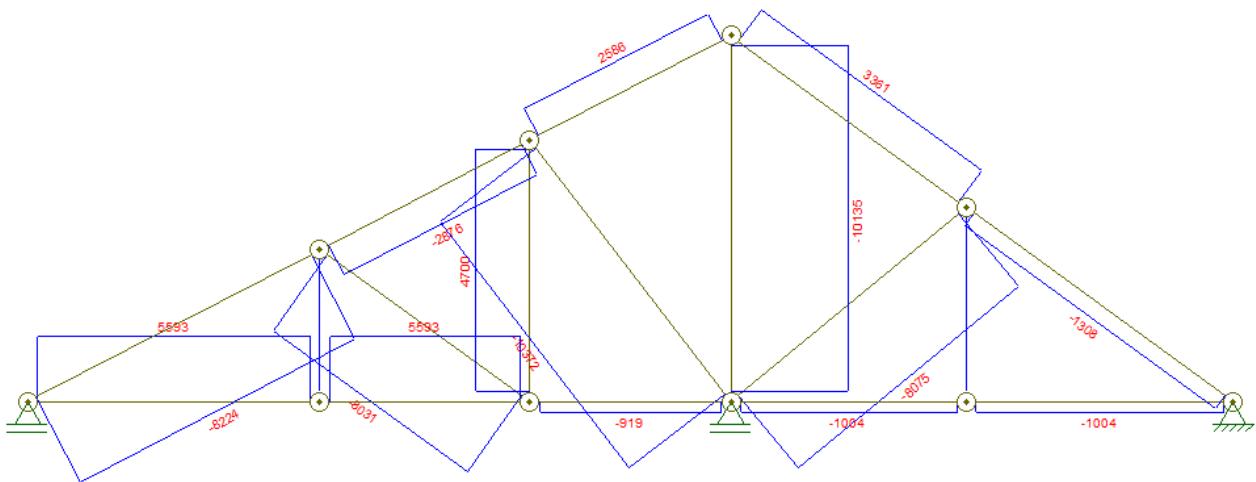
Fonte: elaborado pelos autores.

Figura 62 - Força cortante em y na terça 2



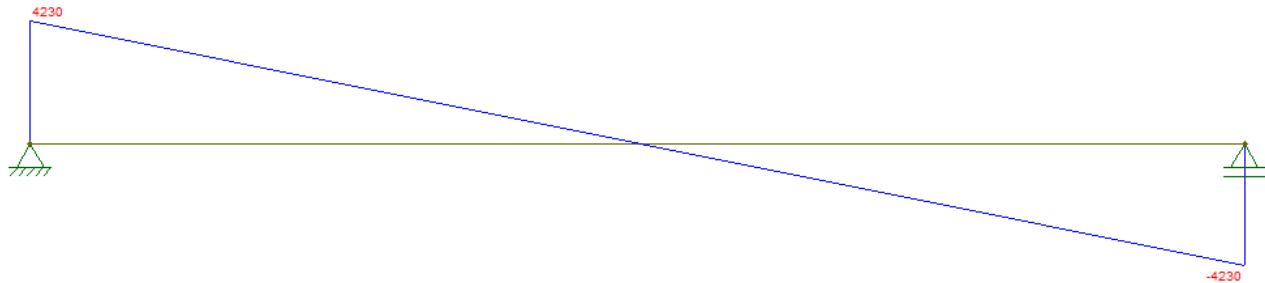
Fonte: elaborado pelos autores.

Figura 63 - Diagrama de esforços normais das treliças 2 e 3



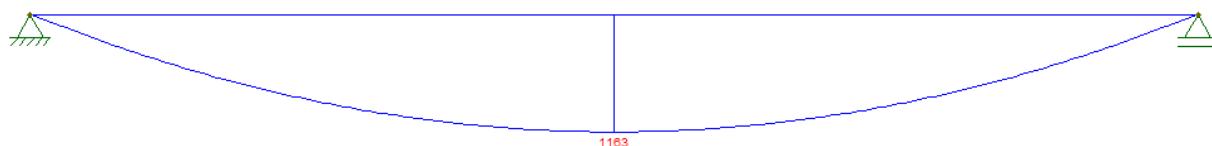
Fonte: elaborado pelos autores.

Figura 64 - Diagrama de força cortante (em N) das vigas W3 e W4



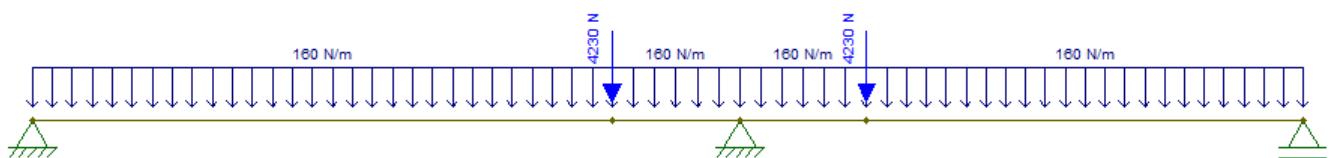
Fonte: elaborado pelos autores.

Figura 65 - Diagrama de momento fletor (em Nm) das vigas W3 e W4



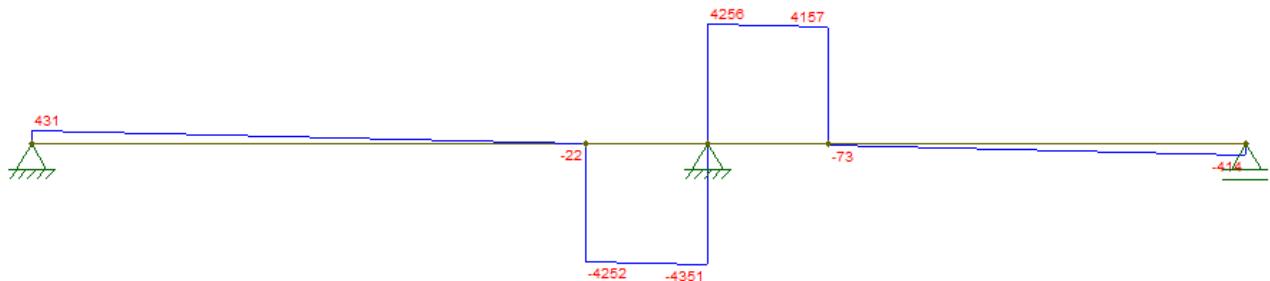
Fonte: elaborado pelos autores.

Figura 66 - Carregamento sobre as vigas W1 e W2



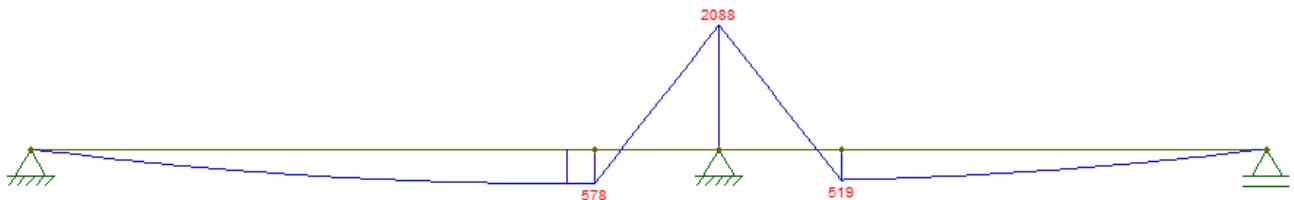
Fonte: elaborado pelos autores.

Figura 67 - Diagrama de força cortante (N) das vigas W1 e W2



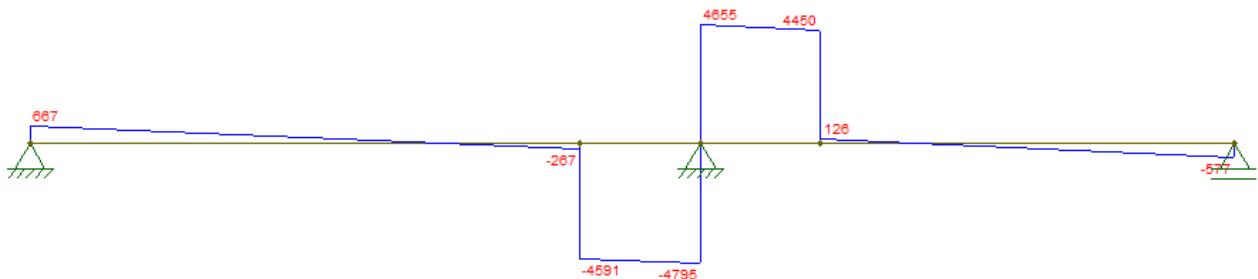
Fonte: elaborado pelos autores.

Figura 68 - Diagrama de momento fletor (Nm) das vigas W1 e W2



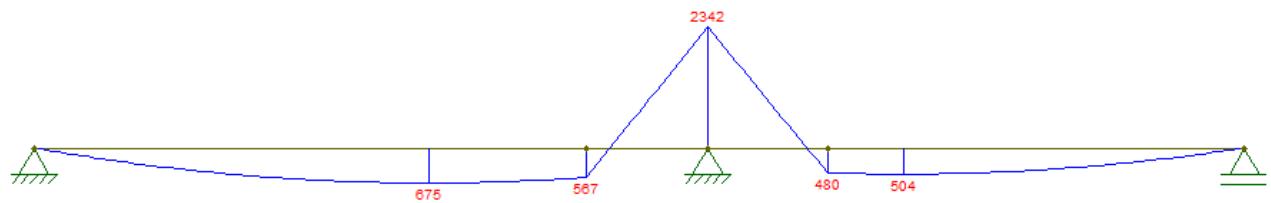
Fonte: elaborado pelos autores.

Figura 69 - Novo diagrama de força cortante das vigas W1 e W2



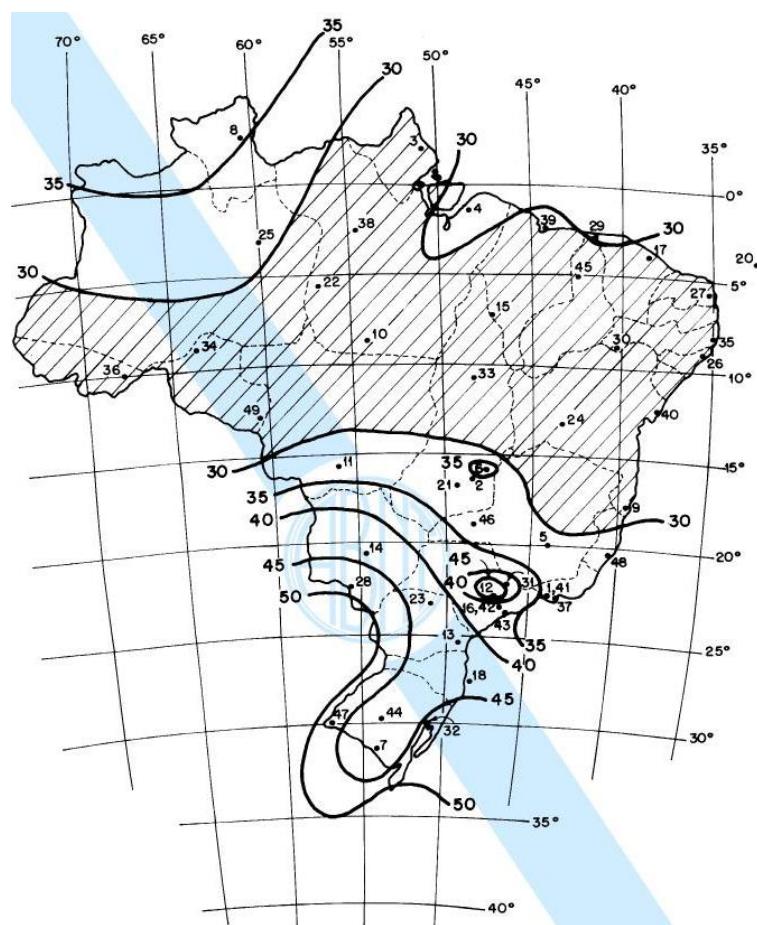
Fonte: elaborado pelos autores.

Figura 70 - Novo diagrama de momento fletor das vigas W1 e W2



Fonte: elaborado pelos autores.

Figura 71 - Mapa com isopletas



Fonte: ABNT NBR 6123:1988.

15 ANEXO A (TABELA DE PERFIS EM CANTONEIRA DUPLA DE ABAS IGUAIS)

Tabela E.2 — Cantoneira dupla de abas iguais

Propriedades para dimensionamento

<i>b_f</i>		<i>P</i>	<i>A</i>	<i>t_f</i>	Eixo X-X				Raio de giração em relação ao eixo Y-Y - cm						
					<i>I</i>	<i>W</i>	<i>r</i>	<i>y</i>	<i>t</i>						
pol	cm	kg/m	cm ²	pol	cm ⁴	cm ³	cm	cm	0	1/8"	3/16"	1/4"	5/16"	3/8"	1/2"
1/2"	1,27	1,10	1,40	1/8"	0,20	0,22	0,37	0,43	0,57	0,70	0,77	0,84	0,91	0,98	1,13
5/8"	1,58	1,42	1,80	1/8"	0,40	0,38	0,47	0,51	0,69	0,82	0,88	0,95	1,02	1,09	1,24
3/4"	1,905	1,74	2,22	1/8"	0,72	0,54	0,57	0,59	0,82	0,94	1,00	1,07	1,14	1,21	1,35
7/8"	2,223	2,08	2,64	1/8"	1,16	0,76	0,66	0,66	0,94	1,05	1,12	1,18	1,25	1,32	1,45
		2,98	3,80	3/16"	1,58	1,08	0,66	0,74	0,98	1,11	1,17	1,24	1,31	1,38	1,52
1"	2,54	2,38	2,96	1/8"	1,79	1,02	0,79	0,75	1,07	1,20	1,26	1,32	1,39	1,45	1,59
		3,46	4,38	3/16"	2,50	1,44	0,76	0,81	1,11	1,23	1,29	1,36	1,42	1,49	1,63
		4,44	5,68	1/4"	3,32	1,96	0,76	0,86	1,15	1,27	1,34	1,40	1,47	1,54	1,68
1 1/4"	3,175	3,00	3,86	1/8"	3,66	1,62	0,97	0,89	1,33	1,45	1,51	1,57	1,63	1,69	1,83
		4,40	5,54	3/16"	5,12	2,33	0,97	0,7	1,37	1,48	1,54	1,61	1,67	1,74	1,87
		5,72	7,24	1/4"	6,37	2,97	0,94	1,02	1,39	1,51	1,57	1,63	1,70	1,77	1,90
1 1/2"	3,81	3,66	4,64	1/8"	6,49	2,36	1,17	1,07	1,59	1,71	1,76	1,82	1,88	1,95	2,08
		5,36	6,84	3/16"	9,16	3,41	1,17	1,12	1,62	1,73	1,79	1,85	1,92	1,98	2,11
		6,96	8,90	1/4"	11,53	4,39	1,15	1,19	1,64	1,76	1,82	1,88	1,94	2,01	2,14
1 3/4"	4,445	4,28	5,42	1/8"	10,45	3,24	1,40	1,22	1,85	1,96	2,02	2,08	2,14	2,20	2,33
		6,30	8,00	3/16"	14,90	4,72	1,37	1,30	1,87	1,98	2,04	2,10	2,16	2,22	2,35
		8,24	10,44	1/4"	18,90	6,10	1,35	1,35	1,90	2,01	2,07	2,13	2,20	2,27	2,39
		10,08	12,90	5/16"	22,60	7,50	1,32	1,41	1,93	2,05	2,11	2,18	2,24	2,30	2,44
2"	5,08	4,92	6,20	1/8"	15,82	4,26	1,60	1,40	2,12	2,23	2,29	2,35	2,40	2,46	2,59
		7,26	9,16	3/16"	23,40	6,26	1,58	1,45	2,16	2,27	2,32	2,38	2,44	2,50	2,63
		9,48	12,12	1/4"	29,20	8,20	1,55	1,50	2,16	2,27	2,33	2,39	2,45	2,51	2,64
		11,66	14,84	5/16"	35,00	9,82	1,53	1,55	2,18	2,30	2,36	2,42	2,48	2,54	2,67
		13,98	17,52	3/8"	140,00	11,46	1,50	1,62	2,22	2,34	2,39	2,46	2,52	2,58	2,71
pol	cm	kg/m	cm ²	pol	cm ⁴	cm ³	cm	cm	0	1/4"	5/16"	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"
2 1/2"	6,35	9,14	11,60	3/16"	46,00	9,82	1,98	1,75	2,65	2,87	2,93	2,98	3,10	3,23	3,36
		12,20	15,34	1/4"	58,00	12,80	1,96	1,83	2,67	2,90	2,96	3,02	3,14	3,27	3,39
		14,88	18,96	5/16"	70,00	15,74	1,93	1,88	2,69	2,92	2,98	3,04	3,16	3,29	3,42
		17,56	22,32	3/8"	82,00	18,70	1,91	1,93	2,72	2,95	3,01	3,08	3,20	3,33	3,46
3"	7,62	11,04	14,06	3/16"	80,00	14,42	2,39	2,08	3,16	3,38	3,44	3,50	3,61	3,73	3,85
		14,58	18,58	1/4"	100,00	19,00	2,36	2,13	3,15	3,37	3,43	3,49	3,61	3,73	3,86
		18,14	22,96	5/16"	124,00	23,20	2,34	2,21	3,21	3,43	3,49	3,55	3,67	3,80	3,92
		21,42	27,22	3/8"	150,00	27,20	2,31	2,26	3,26	3,49	3,55	3,61	3,73	3,85	3,98
		24,68	31,34	7/16"	166,00	31,20	2,31	2,31	3,26	3,49	3,55	3,61	3,74	3,86	3,99
		28,00	35,48	1/2"	182,00	36,00	2,29	2,36	3,27	3,51	3,57	3,63	3,75	3,86	4,01
4"	10,16	19,62	25,02	1/4"	250,00	32,80	3,17	2,77	4,20	4,42	4,47	4,53	4,65	4,76	4,88
		24,38	30,95	5/16"	308,00	42,60	3,15	2,84	4,24	4,40	4,52	4,58	4,69	4,81	4,93
		29,14	36,90	3/8"	366,00	49,20	3,12	2,90	4,28	4,50	4,56	4,62	4,73	4,85	4,98
		33,60	42,70	7/16"	416,00	59,00	3,12	2,95	4,29	4,52	4,58	4,63	4,75	4,87	5,00
		38,06	48,38	1/2"	466,00	65,60	3,10	3,00	4,32	4,54	4,60	4,66	4,78	4,90	5,03
		42,52	53,92	9/16"	508,00	72,20	3,07	3,07	4,34	4,57	4,63	4,69	4,81	4,93	5,06
		46,70	59,46	5/8"	558,00	78,80	3,05	3,12	4,37	4,60	4,66	4,72	4,85	4,97	5,10
5"	12,7	36,60	46,58	3/8"	724,00	79,00	3,94	3,53	5,29	5,51	5,56	5,62	5,74	5,85	5,97
		48,20	61,28	1/2"	940,00	105,00	3,91	3,63	5,34	5,56	5,62	5,67	5,79	5,91	6,03
		59,60	75,60	5/8"	1132,00	128,00	3,86	3,76	5,40	5,62	5,68	5,74	5,86	5,98	6,09
		70,20	89,52	3/4"	1306,00	147,60	3,81	3,86	5,43	5,66	5,72	5,78	5,90	6,02	6,14
6"	15,24	44,44	56,24	3/8"	1282,00	114,80	4,78	4,17	6,34	6,55	6,61	6,66	6,77	6,89	7,00
		58,40	74,18	1/2"	1656,00	150,80	4,72	4,27	6,37	6,59	6,64	6,70	6,81	6,93	7,04
		72,00	91,72	5/8"	2014,00	187,00	4,67	4,39	6,42	6,64	6,70	6,76	6,87	6,99	7,11
		85,40	108,88	3/4"	2346,00	219,80	4,65	4,52	6,48	6,70	6,76	6,82	6,94	7,06	7,18
		98,60	125,52	7/8"	2654,00	249,20	4,60	4,62	6,52	6,75	6,81	6,86	6,98	7,10	7,22

Fonte: Metálica Construção Civil.

