



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ESTRUTURAS EM *LIGHT STEEL FRAMING*:
PROJETO E DIMENSIONAMENTO EM SOFTWARES 3D**

VICTOR VIEIRA BELAFONTE BARROS

UBERLÂNDIA – MINAS GERAIS

AGOSTO 2017

VICTOR VIEIRA BELAFONTE BARROS

**ESTRUTURAS EM *LIGHT STEEL FRAMING*:
PROJETO E DIMENSIONAMENTO EM SOFTWARES 3D**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Engenharia Civil, da Universidade
Federal de Uberlândia, como requisito para a
conclusão do curso.

Orientadora: Prof.^a Mestra Lorena Costa Campos

UBERLÂNDIA - MINAS GERAIS

AGOSTO 2017

FOLHA DE ASSINATURAS

VICTOR VIEIRA BELAFONTE BARROS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PRIMEIRO SEMESTRE DE 2017

Termo de compromisso firmado entre o estudante, do curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), e a orientadora Lorena Costa Campos para a realização da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso.

Uberlândia, 03 de agosto de 2017

Assinaturas:

Victor Vieira Belafonte Barros – Aluno

Ma. Lorena Costa Campos – Professora Orientadora

FOLHA DE APROVAÇÃO

VICTOR VIEIRA BELAFONTE BARROS

ESTRUTURAS EM *LIGHT STEEL FRAMING*: PROJETO E DIMENSIONAMENTO EM SOFTWARES 3D

Aprovado em: ____/____/____

Banca Examinadora – Assinaturas:

Professor Dr. Gerson Moacyr Sisniegas Alva
(Examinador UFU)

Professora Ismara Simão Curi Arantes
(Examinadora UFU)

Professora Ma. Lorena Costa Campos
(Examinadora UFU)

Aluno: Victor Vieira Belafonte Barros
(Autor)

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Gilberto e Vera, minhas maiores referências, que são assumidamente os melhores apoiadores de toda e qualquer coisa. A vocês o reconhecimento vai muito além do cuidado, carinho, dedicação e amor incondicional. Obrigado por serem minha dose diária de força.

Ao elo entre o passado, presente e futuro, refletido nas minhas irmãs Cindhi e Thaís. Agradeço pelas correções, motivações, conversas nas últimas horas do dia e companhia para permanecer sempre vivo, ainda que por mais cansado estivesse.

Aos meus avós, padrinhos, tios e tias, primos e primas que se alegram com cada vitória e fazem do mundo um lugar melhor, mais humano e aconchegante para se viver. Ainda que me faltasse ânimo para perseguir meus maiores sonhos, são vocês que também me empolgam e renovam minhas forças com palavras sinceras e amorosas, pensamentos bons, fraternidade e apoio.

Aos professores que desde o ensino mais básico despertaram minha profunda admiração pela educação, conhecimento e paixão em aprender. Muito além de toda informação, vocês contribuem para a essência do que sou. Em especial, agradeço à Ismara pela paciência, amizade e orientações, e à Lorena por ter aceitado esse desafio pessoal em me orientar neste tema.

Meus muitos companheiros de vida, amigos singulares, pelos conselhos, dicas e conversas motivadoras quando já tinha em mim pouca esperança de conseguir terminar. Tenho profundo respeito e admiração por vocês: Nildomar, Newton, Denilson, Lucas Antônio, Natália, Bruna e Clarissa.

À Thaiane, por todo amor, carinho, insistência e paciência em momentos tão difíceis. Companheirismo, que alegra, sorriso, que me conforta, e vontade de seguir sempre, trazendo a sensação de paz e segurança quando já nem mesmo sei de mim. É muito fácil me ver feliz com você.

Aos muitos outros, obrigado.

“O primeiro passo é estabelecer que algo é possível. Se algo é importante o suficiente, mesmo que as probabilidades estejam contra você, faça-o”.

Elon Musk

RESUMO

O sistema construtivo de estruturas leves em aço, conhecido como *Light Steel Framing (LSF)*, permite a racionalização da construção civil por meio do processo de industrialização dos elementos de uma edificação. Buscando eficiência construtiva com o aumento da produtividade, diminuição do desperdício e o atendimento da alta demanda por edificações, haja vista a necessidade advinda do déficit habitacional brasileiro, o sistema LSF, formado por perfis formados a frio (PFF), é tratado como solução estrutural viável para o país. Nessa perspectiva, o trabalho produzido permite conhecer as particularidades desse método construtivo, tais como materiais, terminologias empregadas, características de projeto e considerações de cálculo. Em seguida, a partir da concepção de um projeto arquitetônico de uma edificação de baixo custo, desenvolve-se a modelagem estrutural em programas 3D (mCalc3D e mCalcLSF). Usando principalmente as normas brasileiras ABNT NBR 8800:2008, NBR 14762:2010, NBR 15253:2010 e NBR 15575:2013, a avaliação dos esforços resistentes para cada perfil e dos deslocamentos máximos da estrutura é discutida a fim de possibilitar o adequado dimensionamento dos elementos da construção. Por fim, a estimativa de quantidades e perfis utilizados no projeto final são brevemente exploradas no intuito de que, em um trabalho futuro, possa ser pesquisada a viabilidade econômica desse sistema em comparação aos métodos construtivos tradicionais.

Palavras-chave: *Light Steel Framing*, dimensionamento de perfis formados a frio, projeto estrutural, sistema construtivo.

ABSTRACT

The lightweight steel Construction system, Light Steel Framing (LSF), allows the rationalization of civil construction through the process of industrialization from the elements of a building. Seeking constructive efficiency, guaranteed with the increasing productivity, reducing waste and meeting the high demand for buildings, due to the arising need from the Brazilian housing deficit, the LSF system, formed by cold-formed profiles (PFF), is treated as a structural solution feasible for the country. From this perspective, the work produced here allows us to know the particularities of this constructive method, such as the main materials, terminologies used, design features and calculation considerations. Then, from the architectural design of a low cost building, the structural modeling is developed in 3D softwares (mCalc3D and mCalcLSF). Using mainly the Brazilian standards ABNT NBR 8800: 2008, NBR 14762: 2010, NBR 15253: 2104 and NBR 15575: 2013, the evaluation of the resistant efforts for each profile and of the maximum displacements of the structure is discussed in order to allow the adequate analysis of the element. Lastly, the quantitative estimation of the profiles used in the final project are briefly explored in order that, in a future work, the economic viability of this system can be investigated in comparison to traditional construction methods.

Keywords: Light Steel Framing, cold-formed profile calculation, structural design, construction system.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Perfil U enrijecido (Ue)	20
Figura 2 - Perfil U simples	21
Figura 3 - Orientação das fibras de madeira em uma placa OSB	23
Figura 4 - Construção pelo método <i>stick</i>	27
Figura 5 - Pré-fabricação de painéis e montagem no local (método por painéis)	28
Figura 6 - Unidade modular em fábrica.....	29
Figura 7 - Desempenho acústico e de resistência ao fogo para dois tipos de paredes em LSF	31
Figura 8 - Desenho esquemático de uma estrutura em <i>Light Steel Framing</i>	33
Figura 9 - Componentes de um painel estrutural com abertura de janela	33
Figura 10 - Construção <i>platform framing</i>	34
Figura 11 - Detalhe esquemático de ancoragem do painel a uma laje <i>radier</i>	36
Figura 12 - Detalhe esquemático da execução de um painel sobre uma sapata corrida.....	37
Figura 13 - Efeitos de vento na estrutura: a) translação; b) tombamento.....	38
Figura 14 - Ancoragem definitiva em barra rosca e fita metálica	38
Figura 15 - Ancoragem por expansão do tipo <i>parabolt</i>	38
Figura 16 - Estrutura típica de um painel em <i>Light Steel Frame</i>	39
Figura 17 - Estrutura de piso em <i>Light Steel Framing</i>	41
Figura 18 - Distribuição dos esforços através da verga para ombreiras.....	42
Figura 19 - Deformação de um painel em LSF não contraventado.....	42
Figura 20 - Bloqueadores instalados entre montantes	43
Figura 21 - Travamento lateral de vigas por bloqueadores e fitas de aço galvanizado.....	43
Figura 22 - Solicitação das diagonais de contraventamento.....	44
Figura 23 - Fita metálica para travamento do painel.....	45
Figura 24 - Tipos de pontas usadas nos parafusos no sistema LSF.....	47
Figura 25 - Cobertura plana em <i>Light Steel Framing</i>	48
Figura 26 - Cobertura inclinada estruturada com caibros, ripas, tesouras e terças.....	48
Figura 27 - Planta baixa do projeto arquitetônico (sem escala) – Revit 2017.....	51
Figura 28 - Vista em perspectiva 3D do projeto arquitetônico analisado – Revit 2017.....	52
Figura 30 – Tela inicial de definições do mCalcLSF	55
Figura 31 - Perfis estruturais adotados para o pré-dimensionamento	57
Figura 32 - Tesoura Howe.....	57

Figura 33 - Contraventamento lateral do banzo superior	58
Figura 34 - Valores de "Cargas Padrão" atuantes na estrutura.....	62
Figura 35 - Interface básica do módulo ST_Vento.....	64
Figura 36 - Mapa de isopletas do Brasil e velocidade básica do vento para Uberlândia	65
Figura 37 - Coeficientes de pressão externa para as paredes (vento a 0° e 90°)	66
Figura 38 - Coeficientes de pressão externa para o telhado (vento a 0° e 90°).....	66
Figura 39 - Valores de coeficientes internos (c_{pi}) para paredes e cobertura.....	67
Figura 40 - Fatores de combinação Ψ_0 e de redução Ψ_1 e Ψ_2 para as ações variáveis.....	67
Figura 41 - Visualização 3D da estrutura no <i>software</i> mCalcLSF.....	71
Figura 42 - Combinações de ações para dimensionamento.....	72
Figura 43 - Primeira análise do dimensionamento da estrutura	74
Figura 44 - Verificação do dimensionamento de um perfil U 92x40x0,95.....	75
Figura 45 - Dimensionamento efetivo da edificação.....	76
Figura 46 - Limitação do deslocamento para parede como painel rígido	76
Figura 47 - Deslocamentos horizontais máximos (Plano XY - visualização aumentada em 100 vezes).....	78
Figura 48 – Deslocamentos horizontais máximos (Plano XZ – visualização aumentada em 100 vezes).....	78
Figura 49 - Deslocamentos horizontais máximos da estrutura contraventada (Plano XY, visualização aumentada em 100 vezes).....	79
Figura 50 – Deslocamentos horizontais máximos da estrutura contraventada (Plano XZ – visualização aumentada em 100 vezes).....	79
Figura 51 - Verificação de flechas (critério: menores do que L/280)	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Revestimento mínimo das bobinas de aço	19
Tabela 2 – Perfil U simples: dimensões, massa e propriedades geométricas.....	22
Tabela 3 - Perfil U enrijecido: dimensões, massa e propriedades geométricas.....	22
Tabela 4 - Designação dos perfis de aço formados a frio para uso em LSF	23
Tabela 5 - Características técnicas de placas cimentícias da Brasilit	25
Tabela 6 - Classe de Transmissão de Som Aéreo para elementos construtivos	30
Tabela 7 - Características dos parafusos recomendadas em função da aplicação	47
Tabela 8 - Propriedades físicas dos materiais usados neste projeto	56
Tabela 9 - Valores dos coeficientes de ponderação das ações	59
Tabela 10 - Deslocamentos limites para cargas permanentes e acidentais em geral.....	77
Tabela 11 - Quadro de quantitativos de perfis.....	81
Tabela 12 - Quadro de quantitativos de parafusos	81

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
2.	JUSTIFICATIVAS	14
3.	SISTEMA LIGHT STEEL FRAMING.....	15
3.1.	Introdução	15
3.2.	Vantagens e desvantagens	17
3.3.	Conceitos	18
3.3.1.	Materiais	18
3.3.1.1.	Estruturais	18
3.3.1.1.1.	Aço.....	19
3.3.1.1.2.	Oriented Strand Board (OSB).....	23
3.3.1.2.	Não estruturais	24
3.3.1.2.1.	Lã de rocha	25
3.3.1.2.2.	Placa cimentícia	25
3.3.1.2.3.	Gesso acartonado	26
3.3.2.	Métodos construtivos.....	27
3.3.3.	Desempenho	29
3.3.3.1.	Térmico.....	29
3.3.3.2.	Acústico	30
3.3.3.3.	Resistência ao fogo	31
3.4.	Terminologia.....	32
3.5.	Concepção e dimensionamento	34
3.5.1.	Fundações	35
3.5.1.1.	Radier.....	36
3.5.1.2.	Sapatas corridas	37
3.5.1.3.	Ancoragem dos painéis na fundação	37
3.5.2.	Painéis.....	39
3.5.3.	Guias	40
3.5.4.	Montantes	40
3.5.5.	Vigas	40
3.5.6.	Vergas	41
3.5.7.	Contraventamentos	42
3.5.7.1.	Bloqueadores, fitas e diagonais metálicas	43

3.5.7.2.	Diafragmas.....	45
3.5.8.	Ligações.....	46
3.5.9.	Coberturas.....	48
4.	MODELAGEM ESTRUTURAL	49
4.1.	Introdução	49
4.2.	Projeto arquitetônico.....	50
4.3.	Definição do software.....	52
4.4.	Características do software	53
4.5.	Considerações primárias de projeto e modelagem	55
4.6.	Ações	58
4.6.1.	Permanentes	60
4.6.2.	Variáveis	63
4.6.2.1.	Sobrecarga	63
4.6.2.2.	Vento.....	63
4.6.3.	Combinações de ações.....	67
4.6.3.1.	Estados limites últimos (ELU)	68
4.6.3.2.	Estados limites de serviço (ELS).....	68
5.	ANÁLISE ESTRUTURAL	69
5.1.	Verificações	69
5.1.1.	Estados limites últimos (ELU)	69
5.1.1.1.	Esforços solicitantes	70
5.1.2.	Estados limites de serviço (ELS).....	72
6.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	73
6.1.	Análise do dimensionamento.....	73
6.2.	Deslocamentos máximos	76
6.3.	Quadros de quantitativos	81
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	82
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
	ANEXO A – Tabelas de dimensionamento.....	87
	ANEXO B – Relatório de cálculo da ação do vento	108
	ANEXO C – Relatório de dimensionamento de um perfil (U 92x40x0,95)	112
	APÊNDICE A – Representação gráfica dos esforços	117
	APÊNDICE B – Planta baixa do lançamento estrutural.....	125

1. INTRODUÇÃO

A abordagem dos sistemas estruturais quanto à funcionalidade de sustentação de uma edificação é amplamente estudada e caracterizada pela vasta bibliografia do ensino de engenharia de estruturas. Na atualidade, o engessamento do pensamento voltado para as soluções estruturais mais comuns acaba por atribuir apenas uma função prática de absorção de esforços e de natureza clássica para a construção.

Nessa perspectiva, a projeção de uma estrutura mais aparente carrega a possibilidade de uma intervenção mais notável quanto à apresentação da solução e aproveitamento da harmonia gerada. A estrutura como novo componente estético, agora muito além do funcional, passa a ser compreendida como parte integrante da concepção arquitetônica, afastando a antiga ideia de um mero elemento de apoio. Esta valorização de função revela a íntima conexão entre arquitetura e engenharia, fazendo prevalecer a consideração de que há tanta importância na escolha da abordagem técnica, quanto na própria forma estética criada.

A modernização desse pensamento, acerca da relação entre a produção arquitetônica e a concepção do sistema estrutural, rompe com a ideia de que os modelos de cálculo servem apenas para aplicação aos fundamentos formais de um projeto. Isso representa, para a engenharia, a necessidade de adaptação conceitual e técnica, já que agora ela deve levar em conta a reinvenção de sistemas construtivos para além dos motivos econômicos, orientando-os a um maior aproveitamento entre estética, flexibilidade e eficiência estrutural.

No campo das estruturas metálicas, a facilidade construtiva, aliada ao poder de alta resistência do aço, tem cada vez mais atraído a atenção para as vantagens de suas aplicações e, conseqüentemente, para efetiva mudança da mentalidade construtiva. A falta de tradição e a dificuldade de se encontrar normas atuais e adaptadas ao nosso país são fatores que provocam a deficiência na formação acadêmica durante a graduação e a falta de profissionais capacitados no mercado de trabalho para lidar com a execução

Entretanto, levando-se em consideração as inúmeras vantagens construtivas do aço como alta resistência, grande industrialização do processo de fabricação, flexibilização face à reutilização e readaptação, as construções em estruturas metálicas têm ganhado cada vez mais

força. Nesse sentido, os novos sistemas construtivos, como o *Light Steel Framing (LSF)*, demonstram a grande capacidade de adoção dos processos racionalizados para edificações.

Outrossim, com o aumento do uso da tecnologia computacional, a possibilidade de se construir conforme projetado tem se tornado cada vez mais real por meio do uso de ferramentas de cálculo automatizadas. A manipulação destes recursos estabelece, enfim, um diferencial na qualificação do engenheiro que deles se utilizam.

2. JUSTIFICATIVAS

A proposição de um sistema estrutural mais leve, tornando-o esteticamente mais agradável e diminuindo os esforços nas fundações, é importante para adaptação às necessidades atuais do mercado da construção civil e para correspondência às expectativas dos projetistas.

Desta forma, avaliando a desvalorização das técnicas de sistemas construtivos mais incomuns no Brasil e tendo em vista o crescente desenvolvimento dos programas computacionais voltados ao dimensionamento de estruturas, a abordagem da tecnologia para tratamento das soluções estruturais tem sido correspondida com o uso de ferramentas de cálculo informatizadas.

Estas inovações serão estudadas e aplicadas ao trabalho conforme o principal objetivo de ampliação do conhecimento sobre dimensionamento e tratamento de todo sistema de forma espacial. Os conhecimentos adquiridos durante a graduação serão reunidos e explorados de maneira a possibilitar uma integração e compreensão de toda composição de uma edificação, isto é, visualização e entendimento de seu projeto e componentes de sua construção.

O estudo proposto visa o entendimento do funcionamento de uma estrutura metálica, a partir de sua concepção e dimensionamento. Assim, por meio deste tratamento em *softwares* 3D, gera-se uma contribuição de natureza prática para que se tenha maior compreensão da eficiência no uso destas ferramentas e do poder facilitador para futuras compatibilizações de projetos.

3. SISTEMA LIGHT STEEL FRAMING

3.1. Introdução

A utilização de um sistema construtivo em estruturas mais leves que o concreto é historicamente marcada pela necessidade de atender ao expressivo aumento do número de habitações para a população dos Estados Unidos. No início do século XIX, o processo de expansão e conquista territorial da parte oeste do país ocorreu em alta velocidade e a procura de materiais disponíveis para a construção de edificações trouxe a necessidade de desenvolver um método prático e produtivo capaz de sanar essa demanda.

A madeira, principal recurso encontrado até então, desenvolveu o sistema *Wood Framing*. Utilizando-se desse abundante material para a concepção de elementos estruturais, a edificação podia ser construída com baixo custo, alta velocidade e simplicidade.

No século XX, ao término da Segunda Guerra Mundial, a experiência acumulada da Revolução Industrial às práticas de manipulação de metais como o aço, proporcionou grande avanço para as empresas metalúrgicas. Segundo Shull e Zager (1994), na tentativa de preservação ambiental diversas florestas antigas tiveram a extração da madeira interdita, contribuindo para que o preço do produto quase dobrasse no começo da década de 1990 fazendo com que o aço o substituísse.

De acordo com Meyers (1998), foi no início dessa década que a construção em perfis leves de aço passou a ser considerada de forma mais técnica, sendo estimulada ainda pela criação de uma associação de construtores e técnicos. Em 1993, a nova associação *National Association of Home Builders* (NAHB) publicou um estudo consolidando o aço como melhor material para utilização em habitações do tipo *framing*.

O termo *Light Steel Framing* é, do inglês, traduzido como “*light steel* = aço leve” e *framing* originário de “*frame* = esqueleto, estrutura”, significando a formação de estruturas em aço leve. Esse sistema, processo definido pela união e vinculação de elementos a fim de atribuir forma e sustentação estrutural a uma construção, foi amplamente estudado nos Estados Unidos e Canadá, resultando na criação de um método prático para o pré-dimensionamento de

residências de até dois pavimentos, tendo sido publicado pela *North American Steel Framing Alliance* (NASFA, 2000).

A organização industrial ligada ao *Light Steel Framing* possibilita, dentre outros propósitos, substituir o método artesanal até então empregado na construção de habitações de pequeno e médio porte, tornando-a lógica construtiva amplamente empregada e difundida em países como Estados Unidos, Canadá, Inglaterra, Austrália, Japão e China.

O Brasil, historicamente dominado pela prática de sistemas construtivos convencionais, emprega significativamente mais o concreto armado como principal sistema estrutural, tornando o sistema *LSF* ainda muito menos conhecido. Entretanto, embora recente no país, com o desenvolvimento das indústrias e devida qualificação dos profissionais, as construções em aço estão cada vez mais ganhando notoriedade por meio da sua estrutura robusta, capaz de atender aos variados desafios construtivos, mas sem perder a delicadeza arquitetônica buscada na modernidade.

A construção industrializada, proposta por esse sistema de estruturas leves em aço, é uma das alternativas capazes de modificar o cenário econômico da construção civil no Brasil. O grande investimento em políticas públicas habitacionais voltadas estrategicamente para o desenvolvimento do país, trouxe consigo o surgimento de diversas empresas no setor, resultando em aumento de concorrência e necessidade de adaptação ao mercado com produtos cada vez mais exigidos em qualidade e menores custos (SILVA, 2003).

A mão de obra qualificada, racionalização da produção e cronogramas executados conforme o planejamento são características de sistemas industrializados, sendo a adoção de inovações tecnológicas a melhor maneira para desenvolver as empresas que busquem resistir aos seus competidores.

O sistema *Light Steel Framing* pode ser aplicado na construção de edificações residenciais unifamiliares, multifamiliares e comerciais de pequeno e médio porte. Além disso, é bastante empregado em sistemas de cobertura, podendo ser aliado aos sistemas construtivos tradicionais, bem como em unidades modulares (banheiros, cozinhas etc.), mezaninos e revestimento de fachadas.

3.2. *Vantagens e desvantagens*

A industrialização da construção é, segundo Franco (1992), responsável por elevar o controle de qualidade e gerenciamento em obras. A simplificação das etapas de execução, diminuição de problemas de interface por meio da prevenção em especificações de projeto, significativa redução de desperdícios em comparação à construção tradicional em concreto armado e alvenaria de bloco cerâmico, bem como rigoroso controle dos produtos na indústria durante o processo de fabricação são alguns dos fatores que caracterizam a construção em aço como eficiente, produtiva e de altíssima qualidade.

Os sistemas em *Light Steel Framing*, quando aplicados em edificações apresentam, segundo Crasto (2005) e Rego (2012), benefícios como:

- Maior durabilidade da estrutura em virtude do processo de galvanização das peças fabricadas;
- Leveza dos elementos estruturais, contribuindo para a montagem, manuseio e transporte;
- Alta resistência e controle de qualidade, aliando a maior precisão dimensional ao elevado desempenho da estrutura;
- Facilidade na execução de ligações devido ao processo de furação dos perfis ainda sob controle industrial;
- Alta velocidade de construção, tendo assim a diminuição do prazo de execução da obra e, conseqüentemente, a redução do custo de mão-de-obra;
- Emprego de materiais totalmente recicláveis (aço) e incombustíveis (lã de rocha e gesso);
- Elevado desempenho termoacústico em comparação com métodos de fechamento tradicionais, atingido pela combinação de materiais leves;
- Facilidade na produção dos perfis formados a frio (PFF), amplamente produzidos pelo setor industrial.

Em contrapartida às vantagens, deve-se, principalmente, à falta de conhecimento técnico a grande resistência para a adoção desse sistema. Além disso, nem todas as cidades

possuem fornecedores, tornando assim a compra de materiais de outra cidade ou estado oneroso para o método construtivo.

A escassez de mão de obra especializada, desde o projetista estrutural aos responsáveis pela execução, também contribui para aumento do custo e da difusão desse tipo de solução. Além disso, observa-se que a barreira cultural é outro fator responsável para a baixa adoção do método, haja vista a priorização de estruturas convencionais em concreto armado em detrimento de novas técnicas.

3.3. *Conceitos*

Conforme Rego (2012), o princípio de funcionamento do sistema baseia-se na divisão da estrutura em uma grande quantidade de elementos, de maneira que cada um resista a uma pequena parcela da carga total aplicada.

Em sua formação destacam-se elementos que caracterizam subsistemas estruturais, de instalações, isolamento e acabamento que, quando associados, atuam na resistência às solicitações mecânicas e dão forma à edificação. A estrutura, composta por perfis formados a frio (PFF) e pré-fabricados, distribui o carregamento em pequenas parcelas para que cada elemento, ou perfil, possa resistir aos esforços.

3.3.1. *Materiais*

O sistema LSF adota materiais com diferentes propriedades físicas, podendo ser classificados, principalmente, entre materiais com função estrutural e não estrutural. Em seguida, são apresentados os elementos básicos destes dois tipos.

3.3.1.1. *Estruturais*

Por tratar-se de um sistema estrutural é imprescindível a composição de elementos que sejam capazes de suportar as cargas presentes em uma edificação. Assim sendo, são adotados essencialmente o aço e placas de madeira orientada (OSB) conforme relacionados nos próximos tópicos.

3.3.1.1.1. Aço

O aço é constantemente utilizado por suas propriedades de estabilidade dimensional para diversos climas, resistência a insetos, alta qualidade devido ao seu processamento industrial e, apesar de não ser de origem renovável, é facilmente reciclado. Atualmente, em virtude da modernização e proposição de formas arquitetônicas mais arrojadas, a construção metálica, composta por perfis em aço, é escolhida para estruturar edificações de pequeno a grande porte.

No LSF, o aço é utilizado como sistema estrutural por meio de perfis formados a frio e parafusados entre si. O processo de fabricação é mecânico, em que o metal é moldado à temperatura ambiente a partir de bobinas de aço Zincado de Alta Resistência (ZAR) com resistência ao escoamento (f_y) maior do que 230 MPa para perfis com função estrutural, segundo recomendações da ABNT NBR 15253:2014.

O processo de fabricação é controlado para que haja um revestimento mínimo nas bobinas, sendo este em zinco ou liga alumínio-zinco feito por uma contínua imersão à quente, conforme normas técnicas ABNT NBR 7008-1:2012, ABNT NBR 7008-3:2012 e ABNT NBR 15578:2008. As massas mínimas, segundo essas normas, são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Revestimento mínimo das bobinas de aço

Tipo de revestimento	Perfis Estruturais	
	Massa mínima do revestimento ^a g/m ²	Denominação do revestimento conforme as seguintes normas
Zincado por imersão a quente	275 (ABNT NBR 7008-1)	Z275 (ABNT NBR 7008-1)
Alumínio-zinco por imersão a quente	150 (ABNT NBR 15578)	AZ150 (ABNT NBR 15578)
^a A massa mínima refere-se ao total nas duas faces (média do ensaio triplo)		

Fonte: ABNT NBR 15223:2014

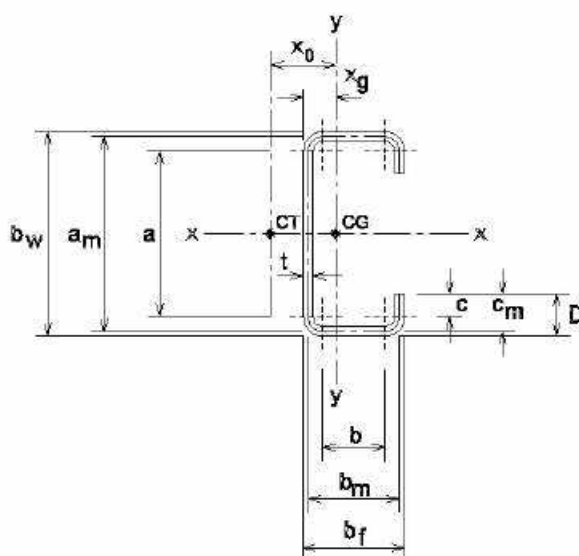
Yu (2000) descreve como vantagens de perfis formados a frio a elevada relação resistência-peso e a possibilidade de se processar uma chapa no próprio local da obra, diminuindo custos de transporte e facilitando o manuseio.

A simplicidade do processo de fabricação de um perfil formado a frio, aliada à sua capacidade de integração construtiva à arquitetura, tornaram comum a utilização de algumas formas típicas de perfis. Popularmente, são utilizadas seções do tipo U simples (U) para bloqueadores e guias e U enrijecido (Ue ou C) para reforço de alma, montantes, vigas, vergas e ombreiras.

No Brasil, as seções transversais de séries comerciais seguem o padrão de medidas recomendado pela ABNT NBR 15253:2014, que destaca também as propriedades dos perfis mais utilizados em estruturas de painéis reticulados para edificações de até dois pavimentos.

Em caráter de exemplo, a seção transversal de um perfil U enrijecido, apresentado na Figura 1, pode ser classificado como Ue 90x40x12x0,95 e utilizado como montante, tendo largura nominal da alma (b_w) de 90 mm, largura nominal da mesa (b_f) com valor de 40mm, largura nominal do enrijecedor de borda (D) equivalente a 12 mm e 0,95 mm de espessura nominal da chapa (incluído nesse tamanho o revestimento metálico $t_r = 0,036$ mm).

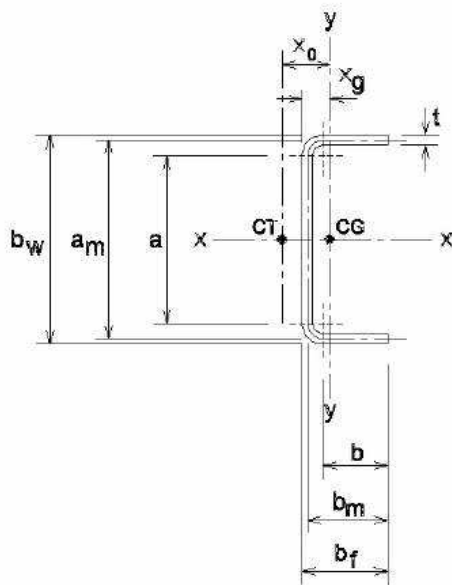
Figura 1 - Perfil U enrijecido (Ue)



Fonte: ABNT NBR 15253:2014

A seção frequentemente usada para as guias inferiores e superiores de um perfil U simples (Figura 2) pode, por exemplo, ser tipificado por U 92x40x0,95, correspondendo a 92 mm de largura nominal da alma (b_w), 40 mm de largura nominal da mesa (b_f) e 0,95 mm de espessura nominal da chapa (valor em que já se inclui o revestimento metálico $t_r = 0,036$ mm).

Figura 2 - Perfil U simples



Fonte: ABNT NBR 15253:2014

Sendo, em ambas as Figuras 1 e 2:

- a largura da parte plana da alma;
- a_m largura da alma referente à linha média da seção;
- b largura da parte plana da mesa ou da aba da cantoneira;
- b_m largura da mesa ou da aba da cantoneira referente à linha média;
- b_f largura nominal da mesa ou da aba da cantoneira;
- b_w largura nominal da alma;
- c largura da parte plana do enrijecedor de borda;
- c_m largura do enrijecedor de borda referente à linha média da seção;
- x_g distância do centroide em relação à face externa do perfil, no eixo X ;
- x_0 distância do centro de torção em relação ao centroide, no eixo X ;
- t espessura do perfil.

As Tabelas 2 e 3 abaixo estão disponíveis na ABNT NBR 15253:2014 com as características geométricas dos perfis utilizados em construções do tipo LSF.

Tabela 2 – Perfil U simples: dimensões, massa e propriedades geométricas

Perfil			Dimensões				Eixo x					Eixo y					
U	m	A	b _w	b _f	t _n	r _i	I _x	W _x	r _x	x _g	x _o	I _y	W _y	r _y	I _t	C _w	r _o
	kg/m	cm ²	mm	mm	mm	mm	cm ⁴	cm ³	cm	cm	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ⁶	cm
92 x 39 x 0,80	1,05	1,34	92	39	0,80	0,80	17,15	3,73	3,58	0,93	2,28	2,00	2,16	1,22	0,0029	29,46	4,41
92 x 39 x 0,95	1,24	1,59	92	39	0,95	0,95	20,08	4,37	3,56	0,94	2,27	2,36	2,53	1,22	0,0048	34,67	4,40
92 x 39 x 1,25	1,63	2,07	92	39	1,25	1,25	25,70	5,59	3,52	0,95	2,26	3,07	3,24	1,22	0,0108	44,80	4,36
142 x 39 x 0,80	1,37	1,74	142	39	0,80	0,80	47,80	6,73	5,24	0,73	1,88	2,25	3,11	1,14	0,0037	81,65	5,69
142 x 39 x 0,95	1,62	2,06	142	39	0,95	0,95	56,12	7,91	5,22	0,73	1,88	2,65	3,63	1,13	0,0062	96,22	5,66
142 x 39 x 1,25	2,12	2,70	142	39	1,25	1,25	72,19	10,17	5,17	0,74	1,87	3,45	4,64	1,13	0,0141	124,67	5,62
202 x 39 x 0,80	1,74	2,22	202	39	0,80	0,80	113,36	11,23	7,15	0,58	1,57	2,42	4,21	1,05	0,0047	185,84	7,39
202 x 39 x 0,95	2,06	2,63	202	39	0,95	0,95	133,36	13,21	7,12	0,58	1,57	2,86	4,92	1,04	0,0079	219,15	7,37
202 x 39 x 1,25	2,71	3,45	202	39	1,25	1,25	172,21	17,05	7,07	0,60	1,56	3,72	6,26	1,04	0,0180	284,37	7,31
92 x 40 x 0,80	1,06	1,35	92	40	0,80	0,80	17,48	3,80	3,59	0,97	2,36	2,15	2,23	1,26	0,0029	31,54	4,48
92 x 40 x 0,95	1,26	1,60	92	40	0,95	0,95	20,48	4,45	3,57	0,97	2,35	2,53	2,61	1,26	0,0048	37,13	4,46
92 x 40 x 1,25	1,65	2,10	92	40	1,25	1,25	26,22	5,70	3,53	0,99	2,35	3,29	3,34	1,25	0,0109	47,99	4,42
142 x 40 x 0,80	1,38	1,75	142	40	0,80	0,80	48,59	6,85	5,26	0,75	1,96	2,41	3,20	1,17	0,0037	87,42	5,74
142 x 40 x 0,95	1,63	2,08	142	40	0,95	0,95	57,07	8,04	5,24	0,76	1,95	2,85	3,75	1,17	0,0063	103,03	5,71
142 x 40 x 1,25	2,14	2,72	142	40	1,25	1,25	73,43	10,35	5,19	0,77	1,95	3,70	4,79	1,17	0,0142	133,54	5,67
202 x 40 x 0,80	1,75	2,23	202	40	0,80	0,80	114,98	11,39	7,17	0,60	1,63	2,60	4,34	1,08	0,0048	199,06	7,43
202 x 40 x 0,95	2,08	2,65	202	40	0,95	0,95	135,28	13,40	7,15	0,61	1,63	3,08	5,08	1,08	0,0080	234,78	7,41
202 x 40 x 1,25	2,73	3,47	202	40	1,25	1,25	174,73	17,30	7,09	0,62	1,62	4,00	6,47	1,07	0,0181	304,73	7,35

NOTA Espessura do revestimento metálico considerada no cálculo: $t_1 = 0,036$ mm.

Fonte: ABNT NBR 15253:2014

Tabela 3 - Perfil U enrijecido: dimensões, massa e propriedades geométricas

Perfil			Dimensões							Eixo x					Eixo y					
Ue	m	A	b _w	b _f	D	t _n	t	r _i	I _x	W _x	r _x	x _g	x _o	I _y	W _y	r _y	I _t	C _w	r _o	
	kg/m	cm ²	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm ⁴	cm ³	cm	cm	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ⁶	cm	
90 x 39 x 12 x 0,80	1,12	1,43	90	39	12	0,80	0,764	0,80	13,57	4,13	3,61	1,27	3,12	3,14	1,20	1,48	0,0028	56,32	4,99	
90 x 39 x 12 x 0,95	1,33	1,70	90	39	12	0,95	0,914	0,95	21,99	4,89	3,60	1,27	3,10	3,70	1,41	1,48	0,0047	66,24	4,97	
90 x 39 x 12 x 1,25	1,75	2,23	90	39	12	1,25	1,214	1,25	28,61	6,36	3,58	1,27	3,06	4,75	1,81	1,46	0,0110	85,03	4,93	
140 x 39 x 12 x 0,80	1,42	1,81	140	39	12	0,80	0,764	0,80	52,13	7,45	5,37	1,01	2,62	3,60	1,25	1,41	0,0035	143,35	6,14	
140 x 39 x 12 x 0,95	1,69	2,16	140	39	12	0,95	0,914	0,95	61,85	8,84	5,36	1,01	2,60	4,24	1,47	1,40	0,0060	168,96	6,12	
140 x 39 x 12 x 1,25	2,23	2,84	140	39	12	1,25	1,214	1,25	80,80	11,54	5,33	1,01	2,57	5,46	1,89	1,39	0,0139	217,78	6,08	
200 x 39 x 12 x 0,80	1,78	2,27	200	39	12	0,80	0,764	0,80	122,82	12,28	7,36	0,82	2,21	3,95	1,28	1,32	0,0044	316,03	7,80	
200 x 39 x 12 x 0,95	2,12	2,70	200	39	12	0,95	0,914	0,95	145,93	14,59	7,35	0,82	2,20	4,65	1,51	1,31	0,0075	372,88	7,78	
200 x 39 x 12 x 1,25	2,80	3,57	200	39	12	1,25	1,214	1,25	191,17	19,12	7,32	0,82	2,17	5,98	1,94	1,29	0,0175	481,68	7,74	
90 x 40 x 12 x 0,80	1,13	1,44	90	40	12	0,80	0,764	0,80	13,88	4,19	3,62	1,31	3,21	3,30	1,24	1,52	0,0028	59,70	5,07	
90 x 40 x 12 x 0,95	1,35	1,72	90	40	12	0,95	0,914	0,95	22,35	4,97	3,61	1,31	3,19	3,93	1,46	1,51	0,0048	70,23	5,05	
90 x 40 x 12 x 1,25	1,77	2,26	90	40	12	1,25	1,214	1,25	29,09	6,46	3,59	1,31	3,15	5,05	1,88	1,50	0,0111	90,19	5,01	
140 x 40 x 12 x 0,80	1,43	1,83	140	40	12	0,80	0,764	0,80	52,87	7,55	5,38	1,05	2,70	3,83	1,30	1,45	0,0035	151,95	6,19	
140 x 40 x 12 x 0,95	1,71	2,17	140	40	12	0,95	0,914	0,95	62,73	8,96	5,37	1,05	2,68	4,51	1,53	1,44	0,0060	179,14	6,17	
140 x 40 x 12 x 1,25	2,25	2,86	140	40	12	1,25	1,214	1,25	81,97	11,71	5,35	1,05	2,65	5,80	1,96	1,42	0,0141	231,02	6,14	
200 x 40 x 12 x 0,80	1,79	2,28	200	40	12	0,80	0,764	0,80	124,33	12,43	7,38	0,84	2,29	4,20	1,33	1,36	0,0044	335,08	7,84	
200 x 40 x 12 x 0,95	2,14	2,72	200	40	12	0,95	0,914	0,95	147,74	14,77	7,37	0,85	2,27	4,95	1,57	1,35	0,0076	395,48	7,82	
200 x 40 x 12 x 1,25	2,82	3,59	200	40	12	1,25	1,214	1,25	193,57	19,36	7,34	0,85	2,24	6,36	2,02	1,33	0,0176	511,10	7,79	

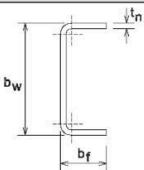
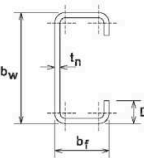
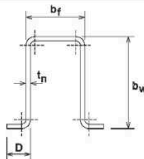
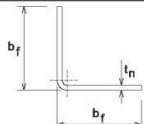
NOTA: Espessura do revestimento, metálico considerada no cálculo: t_r = 0,036 mm.

NOTA Espessura do revestimento metálico considerada no cálculo: $t_1 = 0,036$ mm.

Fonte: ABNT NBR 15253:2014

Segundo Garner (1996), perfis do tipo cantoneiras de abas desiguais devem ser usadas em conexões de elementos em que não é adequado o uso de um perfil U enrijecido. Os perfis do tipo cartola são dispostos como ripas de telhado a fim de reduzir o comprimento de flambagem das diagonais das tesouras e dar estabilidade ao contraventá-las. A Tabela 4, disponível também na ABNT NBR 15253:2014, traz as aplicações mais usuais para cada um dos tipos de perfis usados em LSF.

Tabela 4 - Designação dos perfis de aço formados a frio para uso em LSF

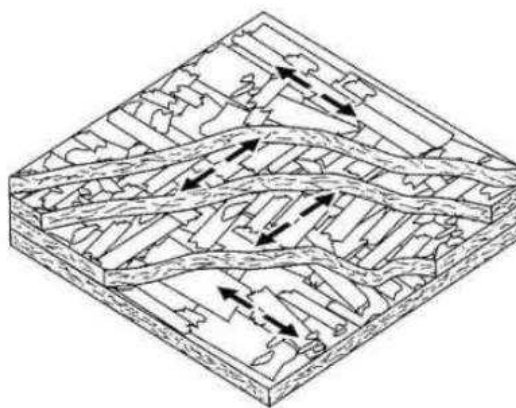
SEÇÃO TRANSVERSAL	SÉRIE Designação NBR 6355:2003	Utilização
	U simples $U \ b_w \times b_f \times t_n$	Guia Ripa Bloqueador Sanefa
	U enrijecido $Ue \ b_w \times b_f \times D \times t_n$	Bloqueador Enrijecedor de alma Montante Verga Viga
	Cartola $Cr \ b_w \times b_f \times D \times t_n$	Ripa
	Cantoneira de abas desiguais $L \ b_{f1} \times b_{f2} \times t_n$	Cantoneira

Fonte: ABNT NBR 15253:2014

3.3.1.1.2. *Oriented Strand Board (OSB)*

As chapas de madeira orientadas, conhecidas como OSB (Figura 3), são concebidas a partir de fibras dispostas em, no mínimo, três camadas perpendiculares entre si, sendo unidas com resinas e prensadas em altas temperaturas. A resistência mecânica dessas placas confere o caráter estrutural, atribuindo rigidez, baixo peso, facilidade de instalação manual e transporte.

Figura 3 - Orientação das fibras de madeira em uma placa OSB



Fonte: Dias et al. (2004)

A flexibilidade para sua utilização advém de suas propriedades, fazendo com que sejam empregadas em forros para telhados, fechamento de painéis estruturais, mobiliários, plataformas etc. Além do caráter estrutural, por serem comumente utilizadas nos fechamentos dos painéis, as chapas OSB auxiliam no isolamento termoacústico, tornando ainda mais eficiente e confortável a edificação.

Atualmente, fabricadas em 1,2 metros de largura e 2,4 e 3,0 metros de comprimento, são encontradas no mercado com espessuras de 6 mm, 9 mm, 12 mm, 15 mm e 18 mm. Essas medidas são importante fator para um dimensionamento mais eficiente, haja vista que se adota, em geral, o distanciamento entre montantes de 400 mm ou 600 mm, devendo, portanto, que suas proporções correspondam a múltiplos de 1,2 metros.

Embora ainda não sejam normatizadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), os fabricantes brasileiros seguem padrões internacionais como a NP-EN 300/2002, da norma portuguesa *European Standard*, que classifica em quatro os tipos de OSB segundo suas propriedades de resistência mecânica e físicas, ou ainda o documento SINAT Diretriz n° 003 Rev. 02:

- OSB/1 – Placas para usos gerais, incluindo decoração interior e mobiliário, em ambiente seco;
- OSB/2 – Placas para fins estruturais em ambiente seco;
- OSB/3 – Placas para fins estruturais em ambiente úmido;
- OSB/4 – Placas para fins estruturais especiais em ambiente úmido.

3.3.1.2. *Não estruturais*

O sistema é também composto por materiais com funções não estruturais, tais como preenchimento, vedações e até mesmo para complemento de isolamento termoacústico. Neste trabalho, os principais exemplos são abordados nos tópicos a seguir.

3.3.1.2.1. Lã de rocha

A lã de rocha é composta de fibras inorgânicas formadas a partir de rochas basálticas e outros minerais, servindo de isolante termoacústico ao ser colocada entre os perfis e o fechamento vertical (gesso acartonado, placas cimentícias ou chapas OSB). Facilmente aplicáveis ainda são exploradas por ser material inodoro, imputrescível e incombustível.

3.3.1.2.2. Placa cimentícia

Segundo Loturco (2003), é possível definir como placa cimentícia toda chapa delgada que contém cimento em sua composição, sendo formada pela mistura de cimento Portland, fibras de celulose ou sintéticas e agregados, tendo como características:

- Grande resistência à umidade e material incombustível;
- Elevada resistência a impactos, possibilitando uso em paredes externas;
- Compatibilidade com diversos tipos de acabamentos e revestimentos;
- Facilidade no manuseio (baixo peso) e corte;
- Rapidez de execução, semelhante ao do gesso acartonado.

No Brasil, as placas são produzidas nas mesmas dimensões das chapas OSB, simplificando o encaixe e respeitando o espaçamento entre os perfis da estrutura (400 mm ou 600 mm). Na Tabela 5, são indicadas características de placas e possibilidades de aplicações conforme um dos fabricantes.

Tabela 5 - Características técnicas de placas cimentícias da Brasilit (continua)

Espessura	Comprimento real	Largura real	Peso por m²	Aplicações
6 mm	2000 mm	1200 mm	10,2 kg	Divisórias leves, forros e dutos de ar-condicionado.
	2400 mm	1200 mm	10,2 kg	
	3000 mm	1200 mm	10,2 kg	
8 mm	2000 mm	1200 mm	13,6 kg	Paredes internas em áreas secas e úmidas, revestimentos de paredes comuns ou em subsolos.
	2400 mm	1200 mm	13,6 kg	
	3000 mm	1200 mm	13,6 kg	

Espessura	Comprimento real	Largura real	Peso por m ²	Aplicações
10 mm	2000 mm	1200 mm	17,0 kg	Utilizadas para áreas secas e úmidas, internas e externas. Ideais no fechamento externo em Sistema Steel ou Wood Framing e isolamentos termoacústico.
	2400 mm	1200 mm	17,0 kg	
	3000 mm	1200 mm	17,0 kg	
12 mm	2400 mm	1200 mm	20,4 kg	Para uso interno na compatibilização com o Dry-wall ou em fechamentos internos ou externos que necessitem de maior espessura por questões estéticas ou físicas específicas.
	3000 mm	1200 mm	20,4 kg	

Fonte: Adaptado de Brasilit, 2017

3.3.1.2.3. Gesso acartonado

O gesso acartonado é constituído por uma placa de gesso, formada a partir da gipsita, e papel cartão em ambas as faces. De acordo com Crasto (2005), no LSF, é utilizado para fechamento vertical e separação de espaços internos, sendo leve, estruturado, fixo e geralmente monolítico, além de ser suportado por perfis metálicos fixados por parafusos.

O sistema *Drywall* é comumente confundido com o sistema *Light Steel Framing*, porém, sendo o primeiro empregado em divisórias internas e não estruturais; já o segundo, de maneira estrutural e formado por diversos subsistemas, incluindo o próprio *Drywall*.

Segundo Rego (2012), conforme o tipo de utilização das placas de gesso acartonado são incorporados diferentes aditivos, para que o produto possa ser instalado em ambientes internos, úmidos ou locais, em que há grande necessidade de resistência ao fogo.

As dimensões nominais fabricadas no país são semelhantes às das chapas OSB e placas cimentícias (1,20 m de largura e 2,40 e 3,00 m de comprimento), variando suas espessuras em 12,5 mm, 15,0 mm ou 18,0 mm. Essa correspondência dimensional aos outros materiais facilitam a racionalização da obra e sobreposição dos diferentes tipos de placas.

Para uma habitação, o gesso acartonado é responsável por auxiliar no conforto termo-higrométrico, isto é, absorção da umidade em excesso por meio de sua característica

higroscópica. Além disso, é um material física e quimicamente estável, o que o torna mais durável, apresenta excelentes propriedades termoacústicas, é inerte e incombustível, contribuindo para a proteção da estrutura e aumento significativo da resistência ao fogo.

3.3.2. Métodos construtivos

Segundo Landolfo *et al.* (2002), o método de construção em LSF pode ser dividido, para edificações de pequeno porte, em três categorias:

a) Método *stick*

Consiste no corte dos perfis e montagem dos elementos como painéis, lajes, contraventamentos e tesouras no canteiro de obra (Figura 4). É comumente utilizado em locais onde a pré-fabricação não é inteiramente viável, podendo, porém, ter os perfis já perfurados para instalações de outros subsistemas.

Figura 4 - Construção pelo método *stick*



Fonte: Steel House (2017)

Entre as vantagens desse método construtivo destacam-se:

- Facilidade de transporte por não se ter peças tão grandes e que vão em partes;
- Simplicidade na execução de ligações dos elementos;
- Desnecessidade de se ter um local para pré-fabricação.

b) Método por painéis

O método baseia-se na pré-fabricação de painéis estruturais e não estruturais fora do canteiro de obra, além de elementos de contraventamento e tesouras de telhado que são transportados até o local para montagem convencional por meio de parafusos (Figura 5). Para essa técnica, as principais vantagens são:

- Relação similar ao concreto pré-moldado, minimizando o trabalho na obra;
- Maior velocidade na montagem da estrutura;
- Automação de tarefas;
- Controle de qualidade rigoroso durante a produção industrial como o aumento da precisão dimensional de cada elemento.

Figura 5 - Pré-fabricação de painéis e montagem no local (método por painéis)



Fonte: Steel House (2017)

c) Método de construção modular

O método construtivo mais completo é executado por meio da pré-fabricação integral de unidades modulares (Figura 6), isto é, módulos com todos os acabamentos internos e externos, bem como louças e mobiliários. No canteiro de obra resta, portanto, a definição do posicionamento dos módulos conforme projeto arquitetônico, contribuindo para níveis altíssimos de produtividade.

Figura 6 - Unidade modular em fábrica



Fonte: Venice, California Cube, projetada por MDesigns (2017)

3.3.3. *Desempenho*

3.3.3.1. *Térmico*

As paredes externas e a cobertura estabelecem uma barreira física capaz de manter, no interior da edificação, condições térmicas de conforto dentro dos padrões normativos estabelecidos pela ABNT NBR 15575:2013.

Mateus (2004, apud Rego, 2012), traz a necessidade de um estudo cuidadoso sobre o comportamento térmico das soluções construtivas, a fim de que se possa tornar a habitação mais sustentável e eco eficiente.

Neste intuito, baseando-se no conceito de isolamento em forma de camadas, o sistema LSF permite associar placas leves deixando, entre elas, combinações de materiais capazes de melhorar o processo de troca de calor entre ambientes externos e internos. Assim, em diferentes situações do ano (inverno e verão, por exemplo), as paredes conseguem controlar as perdas e ganhos de temperatura, trazendo conforto para os usuários e eficiência energética para a edificação.

3.3.3.2. Acústico

O som pode ser facilmente transferido por meio dos materiais de uma edificação a partir de uma vibração sonora, gerada interna ou externamente, tornando-a possível de ser captada, pelo ouvido humano.

Assim, o isolamento acústico é bastante necessário para a minimização desse efeito, sendo importante característica em uma construção LSF. Por meio de materiais isolantes, como a lã de rocha (lã mineral), instalados no interior das paredes, estruturas de coberturas e entrepisos, o desempenho acústico torna-se satisfatório para os parâmetros de avaliação recomendados pela norma brasileira de desempenho ABNT NBR 15575:2013.

Esse desempenho acústico é estimado mediante a avaliação da Classe de Transmissão de Som Aéreo (CTSA), sendo, segundo Baring (2000), um indicador global (em decibels – dB) da capacidade de um material em reduzir a propagação do som entre dois ambientes. A Tabela 6, adaptada por Crasto (2005) e baseada em Kinsler et al. (1982) e Elhajj (2002), demonstra valores de CTSA para elementos construtivos convencionais e em LSF.

Tabela 6 - Classe de Transmissão de Som Aéreo para elementos construtivos

Componente da Construção	CTSA
Parede de tijolo com 25 cm	52
Placa de vidro de 6 mm	26
Bloco de concreto celular autoclavado	45
Painel de gesso acartonado com montantes 90x40 a cada 400 mm com placas de gesso de 12,5 mm em ambos os lados sem isolamento com lã mineral	33
Painel de gesso acartonado com montantes 90x40 a cada 400 mm com placas de gesso de 15 mm em ambos os lados sem isolamento com lã mineral	34
Painel de gesso acartonado com montantes 90x40 a cada 400mm com placas de gesso de 12,5 mm em ambos os lados com isolamento de lã mineral de 50 mm de espessura	36
Painel de gesso acartonado com montantes 90x40 a cada 400 mm com placas de gesso de 15 mm em ambos os lados com isolamento de lã mineral de 50 mm de espessura	38
Painel de gesso acartonado com montantes 90x40 a cada 600mm com placas de gesso de 15 mm em ambos os lados com isolamento de lã mineral de 75 mm de espessura	45-49
Painel de gesso acartonado com montantes 90x40 a cada 600mm com 2 placas de gesso de 15 mm em ambos os lados com isolamento de lã mineral de 75mm de espessura	50-54

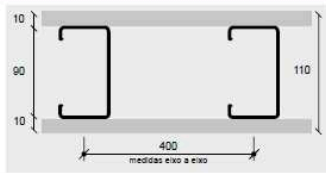
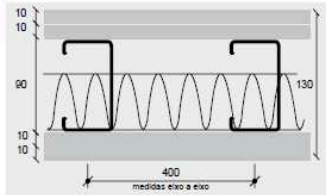
Fonte: Crasto (2005)

3.3.3.3. Resistência ao fogo

A resistência do aço é radicalmente diminuída quando exposto à ação do fogo, sendo estimado como tempo médio de resistência ao fogo em 30 minutos para estruturas metálicas não projetadas para essa determinação. No caso do LSF, devido à espessura dos perfis de aço formados a frio, há grande necessidade de dimensionamento adequado para situações de incêndio ou proteção da estrutura por meio dos sistemas de vedação.

O gesso acartonado é capaz, segundo a Gypsum Association (2009), de dobrar o tempo de resistência ao fogo quando aplicado em ambas as faces das paredes internas e em uma das externas. Esse valor, de 60 minutos, pode ser ainda maior quando há a associação de duas placas de gesso por face ou mesmo de dupla placa cimentícia, tornando a estrutura ainda mais resistente ao fogo conforme a Figura 7.

Figura 7 - Desempenho acústico e de resistência ao fogo para dois tipos de paredes em LSF

Nomenclatura*	Corte	Especificação	Isolamento acústico R_w **	Resistência ao fogo (minutos)***
Parede 110/90/400/10-10		Placa Cimentícia 10 mm Estrutura 90 mm Placa Cimentícia 10 mm	45 dB	CF 30
Parede 130/90/400/2 x 10 - 2 x 10/ LM 50		Placa Cimentícia 2 x 10 mm Estrutura 90 mm Lã mineral 50 mm Placa Cimentícia 2 x 10 mm	57 dB	CF 120

* Nomenclatura das paredes:

Parede: 130 90 400 2x10 2x10 LM 50

Espeçura total da parede em mm.
Espeçura da estrutura em mm.
Espaçamento entre montantes em mm.
Quantidade e espeçura de placa em mm em um lado.
Quantidade e espeçura de placa em mm do outro lado.
LM (lã mineral - isolante) 50 - espeçura em mm.

** R_w = Índice de redução sonora ponderado, medido em decibéis (dB) *** CF = corta fogo

Fonte: Construção Industrializada, Brasilit (2014)

3.4. Terminologia

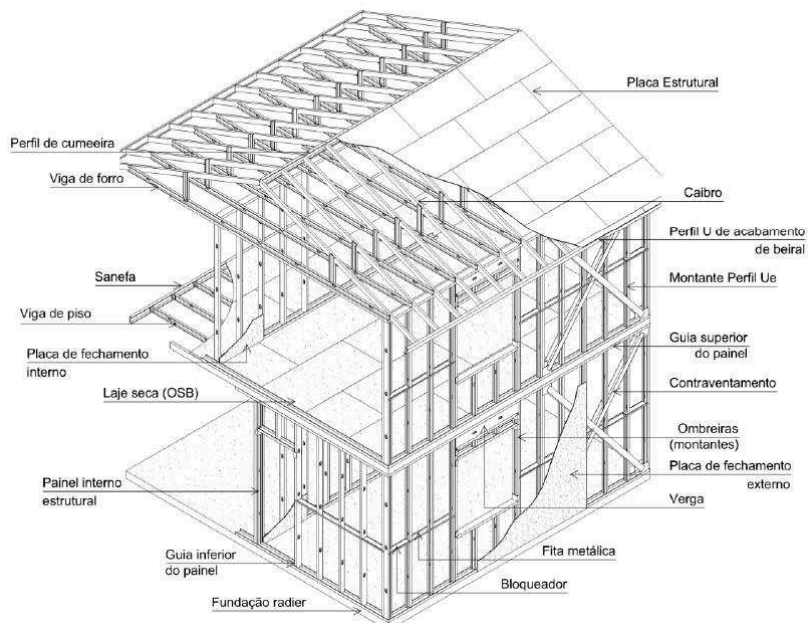
O sistema LSF é composto pela união de diversos perfis conectados que, em conjunto, suportam todas as cargas da edificação. Além da estrutura, fazem parte de sua composição diversos subsistemas que completam a construção, atribuindo-a uma aparência final semelhante a uma obra construída por métodos construtivos tradicionais.

O Manual *Steel Framing: Arquitetura* (FREITAS et al., 2012), do Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA), apresenta um esquema estrutural (Figura 8) característico do LSF, definindo seus principais componentes e aplicações em:

- a) Bloqueador: Perfil utilizado como travamento lateral (horizontal) de montantes e vigas;
- b) Caibro: Perfil utilizado que recebe as ripas sob ação das telhas;
- c) Fita metálica: Fita em aço galvanizado usada nas diagonais para contraventamento de painéis, pisos e cobertura. Pode ser empregado juntamente com os bloqueadores a fim de diminuir os comprimentos efetivos de flambagem dos montantes, além do travamento lateral das vigas de piso;
- d) Guia: Perfil aplicado como base e topo de painéis de paredes, aberturas e encabeçamento de vigas de entrepiso e telhados;
- e) Montante: Perfil utilizado verticalmente na composição de painéis de parede;
- f) Montante auxiliar: Montante preso à ombreira nos limites laterais das aberturas dos painéis;
- g) Ombreira: Perfil usado para apoio de vergas;
- h) Perfil enrijecedor de alma: Perfil utilizado verticalmente no apoio de vigas;
- i) Sanefa: Perfil de encabeçamento de painéis de pisos;
- j) Terça: Perfil que recebe ações provenientes dos caibros e as transmite para as tesouras, sendo colocado na sua direção perpendicular;
- k) Viga: Perfil ou conjunto de perfis usados horizontalmente para transmissão de esforços;

- 1) Verga: Perfil utilizado horizontalmente no limite das aberturas.

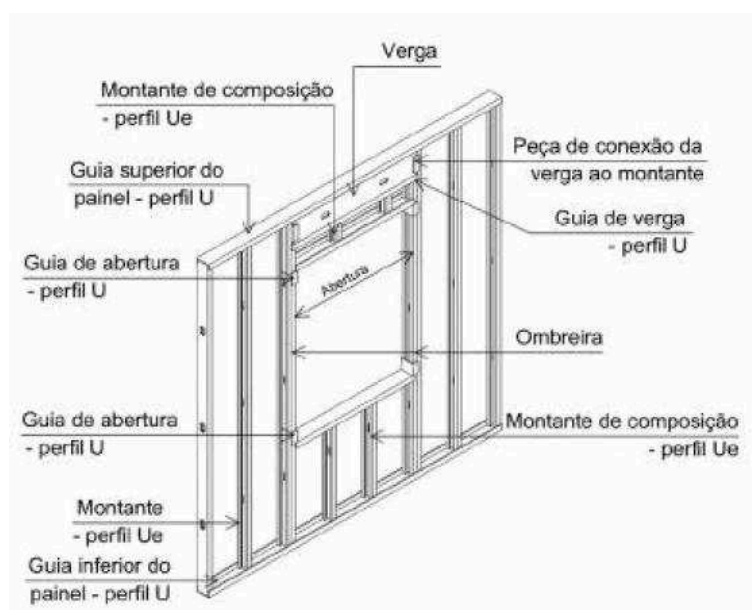
Figura 8 - Desenho esquemático de uma estrutura em *Light Steel Framing*



Fonte: Manual *Steel Framing: Arquitetura* (2012)

Em detalhe, na Figura 9, um painel estrutural com abertura e seus principais componentes.

Figura 9 - Componentes de um painel estrutural com abertura de janela



Fonte: Manual *Steel Framing: Arquitetura* (2012)

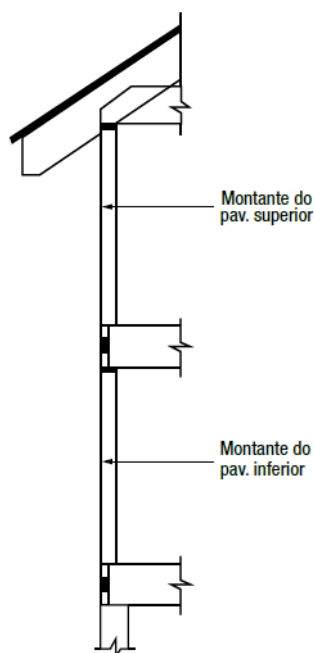
3.5. Concepção e dimensionamento

A estrutura do sistema LSF deve ser feita pelo posicionamento equidistante de elementos, conforme projeto estrutural, capazes de resistir a parcelas dos esforços totais aplicados.

O CBCA apresenta, no manual de arquitetura (FREITAS et al., 2012), a divisão em subsistemas verticais e horizontais, em que o segundo tipo deve, necessariamente, ser suportado pelo primeiro. Os componentes horizontais recebem as cargas primárias por flexão (piso e cobertura) e esforços horizontais por ações de diafragmas rígidos, sendo capazes de transmiti-los para os subsistemas verticais.

Esses, por sua vez, compostos por painéis, descarregam todo o carregamento da edificação sobre a fundação, assemelhando-se à concepção estrutural de diversos outros sistemas. Devido ao alinhamento da estrutura (“*in-line framing*”), as vigas de entrepiso são dispostas sobre os montantes a fim de coincidir os eixos de suas almas, transmitindo assim, esforços axiais e caracterizando o tipo de montagem denominado “*platform framing*” (Figura 10).

Figura 10 - Construção *platform framing*



Fonte: Steel Construction Institute (2004)

De acordo com Freitas et al. (2012), a coordenação modular é essencial para a concepção estrutural da edificação, sendo fator importante a consideração acerca do processo de instalação, isto é, condicionamentos estruturais.

O uso de malhas ou reticulados modulares planos e espaciais permite relacionar em um primeiro momento, a modulação da estrutura e os painéis de fechamento. O reticulado modular de referência deve considerar o módulo básico de 10 cm, uma vez que a partir dele que se referenciam as dimensões dos componentes. Porém malhas de maiores dimensões devem ser utilizadas para o projeto a fim de facilitar a criação e o desenho, contanto que sejam múltiplos do módulo fundamental. Para projetos com LSF pode ser empregada uma malha ou reticulado plano de 1200 mm x 1200 mm, uma vez que no estudo preliminar, o arquiteto não tem ainda a informação precisa se a modulação estrutural será de 400 ou 600mm. Portanto, quando se usa essa malha que é múltipla tanto de 400 como 600 mm, permite-se que posteriormente o projeto seja adequado a qualquer das opções determinadas pelo projeto estrutural. Também essa modulação de malha possibilita que desde os primeiros esboços se considere a otimização no uso das placas de fechamento, uma vez que a maioria desses componentes utiliza essa dimensão. (p.114).

Assim, no intuito de otimizar e compatibilizar o projeto arquitetônico com o estrutural, é desejável a concepção modular horizontal e vertical em acordo com os componentes de fechamento disponíveis no mercado, bem como tipos de esquadrias e posicionamentos empregados.

3.5.1. Fundações

A escolha da fundação é determinada de acordo com a topografia local, tipo de solo disponível no terreno, profundidade de solo estável, técnicas e ferramentas acessíveis, nível do lençol freático e estimativa de custos. A necessidade de obtenção dessas informações torna fundamental a realização de ensaios de sondagem, uma vez que a seleção ocorre para haja maior eficiência estrutural.

Em virtude da estrutura leve do LSF, o alicerce estrutural tem menores solicitações em comparação a outras soluções estruturais, mas requer distribuição contínua de seus elementos para que os esforços distribuídos pelos painéis sejam devidamente resistidos. Por essa natureza, fundações diretas executadas da forma convencional, são comumente adotadas como as soluções mais rápidas e baratas que atendem às necessidades.

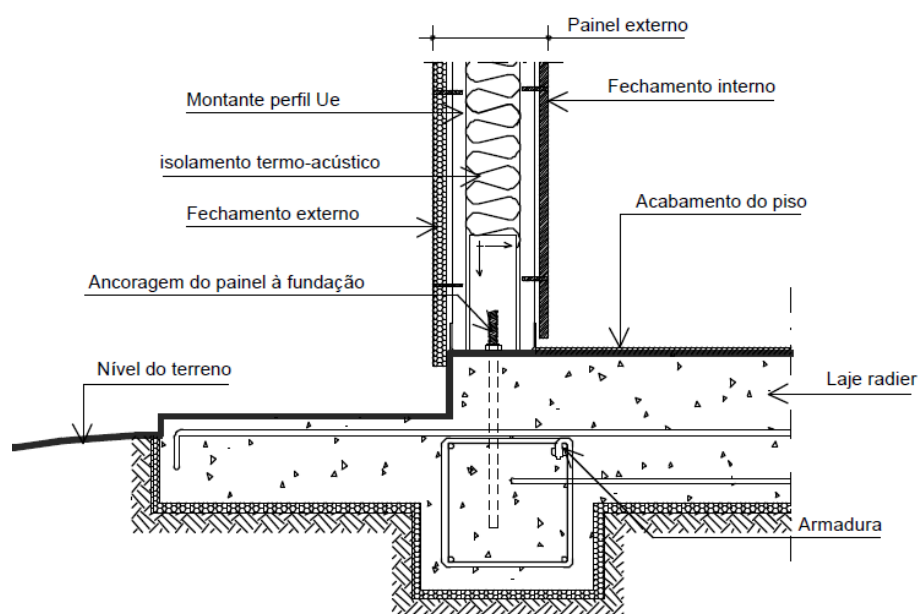
A precisão de montagem do edifício é apenas possível quando o projeto e a execução da fundação são executados com qualidade, estando essa ligada intimamente ao adequado funcionamento dos demais subsistemas e tornando ainda mais importante o projeto de fundação (CONSUL STEEL, 2002).

3.5.1.1. Radier

Por exigir menores movimentações de solo, a fundação rasa do tipo *radier* é executada de maneira simples e rápida, possibilitando diminuição dos custos em mão de obra e armações. Entretanto, devido ao fato de ser executada em concreto armado e anteriormente à montagem dos painéis, ancorados à fundação (Figura 11), é importante seguir o projeto de instalações elétricas e hidráulicas conforme determinado, para que não haja incompatibilidade ou necessidade de retrabalho.

Outro aspecto que torna interessante esse tipo de escolha é a eliminação da necessidade de um piso em estrutura LSF, contribuindo para maior redução nos custos da obra. Contudo, como os painéis estão em contato direto com a fundação, deve-se atentar para o isolamento da laje para evitar infiltração de água e contato constante com o aço dos perfis.

Figura 11 - Detalhe esquemático de ancoragem do painel a uma laje *radier*



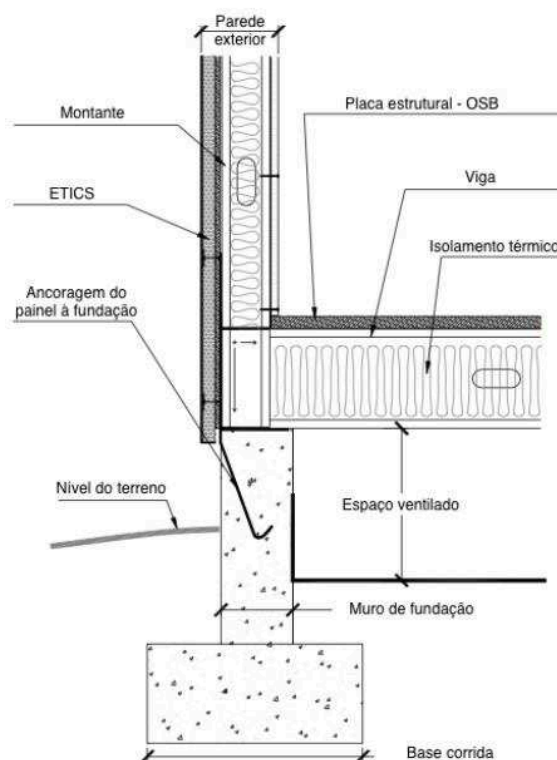
Fonte: Adaptado de Consul Steel (2002)

3.5.1.2. Sapatas corridas

Indicado para painéis portantes, caso da estrutura em LSF, as sapatas corridas são vigas de concreto armado, blocos de concreto ou alvenaria dispostos sob cada um dos painéis estruturais. Esse tipo de fundação é capaz de absorver os esforços sobre as paredes que são distribuídos continuamente até o elemento e, em seguida, ao solo.

Embora mais caras para implementação, as sapatas corridas proporcionam maior conforto térmico à edificação ao permitir fluxo de ar e evitar contato direto com o solo (Figura 12).

Figura 12 - Detalhe esquemático da execução de um painel sobre uma sapata corrida

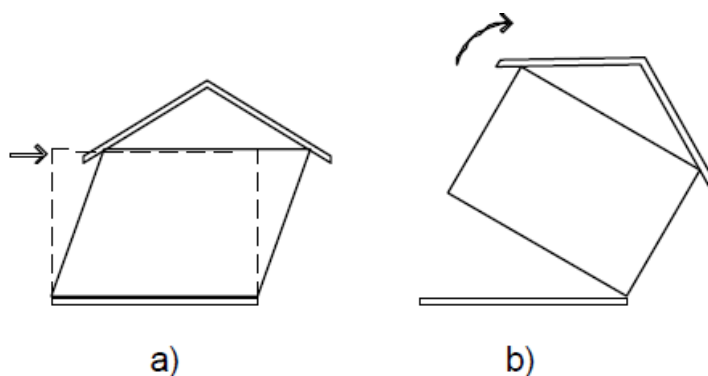


Fonte: Adaptado de Consul Steel (2002)

3.5.1.3. Ancoragem dos painéis na fundação

Scharff (1996) determina que a superestrutura, por sofrer ações do vento, deve ser fixada na fundação para que se possa evitar movimentos de translação ou tombamento com rotação da edificação (Figura 13).

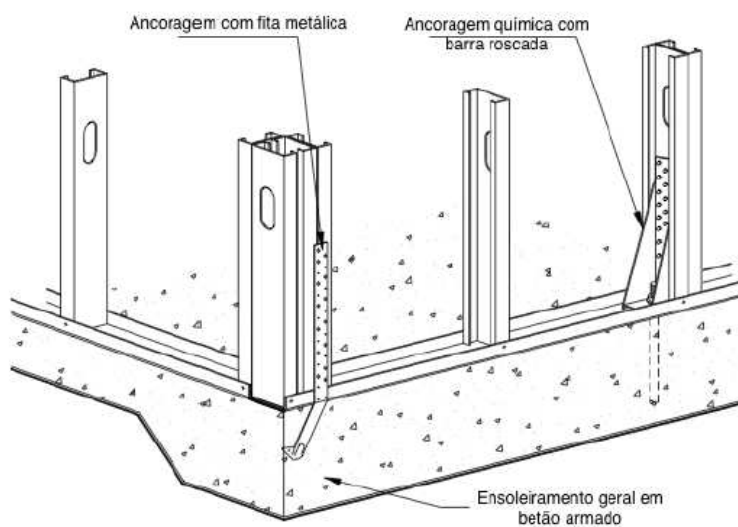
Figura 13 - Efeitos de vento na estrutura: a) translação; b) tombamento



Fonte: Freitas et al. (2012)

Os tipos de ancoragens definitivas mais comuns são: química, com barra rosca, ou fita metálica, conforme detalhado na Figura 14, sendo ainda possível a utilização de fixação expansível com *parabolt* (Figura 15), instalados por chumbadores mecânicos.

Figura 14 - Ancoragem definitiva em barra rosca e fita metálica



Fonte: Rego (2012)

Figura 15 - Ancoragem por expansão do tipo *parabolt*



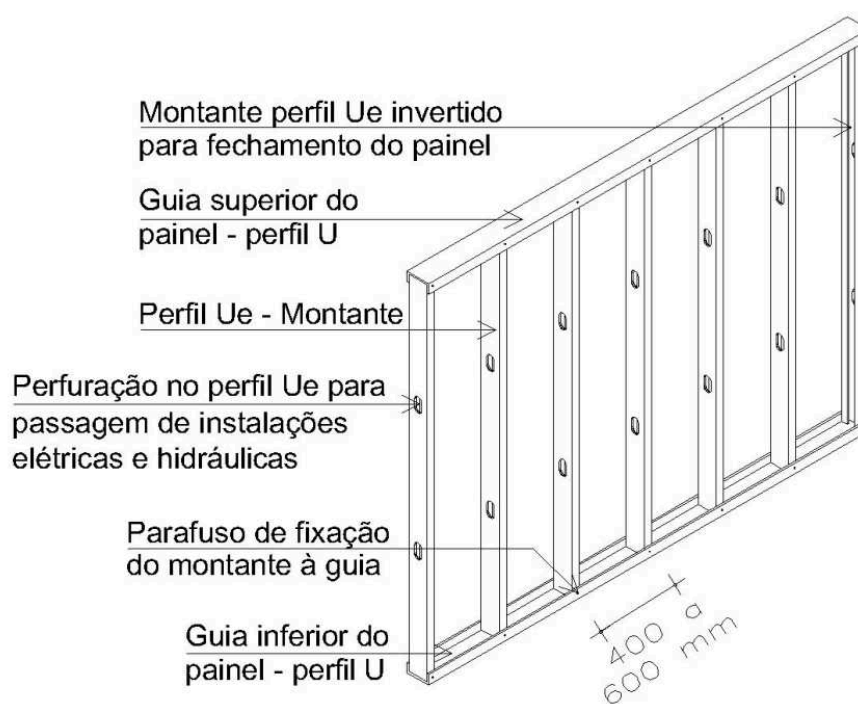
Fonte: Construção Industrializada, Brasilit (2014)

3.5.2. Painéis

Os painéis estruturais são responsáveis por suportar as cargas horizontais e verticais da edificação, exercidas geralmente por cargas de peso próprio, sobrecarga, de utilização (água pluvial, pessoas, mobiliário e equipamentos) proveniente de pisos, telhados, vento e painéis acima.

As paredes da edificação são basicamente formadas por guias em seu topo e base que ligam horizontalmente os montantes, dispostos na vertical e espaçados entre 400 e 600 mm. A composição fundamental dos elementos de um painel é mostrada na Figura 16, em que, apesar da existência de uma ligação entre guias e montantes, não há qualquer garantia de engastamento entre ambos dispositivos, sendo essa união considerada de forma rotulada durante o dimensionamento (Rego, 2012).

Figura 16 - Estrutura típica de um painel em *Light Steel Frame*



Fonte: Crasto (2005)

3.5.3. Guias

As guias, elementos horizontais de um painel, tem seção transversal do tipo U simples e são usadas em painéis, pisos e coberturas, formando a base para encaixe dos outros perfis e distribuindo os esforços para os componentes verticais.

Segundo Caldas e Rodrigues (2016) no manual *Steel Framing: Engenharia*, publicado pelo CBCA, as guias das paredes internas e externas devem ser dimensionadas para solicitações de compressão.

3.5.4. Montantes

Os montantes, por sua vez, são elementos verticais que compõem os painéis e estruturas de cobertura, como treliças, sendo formados por perfis do tipo Ue com espaçamento máximo, para as paredes, de 400 mm ou 600 mm. Para efeitos de cálculo, Caldas e Rodrigues (2016) recomendam a análise de extremidades rotuladas e o dimensionamento avaliado para esforços de compressão e tração atuando isoladamente em casos de montantes de paredes interna.

Por outro lado, para montantes de paredes externas, há grande atuação de esforços provenientes da ação do vento, levando o cálculo para dimensionamentos à flexão composta, variando entre flexo-tração e flexo-compressão dependendo do sentido do vento.

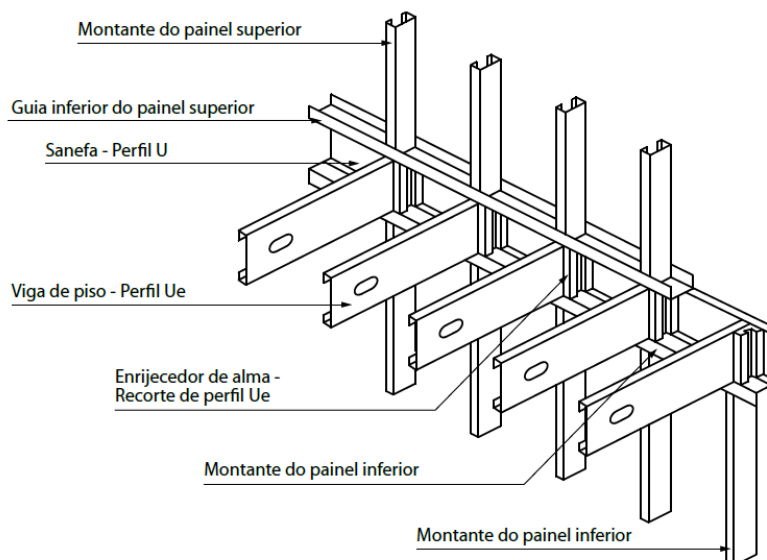
3.5.5. Vigas

Em vista da definição da modulação do painel ser dada pelos montantes, o espaçamento entre as vigas de piso (Figura 17) segue essa mesma fixação. Esses elementos recebem carregamentos como peso próprio, ocupação de pessoas, móveis, equipamentos etc. e os transmitem os painéis, podendo também servir de apoio para contrapiso.

Assim, em seu dimensionamento, para vigas de piso e alguns tipos de coberturas, devem ser considerados momento fletor, esforço cortante e a combinação resultante da força cortante e momento fletor. Ainda podem atuar forças axiais de compressão ou tração provenientes da

ação do vento e forças concentradas sobre os eixos longitudinais das barras, provocando compressão e esmagamento da alma.

Figura 17 - Estrutura de piso em *Light Steel Framing*



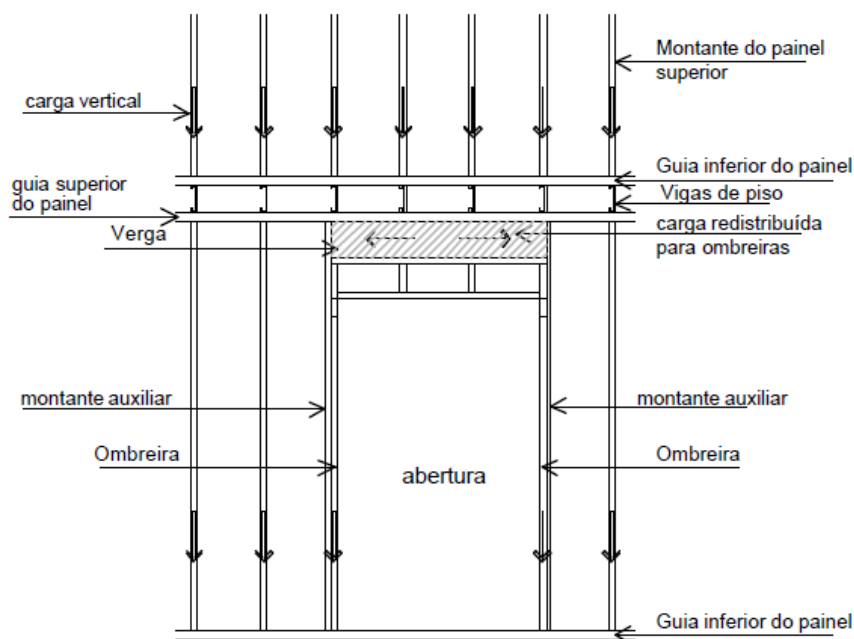
Fonte: Construção Industrializada, Brasilit (2014)

3.5.6. Vergas

As aberturas em um painel, destinadas à instalação de portas e janelas, também precisam de um reforço estrutural, a fim de redistribuir os esforços para a base dos painéis (Figura 18). O princípio de funcionamento é o mesmo das vergas utilizadas em construções convencionais e, para o LSF, necessárias quando os montantes são interrompidos e deslocados para a lateral do vão, criando, assim, as ombreiras e montantes auxiliares.

Segundo Caldas e Rodrigues (2016), as vergas podem ser formadas a partir de perfis caixa ou pela composição de dois perfis do tipo Ue conectados em sua alma por parafusos auto-atarraxantes (no mínimo 2 por seção). A partir dessa definição, o dimensionamento é feito para momento fletor, esforço cortante e a combinação destes dois. Entretanto, é importante a consideração de outros efeitos, como o esmagamento da alma.

Figura 18 - Distribuição dos esforços através da verga para ombreiras

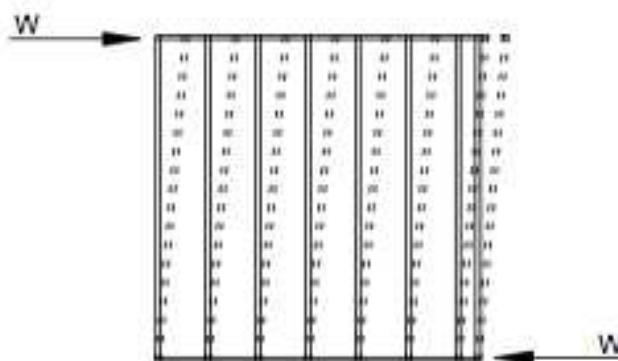


Fonte: Crasto (2005)

3.5.7. Contraventamentos

Isoladamente, os painéis estruturais são incapazes de resistir aos esforços horizontais que atuam na edificação, como vento e ação sísmica. A fim de tornar robusta a estrutura, adotam-se elementos capazes de reagir a essas forças e evitar a deformação apresentada na Figura 19, consequência da ancoragem do painel na fundação, união dos montantes e guias rotuladas.

Figura 19 - Deformação de um painel em LSF não contraventado



Fonte: Crasto (2005)

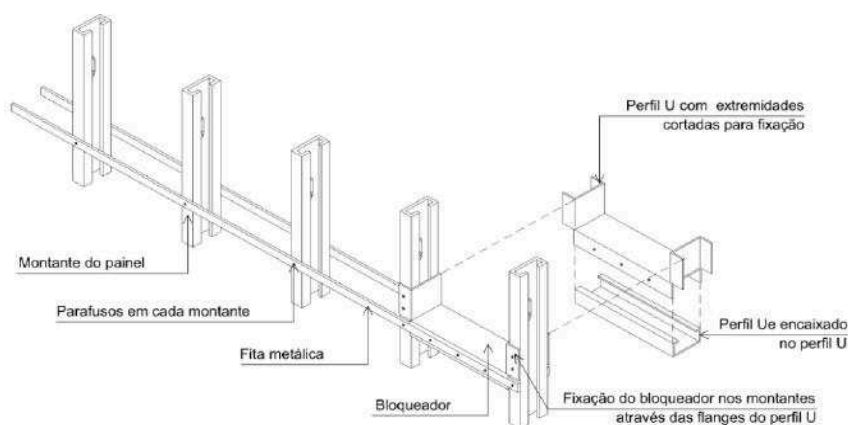
De acordo com Rodrigues (2006, apud Rego, 2012), essa deformação induz a edificação ao colapso, tornando necessário o contraventamento dos painéis para estabilidade e sendo executado conforme um dos métodos:

- A utilização de diagonais (fitas) metálicas (formato em X ou em K);
- A utilização da estrutura do piso e das paredes como efeito diafragma.

3.5.7.1. *Bloqueadores, fitas e diagonais metálicas*

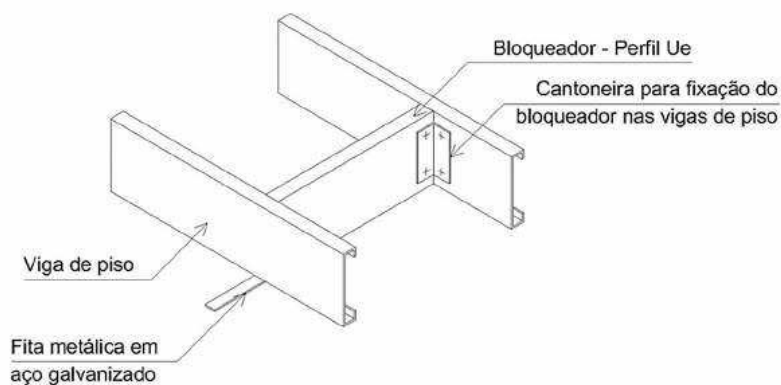
Os bloqueadores funcionam como enrijecedores do painel, posicionados entre montantes (Figura 20), e travamento lateral para as vigas (Figura 21) impedindo a flambagem lateral com torção para estes elementos.

Figura 20 - Bloqueadores instalados entre montantes



Fonte: Crasto (2005)

Figura 21 - Travamento lateral de vigas por bloqueadores e fitas de aço galvanizado



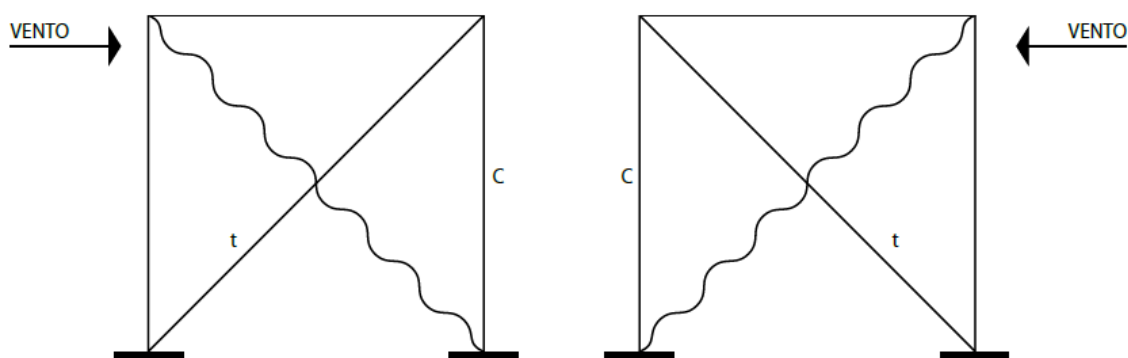
Fonte: Caldas e Rodrigues (2016)

Fabricados em perfis Ue (ou U simples), os bloqueadores devem ter as mesmas dimensões nominais, b_w e b_f , do perfil das vigas de piso ou cobertura, sendo conectados por cantoneiras e instalados perpendicularmente à seção central do perfil ou a cada terço do vão (CALDAS e RODRIGUES, 2016). Para os painéis, devem ser posicionados na região central de montantes com até 2500 mm de altura e no primeiro e segundo terços para casos de painéis entre 2750 mm e 3000 mm de altura (NASFA, 2000).

Em ambos os casos, painéis e vigas, os bloqueadores têm a função de contraventamento dos perfis metálicos e redução do comprimento de flambagem a fim de evitar o modo de flambagem global elástica por flexo-torção em virtude da excentricidade do centroide da seção Ue com seu centro de torção (CALDAS e RODRIGUES, 2016).

As diagonais metálicas também agem como elementos de contraventamento, estabilizando a estrutura, e são dimensionadas para transmissão dos esforços de tração e compressão que são decompostos pelas cargas horizontais (Figura 22) atuantes em sua direção (CONSUL STEEL, 2002). Segundo Scharff (1996), o ângulo de instalação das diagonais influencia a capacidade de contraventamento, tornando menor a tensão sobre elas quando há uma diminuição do ângulo formado entre a base do painel e as diagonais.

Figura 22 - Solicitação das diagonais de contraventamento

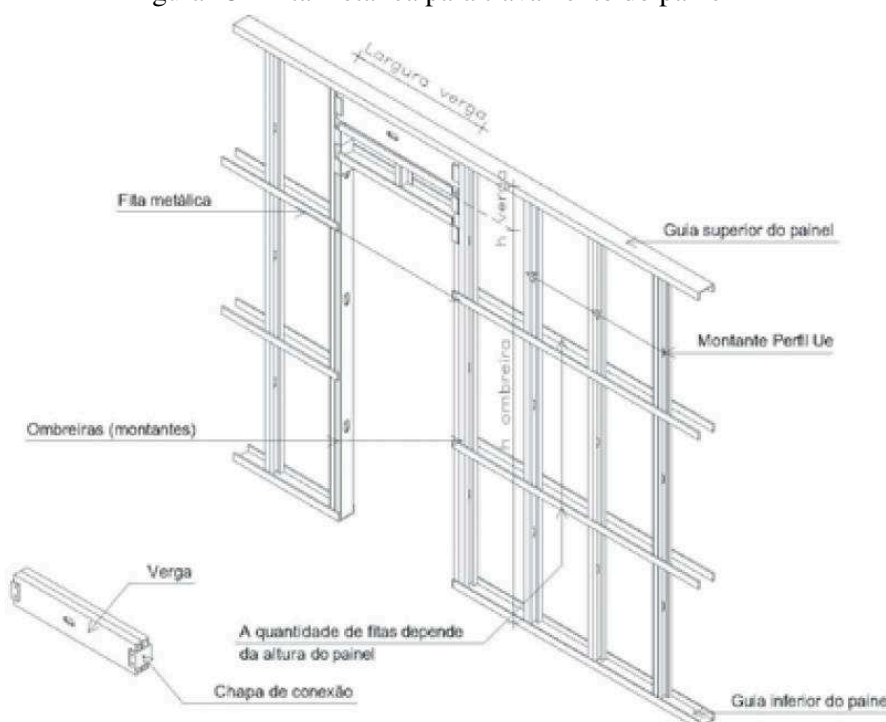


Fonte: Dias (1997)

Entretanto, de acordo com Consul Steel (2002), ângulos de fixação menores do que 30° acabam por tornar ineficaz o contraventamento, não evitando as deformações horizontais. Assim, ainda pelo mesmo autor, recomenda-se que, para o melhor desempenho desse tipo de elemento, deve-se adotar inclinações entre 30° e 60° .

As fitas de aço galvanizado, quando instaladas nas bases externas e internas dos montantes, impedem a rotação desses elementos e atuam em conjunto com os bloqueadores para diminuição do comprimento de flambagem dos perfis verticais (PEREIRA JR., 2004). Segundo Elhajj e Bielat (2000, apud Caldas e Rodrigues, 2016), as fitas metálicas devem ter dimensões mínimas de 38 mm de largura por 0,84 mm de espessura, devendo ser fixadas ao longo de todo painel e em ambos os lados (Figura 23).

Figura 23 - Fita metálica para travamento do painel



Fonte: Construção Industrializada, Brasilit (2014)

Em vigas de piso e cobertura, as fitas são usadas para travamento lateral nas mesas inferiores quando as superiores forem estabilizadas por placas OSB. Em todos os casos, são elementos dimensionados somente à tração e devem receber protensão durante o processo de execução.

3.5.7.2. Diafragmas

Segundo Bevilaqua (2005), os diafragmas rígidos são soluções de estabilização empregadas por programas de análise numérica para simulação do movimento de corpo-rígido devido à restrição de lajes (pisos secos) às vigas, inibindo deslocamentos relativos entre elas.

Em geral, os diafragmas horizontais restringem esses deslocamentos tornando o conjunto de fôrmas de aço e concreto, para pisos úmidos, e placas OSB, em caso de pisos secos, em um sistema com efeito de diafragma rígido para o sistema LSF.

Embora não seja normatizado pela ABNT, os painéis de parede também podem gerar um subsistema de diafragma por meio do contraventamento em fitas e diagonais metálicas, fixados por placas estruturais de revestimento.

3.5.8. *Ligações*

Em virtude dos elementos estruturais do sistema LSF serem, necessariamente, conectados entre si, o dimensionamento adequado do tipo adequado das ligações é fundamental para o real funcionamento do método, tendo sua resistência e estabilidades preservadas.

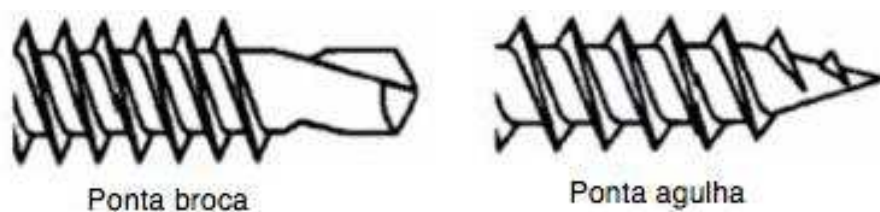
Elhajj (2004) apresenta os fatores determinantes para a escolha do tipo de ligação ou fixação, sendo eles:

- Condições de carregamento;
- Tipo e espessura dos materiais ligados;
- Resistência necessária da conexão;
- Configuração do material;
- Disponibilidade de ferramentas e fixações;
- Local de montagem;
- Custo e experiência de mão de obra;
- Normalização

Embora os perfis formados a frio possam ser ligados por soldas de ponto ou contínua, esse tipo de ligação requer mão de obra mais especializada, o que o torna incomum e mais caro. Assim, atualmente para o sistema LSF, utiliza-se a conexão por parafusos em aço carbono recobertos por uma proteção zinco-eletrolítica, evitando processos corrosivos e mantendo a semelhança com os perfis metálicos (RODRIGUES, 2006).

Os parafusos usados no Brasil são auto-atarraxantes e auto perfurantes, fabricados com pontas do tipo broca e do tipo agulha (Figura 24). Devido à importância das ligações para o funcionamento geral do sistema, cada um tem seu diâmetro, comprimento e tipo de ponta e cabeça recomendados conforme o fabricante (RODRIGUES, 2006).

Figura 24 - Tipos de pontas usadas nos parafusos no sistema LSF



Fonte: Rodrigues (2006, apud Rego, 2012)

A Tabela 7 reproduz as características dos parafusos (em polegadas) conforme suas aplicações.

Tabela 7 - Características dos parafusos recomendadas em função da aplicação

Materiais	Aplicação	Diâmetro mínimo	Tipo de ponta	Tipo de cabeça
Aço	Guia – montante; montante – fita metálica;	Estrutural: #8 Não Estrutural: #6	Agulha ou Broca ¹	Plana
	Montante – montante; cantoneira – montante; cantoneira – verga; verga – montante; travamento da viga;			Hex
Gesso	Fechamento vertical ou horizontal	#6	Agulha ou Broca ¹	Plana ou Oval
OSB	Fechamento vertical ou horizontal	#8	Agulha ou Broca ¹	Plana ou Oval
¹ Dependendo da espessura do perfil ao qual vai ser fixado				

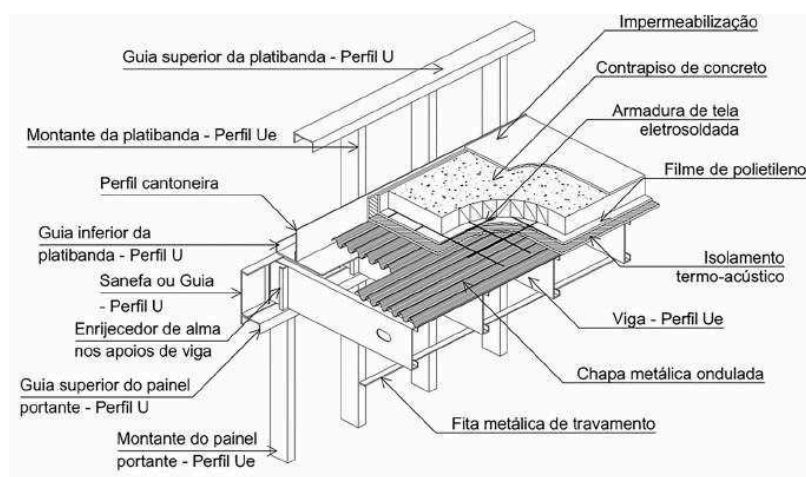
Fonte: Rodrigues (2006)

3.5.9. Coberturas

A escolha da solução estrutural de uma cobertura depende, dentre outros fatores, da sua dimensão, carregamentos atuantes, custos de produção, execução e exigências arquitetônicas (CALDAS e RODRIGUES, 2016).

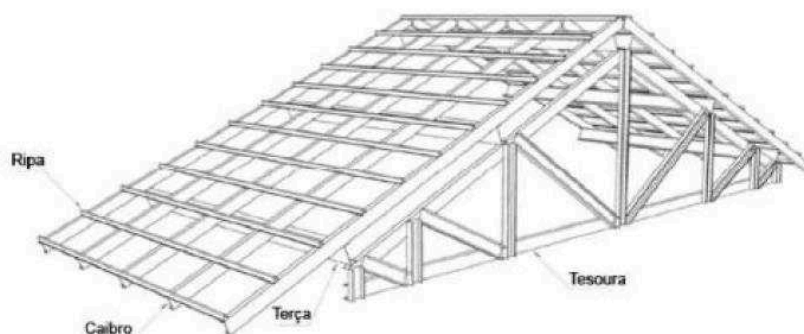
O manual *Steel Framing: Arquitetura* (FREITAS et al., 2012) apresenta diversos tipos de sistemas de cobertura empregados em estruturas LSF, descrevendo ainda detalhes de montagem e esquemas de verificações da execução. As coberturas podem ser planas (Figura 25) ou inclinadas, sendo que estas quando estruturadas com caibros e tesouras (Figura 26) têm seus perfis fabricados em formato U enrijecido, guias de encabeçamento dos painéis (sanefas) em perfis do tipo U simples e as barras de contraventamento (ripas) em perfis cartola.

Figura 25 - Cobertura plana em *Light Steel Framing*



Fonte: Freitas et al. (2012)

Figura 26 - Cobertura inclinada estruturada com caibros, ripas, tesouras e terças



Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15253:2014

Segundo Caldas e Rodrigues (2016), o dimensionamento das vigas de coberturas planas e dos caibros em estruturas inclinadas é feito para resistir a esforços de momento fletor, esforço cortante e à combinação destes. Por outro lado, para as barras da treliça (terças) e tesouras, o dimensionamento é determinado pelas forças axiais de tração ou compressão atuando de maneira isolada, entretanto, é importante observar se a ligação entre as barras é rígida ou se há carregamento aplicado entre os nós de uma barra, a fim de que, para este caso, se considere a flexão composta sobre o perfil.

Os mesmos autores recomendam ainda que independentemente do tipo de solução estrutural adotado para a cobertura, é necessário garantir o funcionamento do efeito diafragma, colaborando, então, para a estabilidade da estrutura por meio do contraventamento em diagonais na forma de V, X ou K, ou com placas estruturais de revestimento OSB.

4. MODELAGEM ESTRUTURAL

4.1. Introdução

O uso de ferramentas computacionais para o cálculo de estruturas é parte importante do grande avanço tecnológico no ramo das engenharias. A simulação virtual de um comportamento físico real possibilita conhecer fragilidades do projeto, analisar e evitar comportamentos indesejados, além de diminuir expressivamente os custos de um possível retrabalho outrora certo em casos de incompatibilidades e imprecisões nos cálculos.

A modelagem estrutural também garante ao engenheiro a agilidade de processamento, haja vista a capacidade dos computadores em realizar cálculos simultâneos e complexos com maior eficiência e velocidade. Assim, buscando a validação de soluções estruturais propostas para cada sistema construtivo, tem-se, no processo de modelação computacional, a possibilidade do dimensionamento de vários elementos em conjunto.

Em posse desse recurso, é possível aprimorar as hipóteses de cálculo e abandonar as simplificações dos modelos que antes eram adotados em virtude da complexidade de execução manual. A modelagem incorpora, segundo Martha (2010), o comportamento físico idealizado

de estruturas baseado em resultados experimentais, estatísticos e matemáticos, podendo ser dividida em:

- Hipóteses sobre a geometria do modelo;
- Hipóteses sobre as condições de suporte (ligação com o meio externo, por exemplo, com o solo);
- Hipóteses sobre o comportamento dos materiais;
- Hipóteses sobre as solicitações que agem sobre a estrutura (cargas de ocupação ou pressão de vento, por exemplo).

Assim, objetivando avaliar o comportamento estrutural do sistema LSF por meio de ferramentas computacionais em três dimensões (3D), definem-se, neste capítulo, as premissas para o lançamento da estrutura e a abordagem do *software*.

4.2. Projeto arquitetônico

Segundo Bevilaqua (2005), os perfis formados a frio são cada vez mais empregados nas construções brasileiras devido ao seu baixo custo de produção, processo de fabricação simples e rapidez executiva. Em vista dessas características e da necessidade de diminuição do déficit habitacional existente no Brasil, a adoção de sistemas construtivos estruturados em PFF é possivelmente uma solução tecnicamente viável.

A construção de habitações sociais é parte da política governamental adotada com o objetivo de dar acesso à compra da casa própria por pessoas de rendas mais baixas. Criado em 2009 pelo Ministério das Cidades, órgão do Governo Federal Brasileiro, o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) oferece condições de financiamento e subsídios de moradias para famílias de baixa renda.

Embora seja considerado recente este programa de incentivo, a Caixa Econômica Federal (CEF) já havia elaborado um manual de requisitos e condições mínimas para o financiamento de obras executadas em LSF. Assim, em busca de impulsionar a construção em *Light Steel Framing*, o manual publicado em 2003, sob o título de Sistema Construtivo Utilizando Perfis Estruturais Formados a Frio de Aços Revestidos (*Steel Framing*), prevê o

estabelecimento de critérios de análise para a avaliação das solicitações de financiamento de habitações construídas a partir desse sistema.

Este trabalho, levando em conta a importância de práticas incentivadoras para a adoção de inovações tecnológicas, apresenta o estudo estrutural de uma edificação projetada para servir como moradia popular. Assim, a concepção arquitetônica, demonstrada na Figura 27, contempla atributos comuns a estes tipos de construções, tal como a lógica de racionalização dos ambientes em um menor espaço possível para conforto, mas respeitando as áreas mínimas estabelecidas pelo PMCMV.

Figura 27 - Planta baixa do projeto arquitetônico (sem escala) – Revit 2017



Fonte: Autor

Na Figura 28, é possível visualizar, em perspectiva 3D, o projeto arquitetônico após a concepção estrutural em LSF. Nota-se que o aspecto final da edificação é equivalente ao de uma construção feita em sistemas construtivos tradicionais, reforçando a ideia de que sistemas inovadores tecnológicos, especialmente os industrializados, podem ser, à primeira vista, uma solução para o déficit habitacional brasileiro.

Figura 28 - Vista em perspectiva 3D do projeto arquitetônico analisado – Revit 2017



Fonte: Autor

4.3. Definição do software

A capacitação profissional, como para qualquer profissão, é uma exigência cada vez mais cobrada na engenharia moderna e, para tanto, os responsáveis devem ter experiência prática e conhecimento técnico para o desenvolvimento de metodologias e abordagens. Assim, a existência de ferramentas tecnológicas apropriadas, tais como *softwares* voltados para a elaboração de projetos estruturais, possibilita a difusão no mercado de sistemas inovadores.

No Brasil, a dificuldade em encontrar programas computacionais específicos para a modelagem, análise e dimensionamento de projetos em LSF é ainda maior. Essa complexidade torna-se maior pelo fato de que os *softwares* atualmente disponíveis no mercado não são

adaptados às normas técnicas brasileiras usadas para o dimensionamento de estruturas em perfis formados a frio, como:

- NBR 6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações;
- NBR 6120:1980 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações;
- NBR 14762:2010 – Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio;
- NBR 15253:2014 – Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis estruturais reticulados em edificações – Requisitos gerais.

Visando a disseminação do conhecimento técnico, a empresa brasileira Stabile Engenharia desenvolveu um programa inteiramente idealizado para o projeto de estruturas neste tipo de sistema construtivo, tendo como base as normas supracitadas.

A Stabile Engenharia, fundada em 1975, conta com experiente atuação no mercado de *softwares* voltados para a automação de projetos de estruturas metálicas, tendo consolidado programas de cálculo de ligações, dimensionamento 3D, cálculo e dimensionamento de vigas mistas e demais utilitários para construções em aço.

A plataforma mCalcLSF, disponibilizada recentemente pela empresa, está em constante atualização para que o desenvolvimento de estruturas em LSF possa ter ganhos expressivos no aumento da produtividade e rapidez de cálculo. Assim, com a modelagem estrutural do projeto arquitetônico integrada ao módulo de dimensionamento e análise em 3D, é possível realizar as verificações e produzir as documentações necessárias em um projeto estrutural.

4.4. *Características do software*

No mCalcLSF, o lançamento estrutural da edificação é desenvolvido em um módulo 2D e pode ser feito através da importação de plantas de projetos arquitetônicos desenvolvidos em outras plataformas, como o Autocad. A partir do modelo de arquitetura é possível sobrepor os elementos construtivos do LSF e dar forma à estrutura que será analisada.

Segundo Stabile (2006), o mCalcLSF utiliza a plataforma do mCalc3D para os procedimentos de análise e dimensionamento, adotando como parâmetros as informações anteriormente inseridas na modelagem em 2D, como os perfis pré-estabelecidos pelo usuário.

O mCalc3D foi também desenvolvido pela própria Stabile e realiza a análise elástica-linear baseada no Método da Rigidez Direta, sendo esta uma sistematização do Método dos Deslocamentos em que três conjuntos de equações devem ser satisfeitos.

1. Equações de equilíbrio;
2. Equações de compatibilidade;
3. Equações constitutivas.

De acordo com Stabile (2006), esses três conjuntos de equações são definidos por:

As Equações de Compatibilidade relacionam as deformações com os deslocamentos nodais. Introduzindo estas relações nas *Equações Constitutivas* relacionam-se as forças nos extremos das barras com os deslocamentos nodais. Introduzindo-se estas últimas nas *Equações de Equilíbrio*, obtém-se um conjunto de equações que relacionam forças com deslocamentos nodais.

Esse conjunto de equações pode ser considerado como um sistema de equações de equilíbrio da estrutura expressa em função dos deslocamentos. A solução desse sistema – objetivo de um programa de análise – fornece os valores das incógnitas do problema: deslocamentos nodais. De posse dos deslocamentos, pode-se obter as solicitações no extremo das barras, bem como as reações nodais. (p.146).

O mCalc3D divide o desenvolvimento da análise em seis etapas básicas:

- 1ª Etapa: Identificação estrutural dos elementos (módulo próprio mCalcLSF);
- 2ª Etapa: Cálculo da matriz de rigidez do elemento e do vetor das ações nodais equivalentes;
- 3ª Etapa: Montagem da matriz de rigidez da estrutura e do vetor de ações da estrutura (matriz global e vetor de ações global);
- 4ª Etapa: Introdução das condições de contorno (vinculação);
- 5ª Etapa: Solução do sistema de equações;
- 6ª Etapa: Cálculo das solicitações nos extremos das barras e das reações nodais.

O *software* também é capaz de efetuar uma análise não-linear para os efeitos de segunda ordem. Por meio do método direto, ele atualiza sucessivamente a matriz de rigidez geométrica, a fim de que os deslocamentos e solicitações em cada iteração possam ser recalculados até que a solução se enquadre no critério de convergência.

4.5. Considerações primárias de projeto e modelagem

O lançamento estrutural é feito a partir do projeto arquitetônico e tem início definindo o espaçamento entre montantes que, para este trabalho, será primeiramente tomado em 400 mm, além da presença de uma estrutura de telhado, número de pavimentos e pé-direito, sendo a tela inicial do mCalcLSF como observada na Figura 30.

Figura 29 – Tela inicial de definições do mCalcLSF

Fonte: Autor

O projeto arquitetônico adota para a edificação uma altura de 2,5 metros entre o piso e a laje de cobertura, isto é, altura de pé-direito de 2500 mm. Em posse deste projeto e de considerações como espaçamento entre perfis, localização da obra para que se possa estimar a velocidade característica do vento e dimensões horizontais da edificação, é possível pré-dimensionar os montantes e vãos máximos para vigas de piso conforme as Tabelas de Dimensionamento do Sistema LSF (Rodrigues, 2006), material este disponível para consulta no Anexo A.

Além destas designações primárias para os montantes, definem-se os materiais que compõem o projeto e suas propriedades físicas (Tabela 8), bem como perfis básicos e estimados para os outros componentes estruturais (Figura 30)

Tabela 8 - Propriedades físicas dos materiais usados neste projeto

Material	Espessura (mm)	Densidade (kN/m³)
Aço ASTM A36	0,95 1,25 1,55	78,5
Gesso acartonado	12,0	10,0
Lã de vidro	50,0	0,12
Placa cimentícia	12,0	17,0
Placa OSB	15,0	6,4
Vermiculita expandida	50,0	1,6

Fonte: Adaptado de Manual *Steel Framing*: Engenharia

Embora necessariamente sejam utilizados aços zincados, a adoção do aço ASTM A36 deve-se exclusivamente ao fato de suas propriedades físicas, relativas aos seus limites de escoamento e ruptura (250 MPa e 400MPa, respectivamente) terem correspondência com o aço estrutural ZAR250, que será propriamente utilizado no projeto. Assim, em virtude da biblioteca de perfis presente no programa de cálculo, o aço ASTM A36 deve ser interpretado como correspondente ao ZAR250.

Figura 30 - Perfis estruturais adotados para o pré-dimensionamento

Elemento	Nome do Perfil
Montante	UENR 90 x 40 x 12 x 0.95
Guia	[92 x 40 x 0.95
Viga	CA 120 x 40 x 12 x 0.95
Contravento	RET 38 x 0.95
Bloqueador	[90 x 40 x 0.95
Espigão/Rincão	CA 120 x 40 x 12 x 0.95
Banzos Treliças	UENR 90 x 40 x 12 x 0.95
Diagonais Treliças	UENR 90 x 40 x 12 x 0.95
Espelho do Beiral	[90 x 40 x 0.95
Cumeeira	[90 x 40 x 0.95
Oitão	[92 x 30 x 0.85
Terça/Longarina	CART 30 x 40 x 12 x 0.8

Travamentos

Placas restringindo a distorção dos painéis:

☐ Painéis Externos ?

☐ Painéis Internos ?

Placas reduzindo comprimento de flambagem:

☐ Painéis Externos ?

☐ Painéis Internos ?

Comprimento Flambagem 500 mm

Edição de painéis

☐ Duplicar montante de apoio do contraventamento

Ligação entre painéis

Parafusos sextavados a cada 300 mm

Bitola 4.2 (n°8) x 13(1/2")

Ligação entre montante e guia

Parafusos flangeados a cada 300 mm

Bitola 4.2 (n°8) x 13(1/2")

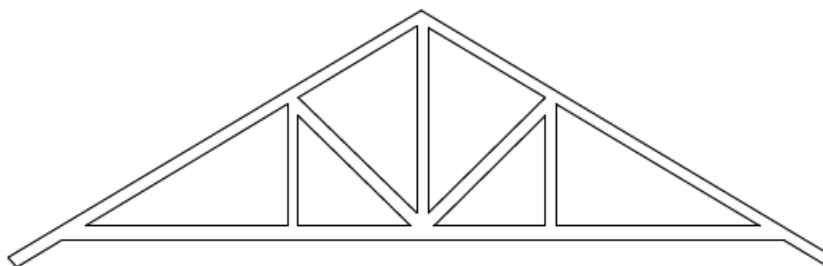
☐ Salvar como Padrão

Ok Cancelar

Fonte: Autor

O telhado foi adotado, primariamente, em cobertura inclinada composta por tesouras do tipo Howe (Figura 31), ripas e terças conforme especificações da Figura 30. A telha em fibrocimento com espessura de 8mm exige, segundo um dos fabricantes, uma inclinação mínima de 10%, mas, em virtude do caráter estético o arquiteto, optou pela imposição de uma cobertura em duas águas com inclinação de 30%.

Figura 31 - Tesoura Howe

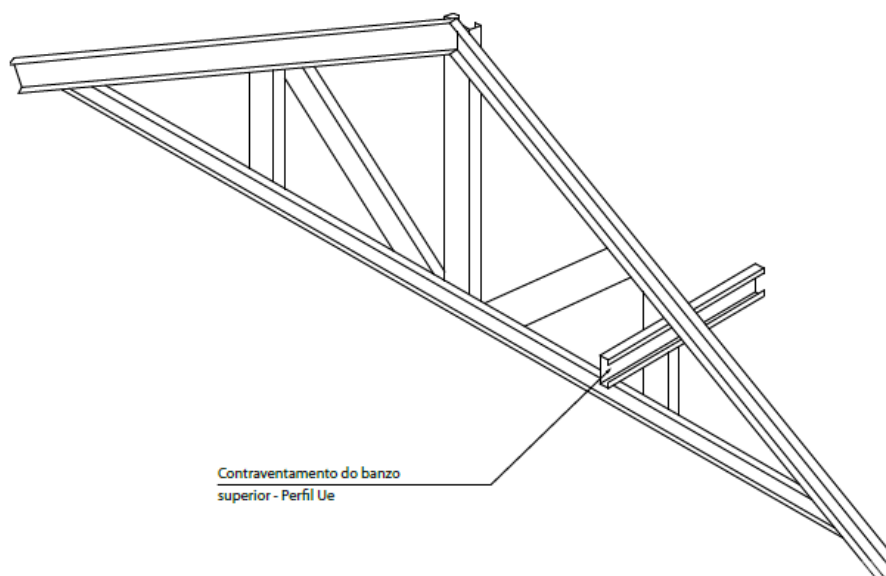


Fonte: Construção Industrializada, Brasilit (2014)

A estabilização da cobertura para este tipo de estrutura é primordial para que o sistema não entre em colapso durante a sua construção e, posteriormente, a sua utilização. Desta forma, o contraventamento é a garantia de que as tesouras atuem de forma simultânea, impedindo a instabilidade lateral causada pela estrutura isolada.

Este contraventamento pode ser feito de forma lateral e composto por perfis do tipo U e Ue fixados perpendicularmente às tesouras. Segundo Rodrigues (2006), o contraventamento lateral reduz o comprimento de flambagem dos banzos superiores (Figura 32) e inferiores, possibilitando a transferência dos esforços causados pela ação do vento para as tesouras e contraventamentos verticais.

Figura 32 - Contraventamento lateral do banzo superior



Fonte: Rodrigues (2006)

Outra forma de contraventamento da cobertura estruturada com tesouras é na vertical ou na forma de “X”, tendo perfis Ue cruzados e colocados perpendicularmente ao plano das tesouras, o que impede movimentos como a rotação e o deslocamento.

4.6. Ações

As ações que atuam na edificação são consideradas isoladamente quanto à sua natureza, podendo ser classificadas em permanente ou variável conforme a sua origem. Para o

dimensionamento da estrutura o programa, requer-se a inserção de valores correspondentes aos carregamentos atuantes que são previamente considerados pelos materiais da obra.

Segundo Rego (2012), o peso próprio da estrutura em LSF é substancialmente menor quando comparado ao concreto armado, tendo assim a necessidade de se considerar a ação do vento como importante carregamento na edificação. A seguir são especificadas as ações atuantes.

A norma brasileira ABNT NBR 14762:2010 apresenta coeficientes de ponderação das ações características (Tabela 9), sendo que estes valores devem ser inseridos pelo próprio usuário, a fim de que, a partir de suas considerações, seja possível valorizar ou reduzir determinada ação durante o processo de combinação.

Tabela 9 - Valores dos coeficientes de ponderação das ações

Combinações	Ações permanentes (γ_g) ^{1) 3)}					
	Diretas					Indiretas
	Peso próprio de estruturas metálicas	Peso próprio de estruturas pré-moldadas	Peso próprio de estruturas moldadas no local e de elementos construtivos industrializados	Peso próprio de elementos construtivos industrializados com adições "in loco"	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) ^{1) 4)}					
	Efeito da temperatura ²⁾		Ação do vento		Demais ações variáveis, incluindo as decorrentes do uso e ocupação	
Normais	1,20		1,40		1,50	
Especiais ou de construção	1,00		1,20		1,30	
Excepcionais	1,00		1,00		1,00	

NOTAS:

¹⁾ Os valores entre parênteses correspondem aos coeficientes para as ações permanentes favoráveis à segurança; ações variáveis e excepcionais favoráveis à segurança não devem ser incluídas nas combinações.

²⁾ O efeito de temperatura citado não inclui o gerado por equipamentos, o qual deve ser considerado como ação decorrente do uso e ocupação da edificação.

³⁾ As ações permanentes diretas que não são favoráveis à segurança podem, opcionalmente, ser consideradas todas agrupadas, com coeficiente de ponderação igual a 1,35 quando as ações variáveis decorrentes do uso e ocupação forem iguais ou superiores a 5 kN/m², ou 1,40 quando isso não ocorrer.

⁴⁾ Se as ações permanentes diretas que não são favoráveis à segurança forem agrupadas, as ações variáveis que não são favoráveis à segurança podem, opcionalmente, ser consideradas também todas agrupadas, com coeficiente de ponderação igual a 1,40 quando as ações variáveis decorrentes do uso e ocupação forem iguais ou superiores a 5 kN/m², ou 1,50 quando isso não ocorrer (mesmo nesse caso, o efeito da temperatura pode ser considerado isoladamente, com o seu próprio coeficiente de ponderação).

Fonte: ABNT NBR 14762:2010

4.6.1. Permanentes

As ações permanentes atuam com valores quase constantes durante toda a vida útil da construção, podendo ser divididas em ações permanentes diretas ou indiretas conforme a sua natureza. Para o primeiro caso são considerados o peso próprio da estrutura e dos elementos construtivos fixos, empuxos de terra permanentes e solicitações verticais indicadas pela ABNT NBR 6120:1980. As ações permanentes indiretas, por sua vez, são oriundas de deformações impostas por deslocamentos de apoio e imperfeições geométricas (Prudente, 2015).

Segundo os valores de ações para cada material usado na edificação, determinados no item 4.5, é possível estimar o carregamento referente ao peso próprio da parede (PP Parede), entrepiso (considerada como a laje sob a caixa d'água, para este trabalho) e telhado, conforme:

- Placas internas → considera-se apenas uma camada única de lã de vidro de 50 mm e, portanto, tem-se:

$$Placas\ internas = 0,05\ m \cdot 0,12\ \frac{kN}{m^3} = 0,006\ \frac{kN}{m^2}$$

- Placas externas → adota-se uma placa de OSB de 15 mm de espessura e uma camada única de lã de vidro de 50 mm e, portanto, tem-se:

$$Placas\ externas = 0,015\ m \cdot 6,4\ \frac{kN}{m^3} + 0,05\ m \cdot 0,12\ \frac{kN}{m^3} = 0,102\ \frac{kN}{m^2}$$

- Revestimento de paredes internas → composto por duas placas de gesso de 12 mm em cada face da parede, logo:

$$Revestimento\ interno = 2 \cdot 0,012\ m \cdot 10\ \frac{kN}{m^3} = 0,24\ \frac{kN}{m^2}$$

- Revestimento de paredes externas → composto por uma placa cimentícia e uma placa de gesso, ambas de 12 mm de espessura e faces opostas:

$$Revestimento\ externo = 0,012m \cdot 17 \frac{kN}{m^3} + 0,012m \cdot 10 \frac{kN}{m^3} = 0,324 \frac{kN}{m^2}$$

A consideração do carregamento de entrepiso atuante sobre as paredes do banheiro tem origem na caixa d'água, na laje que a recebe e no forro de cobertura que se situa abaixo. Seguindo o pré-dimensionamento do item 4.5, é possível estimar as cargas presentes no entrepiso, sendo:

- Caixa d'água → estimativa de 500 litros (120 litros/dia/pessoa · 4 pessoas) sobre uma laje de $1,60 \times 2,40$ metros. Assim, tem-se:

$$Carregamento\ distribuído_{caixa\ d'água} = \frac{500\ kgf}{1,60\ m \cdot 2,40\ m} = 130,21 \frac{kgf}{m^2}$$

- Laje de entrepiso → placa OSB de 15 mm de espessura, placa cimentícia de 12 mm de espessura, lâ de vidro com 50 mm de espessura:

$$\begin{aligned} Laje_{entrepiso} &= 0,015\ m \cdot 6,4 \frac{kN}{m^3} + 0,012\ m \cdot 17 \frac{kN}{m^3} + 0,05\ m \cdot 0,12 \frac{kN}{m^3} = 0,306 \frac{kN}{m^2} \\ &= 30,60 \frac{kgf}{m^2} \end{aligned}$$

- Piso → revestimento considerando pior caso entre porcelanato ($0,30\ kN/m^2$) e piso flutuante ($0,07\ kN/m^2$) mais $0,20\ kN/m^2$ para impermeabilização:

$$Piso_{entrepiso} = 0,30 \frac{kN}{m^2} + 0,20 \frac{kN}{m^2} = 0,50 \frac{kN}{m^2} = 50 \frac{kgf}{m^2}$$

Para a estrutura de cobertura, estimam-se valores para as telhas, isolamento termoacústico, forro de cobertura e utilidades conforme os cálculos abaixo:

- Telhas → telhas em fibrocimento com a espessura de 8mm totalizando uma ação permanente distribuída de $15\ kgf/m^2$ de acordo com fabricante;

- Isolamento → lã de vidro com espessura de 50 mm, manta asfáltica e vermiculita expandida com espessura de 50 mm, gerando:

$$Isolamento_{telhado} = 0,05 \text{ m} \cdot 0,12 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} + 0,04 + 0,05 \text{ m} \cdot 1,6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 0,126 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 12,6 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

- Forro da cobertura → placa de OSB com espessura de 15 mm e placa de gesso com espessura de 12 mm, totalizando:

$$Forro_{telhado} = 0,015 \text{ m} \cdot 6,4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} + 0,012 \text{ m} \cdot 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 0,216 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 21,6 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Após o cálculo manual das cargas de ações permanentes, feito a partir da composição definida pelo arquiteto, é possível agrupá-las para o lançamento dos dados no programa de dimensionamento. Assim, a Figura 33 apresenta um resumo das “Cargas Padrão” lançadas no mCalcLSF que serão acrescidas às ações permanentes de peso próprio da estrutura, bem como as cargas provenientes das ações variáveis detalhadas no item 4.6.2.

Figura 33 - Valores de "Cargas Padrão" atuantes na estrutura

PP Parede	
Placas internas	6 kgf/m²
Placa externa	10 kgf/m²
Revest. interno	24 kgf/m²
Extra	5 kgf/m²
Revest. externo	33 kgf/m²

Entrepiso		Telhado	
Laje	161 kgf/m²	Telhas	18 kgf/m²
Piso	50 kgf/m²	Isolamento	12.6 kgf/m²
Forro	21.6 kgf/m²	Forro	21.6 kgf/m²
Sobrecarga	50 kgf/m²	Utilidades	75 kgf/m²
Extra	5 kgf/m²	Sobrecarga	25 kgf/m²

☐ Salvar como Padrão

Fonte: mCalcLSF (2017)

4.6.2. Variáveis

As ações variáveis, segundo a NBR 14762:2010, apresentam variações significativas de valores durante a vida útil da construção e são frequentemente causadas por uso e ocupação, sobrecargas em pisos e coberturas, equipamentos, divisórias móveis, ação do vento e pela variação da temperatura da estrutura.

A modelagem e análise estrutural deste trabalho desconsidera, por simplificação, os efeitos de variação da temperatura, mas trata a edificação com as demais ações variáveis.

4.6.2.1. Sobrecarga

A edificação projetada leva em consideração as ações mínimas de sobrecarga em coberturas conforme a NBR 8800:2008 de sobrecarga, definidas em $0,25 \text{ kN/m}^2$ e para inserção no mCalcLSF com valor de $0,25 \text{ kN/m}^2$ e $0,75 \text{ kgf/m}^2$ representando acesso de pessoas para manutenção.

No caso deste projeto, foi adotado apenas o forro como sistema de vedação da cobertura, não havendo, portanto, laje de entrepiso além da empregada sobre o banheiro para suporte da caixa d'água. Assim, de acordo com a NBR 6120:1980, deve-se considerar uma sobrecarga de $0,50 \text{ kN/m}^2$, conforme mostra a Figura 33.

4.6.2.2. Vento

A ação devido às forças de vento, quando aplicadas em uma edificação concebida em LSF, contribui bastante para o comportamento estrutural, sendo assim de extrema importância a consideração dos esforços gerados por elas.

A norma brasileira NBR 6123:1988 determina o modo de análise em relação às ações do vento, apresentando sua forma de cálculo e carregamentos atuantes na edificação. Desta análise, é possível conhecer os esforços gerados nos elementos dos painéis, entrepiso e cobertura, além das deformações e deslocamentos da própria estrutura objetivando o dimensionamento de suas peças.

O cálculo é realizado em duas etapas, tendo a definição da pressão dinâmica (q_p) atuante como a primeira delas e, em seguida, os coeficientes de pressão interna e externa (C_{pi} e C_{pe} , respectivamente).

O mCalcLSF possui um módulo para cálculo automatizado para a ação do vento (ST_Vento), cuja interface é apresentada na Figura 34, sendo todo baseado na norma brasileira e, portanto, realizado conforme o processo manual e detalhado no manual do programa.

Figura 34 - Interface básica do módulo ST_Vento

Área das Aberturas	
	Áreas (m²)
A1	0
A2	0
A3	0
B1	0
B2	0
B3	0
C1	0
C2	0
D1	0
D2	0
E	0
F	0

a: 7.12 m a1: 2.17 m a2: 1.39 m
 b: 6.52 m b1: 3.26 m
 h: 2.50 m
 e: 15.92 m h1: 0.93 m p: 3.00 m

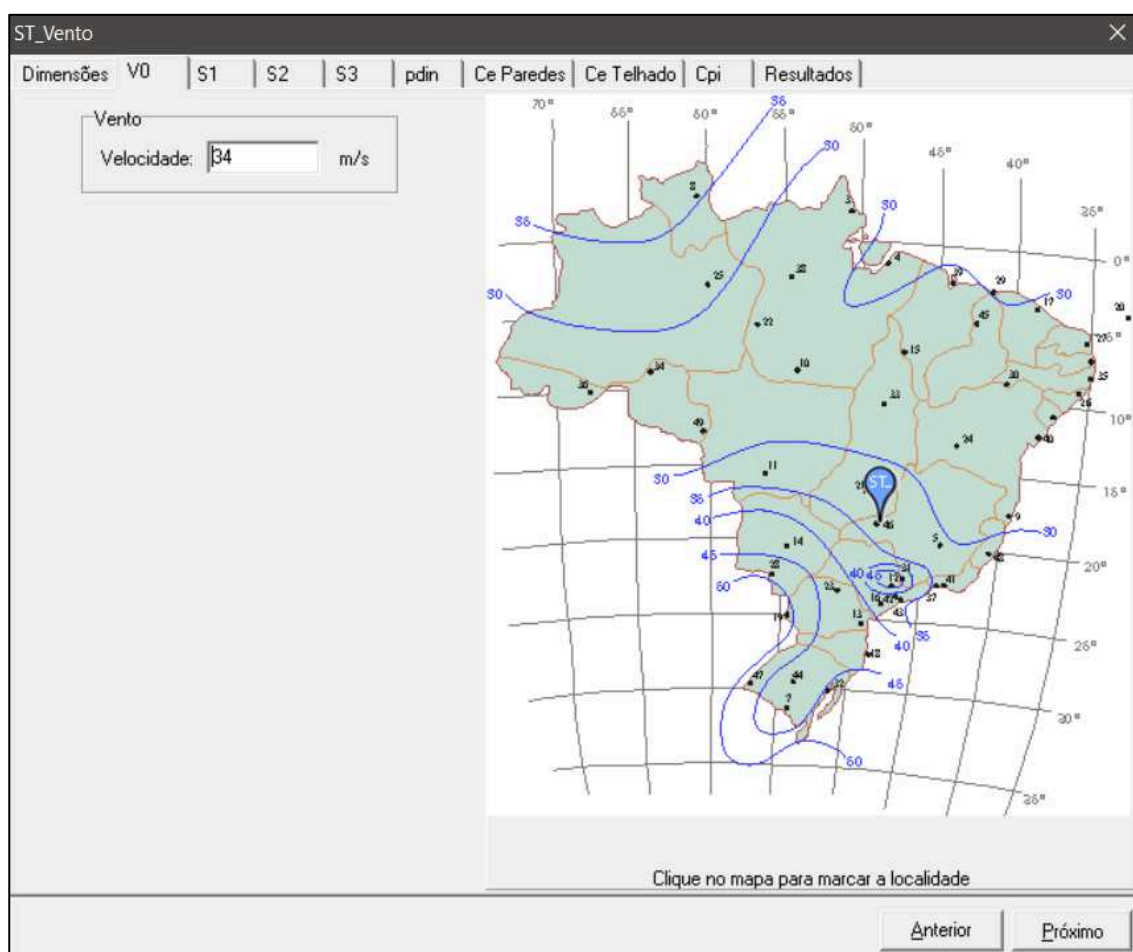
Anterior Próximo

Fonte: mCalcLSF (2017)

Para tanto, a edificação, localizada em Uberlândia, Minas Gerais, é identificada pelo mapa de isopletras do *software* (copiada da NBR 6123:1988) com a velocidade básica do vento de 34 m/s (Figura 35). Além disso, para os parâmetros S_1 , S_2 e S_3 , considera-se:

- Fator topográfico (S_1) → terreno plano ou fracamente acidentado;
- Rugosidade do terreno e dimensões da edificação (S_2) → terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco esparsos em zona urbanizada. Para este projeto a edificação é analisada como sendo construída em um subúrbio densamente construído de uma grande cidade;
- Fator Estatístico (S_3) → grupo 2 para edificações residenciais;

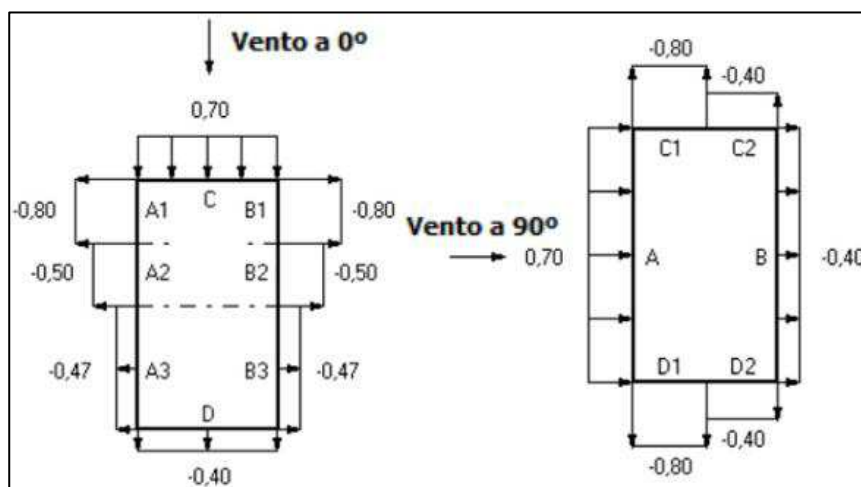
Figura 35 - Mapa de isopletas do Brasil e velocidade básica do vento para Uberlândia



Fonte: mCalcLSF (2017)

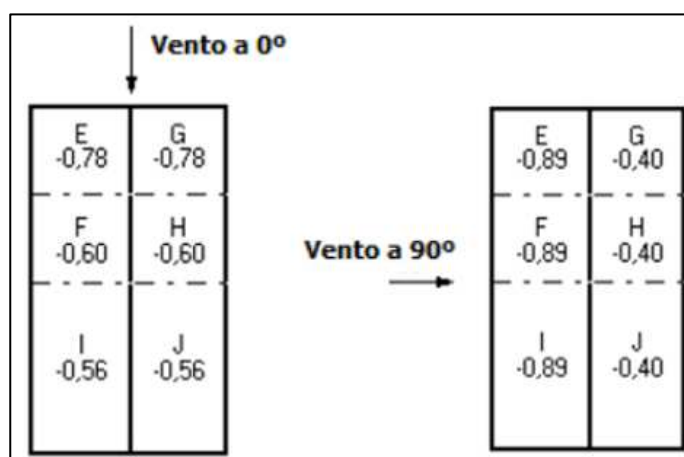
Com base nesses parâmetros, é possível obter o valor de $0,45 \text{ kN/m}^2$ equivalente à pressão dinâmica atuante na edificação e, a partir daí, a segunda etapa de determinação dos coeficientes de pressão externa das paredes (Figura 36) e do telhado (Figura 37).

Figura 36 - Coeficientes de pressão externa para as paredes (vento a 0° e 90°)



Fonte: mCalcLSF (2017)

Figura 37 - Coeficientes de pressão externa para o telhado (vento a 0° e 90°)



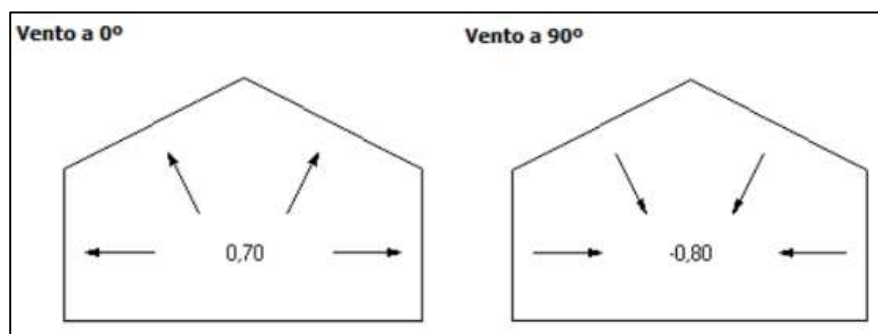
Fonte: mCalcLSF (2017)

Para o coeficiente de pressão interna (c_{pi}), admite-se para o projeto a situação descrita pelo item 6.2.7 da ABNT NBR 6123:1988:

6.2.7. Quando não for considerado necessário ou quando não for possível determinar com exatidão razoável a relação de permeabilidade de 6.2.5-c), deve ser adotado para valor do coeficiente de pressão interna o mesmo coeficiente de forma externo C_e (para incidência do vento de 0° e de 90°), indicado nesta Norma para a zona em que se situa a abertura dominante, tanto em paredes como em coberturas. (p.13)

Assim, conforme ilustrado nas Figuras 37 e 38, ao coeficiente de pressão interna (c_{pi}) são atribuídos os valores de +0,7 para vento a 0° e -0,8 para vento a 90°, atuantes como ilustrados na Figura 38 a seguir.

Figura 38 - Valores de coeficientes internos (c_{pi}) para paredes e cobertura



Fonte: mCalcLSF (2017)

O programa gera um relatório (Anexo B) de cálculo da ação do vento na edificação, sendo um resumo dos parâmetros adotados pelo usuário de acordo com as características específicas de cada construção.

4.6.3. Combinações de ações

As combinações de ações são feitas a fim de possibilitar a avaliação da estrutura sob a atuação dos carregamentos atuantes. Para tanto, devem ser estabelecidas separadamente as combinações referentes a cada um dos estados limites, tendo seus valores de majoração expressos na Tabela 9 e seus coeficientes de combinação e redução para ações variáveis conforme a Figura 39.

Figura 39 - Fatores de combinação Ψ_0 e de redução Ψ_1 e Ψ_2 para as ações variáveis

Ações		γ_{f2}^a		
		Ψ_0	Ψ_1^d	Ψ_2^e
Ações variáveis causadas pelo uso e ocupação	Locais em que não há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas ^{b)}	0,5	0,4	0,3
	Locais em que há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevadas concentrações de pessoas ^{c)}	0,7	0,6	0,4
	Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens e sobrecargas em coberturas (ver B.5.1)	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3
Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos	Passarelas de pedestres	0,6	0,4	0,3
	Vigas de rolamento de pontes rolantes	1,0	0,8	0,5
	Pilares e outros elementos ou subestruturas que suportam vigas de rolamento de pontes rolantes	0,7	0,6	0,4

^a Ver alínea c) de 4.7.5.3.
^b Edificações residenciais de acesso restrito.
^c Edificações comerciais, de escritórios e de acesso público.
^d Para estado-limite de fadiga (ver Anexo K), usar Ψ_1 igual a 1,0.
^e Para combinações excepcionais onde a ação principal for sismo, admite-se adotar para Ψ_2 o valor zero.

Fonte: ABNT NBR 8800:2008

A norma NBR 14762:2010 define que a estrutura, quando atinge os estados limites, não satisfazem mais a finalidade para o qual foi projetada e, para este trabalho as combinações foram feitas segundo os dois estados limites.

4.6.3.1. *Estados limites últimos (ELU)*

O estudo feito neste trabalho adota, por meio do programa mCalcLSF, 8 diferentes combinações para a avaliação do ELU, sendo elas:

- 4 combinações últimas normais tendo, em cada, a sobrecarga atuando como ação variável principal e o vento a 0° , 90° , 180° e 270° como secundária, sendo apenas uma direção de atuação para cada combinação;
- 4 combinações últimas normais tendo a variação do vento (0° , 90° , 180° e 270°) como ação variável principal e a sobrecarga, em cada uma delas, como ação secundária.

4.6.3.2. *Estados limites de serviço (ELS)*

O cálculo dos deslocamentos é feito no mCalcLSF usando as recomendações do item 6.7.3.4 da ABNT NBR 14762:2010, o qual estabelece o uso de combinações raras de serviço para o cálculo das deformações e deslocamentos. Esta análise conservadora deve-se ao fato de que essas combinações são adotadas quando prejuízos aos fechamentos e a formação de fissuras causam danos ao funcionamento adequado da estrutura, caracterizando os estados limites irreversíveis.

Assim, para a consideração de cálculo do carregamento atuante durante o estado limite de serviço, leva-se em conta todas as 8 combinações supracitadas em que a ação variável principal é tomada com seu valor característico e a secundária reduzida pelo seu fator de ponderação Ψ_1 (valor frequente).

5. ANÁLISE ESTRUTURAL

5.1. Verificações

As verificações de segurança são usualmente feitas pelo método dos estados limites. Para este trabalho, a análise será feita segundo o método dos estados limites conforme o próprio padrão de configuração do módulo (mCalc3D) do mCalcLSF.

5.1.1. Estados limites últimos (ELU)

A ABNT NBR 8800:2008 define que “os estados limites últimos estão relacionados com a segurança da estrutura sujeita às combinações mais desfavoráveis de ações previstas em toda vida útil, durante a construção ou quando atuar uma ação especial ou excepcional.” (ABNT NBR 8800:2008, p.14). Assim, para cada combinação última normal do ELU aplica-se a expressão da Equação 1:

$$F_d = \sum_{i=1}^m (\gamma_{gi} \cdot F_{Gi,k}) + \gamma_{q1} \cdot F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n (\gamma_{qj} \cdot \psi_{0j} \cdot F_{Qj,k}) \quad (1)$$

Em que:

F_d - valor de cálculo do efeito das ações;

γ_G e γ_Q – coeficientes de segurança relativos às ações permanentes e variáveis, respectivamente;

$F_{Gi,k}$ – valor característico da ação permanente;

$F_{Q1,k}$ – valor característico da ação variável principal;

Ψ_0 – fatores de redução para ação variável secundária.

5.1.1.1. *Esforços solicitantes*

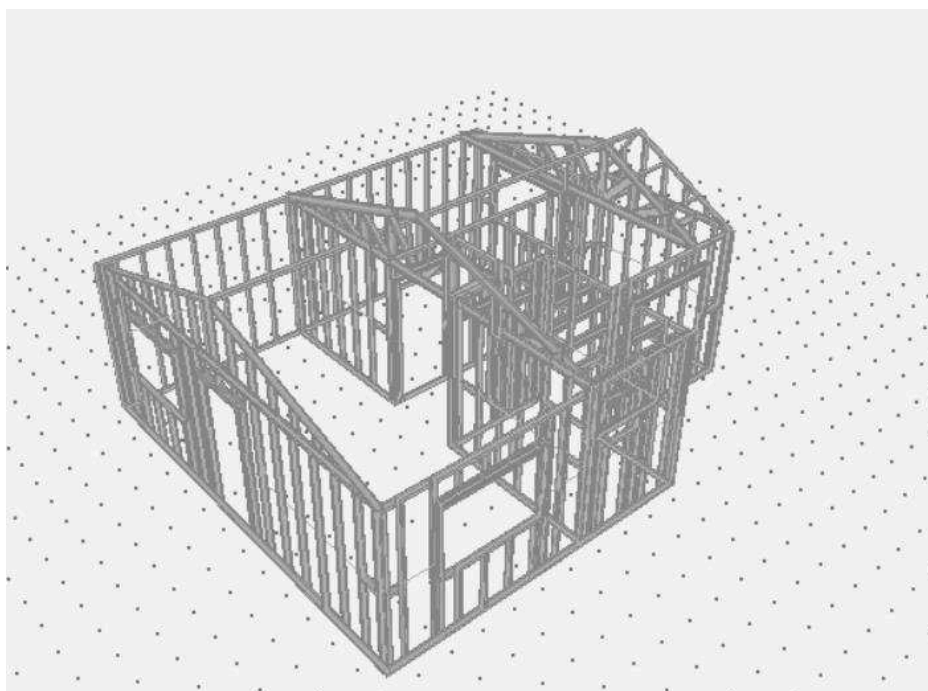
A partir do pré-dimensionamento estrutural e da definição das ações atuantes na edificação, o mCalcLSF divide os carregamentos segundo estados de ações conforme a definição do usuário. Em ambiente 3D, é possível observar os vetores dos esforços, de cada tipo de ação, que atuam sobre os componentes da estrutura, tais como:

- Peso Próprio → ação proveniente do peso próprio dos elementos;
- AP → ação permanente do entrepiso;
- AP Parede → ação permanente sobre as paredes;
- SC → ação de sobrecarga do entrepiso;
- AP Telhado → ação permanente do telhado;
- SC Telhado → ação de sobrecarga do telhado;
- V0 → ação do vento a 0°;
- V90 → ação do vento a 90°;
- V180 → ação do vento a 180°;
- V270 → ação do vento a 270°;

O Apêndice A traz a representação gráfica dos esforços descritos acima, mostrando a sua linha de atuação e valores totais pós definição das “Cargas Padrão” da edificação realizada nos subitens do tópico 4.6 deste trabalho.

A configuração de montagem, visualização gerada em imagem 3D pelo mCalcLSF (Figura 40), reúne as recomendações técnicas apresentadas ao longo dos capítulos anteriores e proporciona um modelo estrutural para análise segundo o método dos estados limites.

Figura 40 - Visualização 3D da estrutura no *software* mCalcLSF



Fonte: Autor

A estrutura é, portanto, definida para resistir ao conjunto de ações especificadas seguindo os critérios de combinações majoradas pelos coeficientes γ_G e γ_Q e reduzidas segundo os fatores $\Psi_{0,1,2}$, de acordo com as prescrições normativas da ABNT NBR 14762:2010.

As 8 combinações, definidas no item 4.6.3.1 e arranjadas pela Equação 1, são:

1. Sobrecarga como variável principal + Vento a 0° como secundária;
2. Sobrecarga como variável principal + Vento a 90° como secundária;
3. Sobrecarga como variável principal + Vento a 180° como secundária;
4. Sobrecarga como variável principal + Vento a 270° como secundária;
5. Vento à 0° como variável principal + Sobrecarga como secundária;
6. Vento à 90° como variável principal + Sobrecarga como secundária;
7. Vento à 180° como variável principal + Sobrecarga como secundária;
8. Vento à 270° como variável principal + Sobrecarga como secundária;

Figura 41 - Combinações de ações para dimensionamento

Combinações de Ações

- ☒ Sobrec. + Vento 0°
- ☐ Sobrec. + Vento 90°
- ☐ Sobrec. + Vento 180°
- ☐ Sobrec. + Vento 270°
- ☐ Vento 0° + Sobrec
- ☐ Vento 90° + Sobrec
- ☐ Vento 180° + Sobrec
- ☐ Vento 270° + Sobrec

Adicionar Excluir Atualizar Favoritos

Estados de Ações	E.L.U.	Fator de Combinação	E.L.S.
☐ Estado1	γ 0.0	ψ_0 0.0	$\psi_{1,2}$ 0.0
☒ AP	γ 1.4	ψ_0 0.5	$\psi_{1,2}$ 0.4
☒ AP Parede	γ 1.4	ψ_0 0.5	$\psi_{1,2}$ 0.4
☒ SC	γ 1.5	ψ_0 0.5	$\psi_{1,2}$ 0.4
☒ AP Telhado	γ 1.4	ψ_0 0.5	$\psi_{1,2}$ 0.4
☒ SC Telhado	γ 1.5	ψ_0 0.5	$\psi_{1,2}$ 0.4
☒ V0	γ 1.0	ψ_0 0.6	$\psi_{1,2}$ 0.3
☐ V90	γ 0.0	ψ_0 0.0	$\psi_{1,2}$ 0.0
☐ V180	γ 0.0	ψ_0 0.0	$\psi_{1,2}$ 0.0
☐ V270	γ 1.0	ψ_0 1.0	$\psi_{1,2}$ 1.0
☐ C. AP	γ 1.4	ψ_0 0.5	$\psi_{1,2}$ 0.4
☐ C. AP Parede	γ 0.0	ψ_0 0.0	$\psi_{1,2}$ 0.0
☐ C. SC	γ 0.0	ψ_0 0.0	$\psi_{1,2}$ 0.0

Opções para análise de 2º ordem

☒ Habilitar execução da análise de 2º ordem

Número máximo de ciclos para convergência: 2

Critério de convergência: 0.1

☒ Aplicar: E=0.8 *E

Efeito da temperatura

Vincular Efeito da Temperatura ao estado: [dropdown]

Outras opções

☒ Salvar Reordenamento

Envoltória Cancelar

Fonte: Autor

Esta definição é reproduzida no módulo de dimensionamento mCalc3D (Figura 41) possibilitando o dimensionamento quanto à resistência estrutural dos perfis adotados aos esforços e deformações, além da verificação da estabilidade global da edificação.

5.1.2. Estados limites de serviço (ELS)

Segundo a ABNT NBR 8800:2008, os estados limites de serviço têm relação com o desempenho da estrutura sob condições normais de utilização, podendo prejudicar “a aparência, a possibilidade de manutenção, a durabilidade, a funcionalidade e o conforto dos ocupantes de um edifício, bem como pode causar danos a equipamentos e materiais de acabamento vinculados ao edifício.” (ABNT NBR 8800:2008, p.99).

Embora usualmente sejam utilizadas combinações quase-frequentes e frequentes para os cálculos no ELS, a norma brasileira NBR 14762:2010 recomenda a análise por combinação

rara tendo a ação variável principal tomada com seu valor característico e as demais ações com seus valores frequentes, conforme a Equação 2:

$$F_{ser} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n (\psi_{1j} \cdot F_{Qj,k}) \quad (2)$$

Em que:

F_{ser} - valor de cálculo do efeito das ações no ELS;

$F_{Gi,k}$ - valor característico das ações permanentes;

$F_{Q1,k}$ - valor característico da ação variável principal;

$F_{Qj,k}$ - valor característico das demais ações;

Ψ_1 - fator de redução para ação variável secundária.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O cálculo estrutural para análise linear, realizado pelo método da Rigidez Direta, analisa a transferência de esforços entre os perfis e comparação pelo critério de segurança presente nas normas de dimensionamento ($S_d \leq R_d$). Assim, para cada elemento estrutural, calculam-se suas resistências físicas comparando-as com as solicitações para cada combinação.

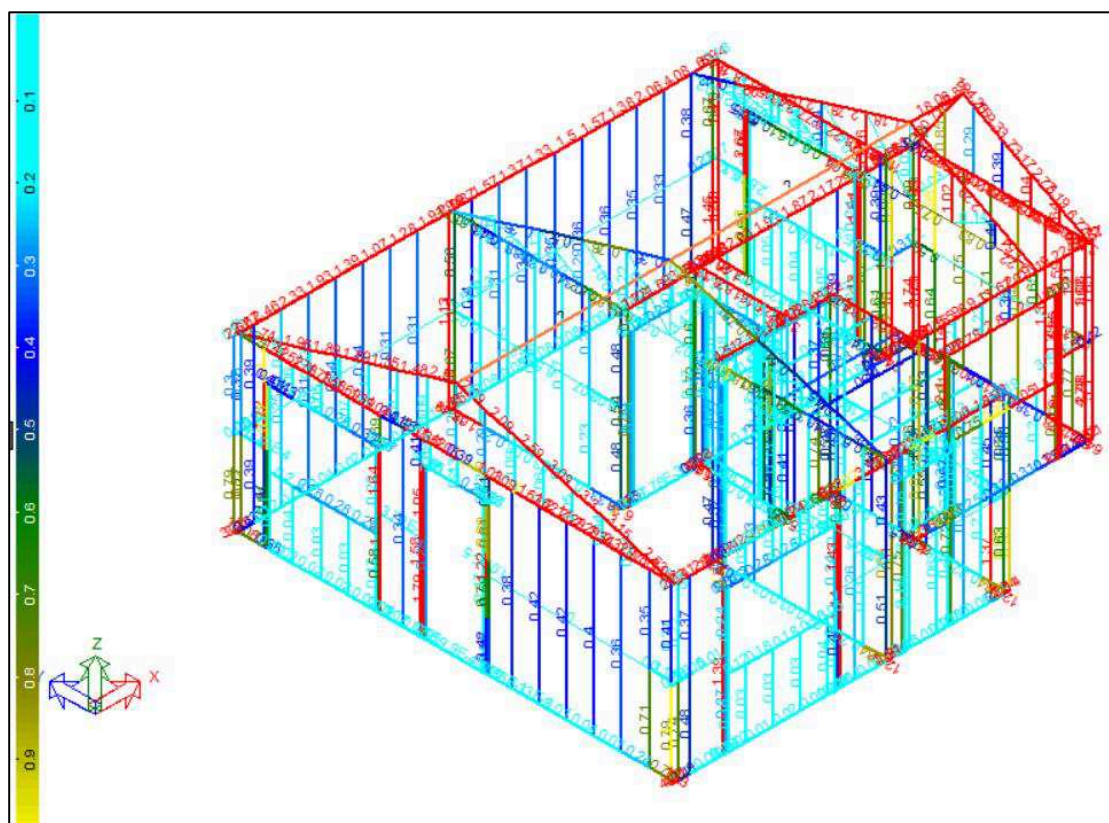
A partir da maior solicitação, ou seja, o pior caso, investiga-se a capacidade resistente dos perfis e a eventual adequação estrutural quando o nível de segurança não for atingido.

6.1. Análise do dimensionamento

O dimensionamento é feito de maneira individual para cada perfil da estrutura, isto é, segundo a distribuição de esforços e parcelas de absorção de cada elemento, utilizando o programa para identificação e comparação automatizada dos resultados com as propriedades físicas e geométricas resistentes.

A estrutura foi lançada conforme o pré-dimensionamento exposto na Figura 30 e a primeira análise de dimensionamento trouxe o “subdimensionamento” de alguns elementos, com destaque para as guias de topo dos painéis e banzos inferiores das tesouras. A Figura 42 mostra uma escala de cor representativa para o aproveitamento dos perfis, realçando em vermelho os perfis que não resistem aos esforços solicitantes segundo a configuração inicial adotada.

Figura 42 - Primeira análise do dimensionamento da estrutura



Fonte: Autor

Para exemplificação, a Figura 43 demonstra a análise de um perfil da guia superior do painel externo PE-6. As solicitações e resistências de cálculo são consideradas conforme os critérios estabelecidos nas normas ABNT NBR 8800:2008 e NBR 14762:2010, gerando um relatório do procedimento de cálculo usado reproduzido no Anexo C.

Figura 43 - Verificação do dimensionamento de um perfil U 92x40x0,95

ST_Stabile :: mCalc_Perfis

Arquivo Editar Ajuda

Perfil: U (Formado a frio)

Dimensões:

b_w : 92 mm
 b_f : 40 mm
 t : 0,95 mm

Solicitações de Cálculo (kN e m)

$N_{o,sd}$: 0,26 $V_{y,sd}$: -0,15 $M_{y,sd}$: 0,26 C_b : 1,07
 $N_{t,sd}$: 0 $V_{z,sd}$: 0,83 $M_{z,sd}$: -0,37 C_{my} : 0,62
 C_{mz} : 0,49

Comprimentos da Barra (m)

K_{tL} : 0,4 K_{zL} : 0,4 λ_y : 10,99 λ_z : 31,77
 K_{yL} : 0,4 L_b : 0,4

Resistências de Cálculo

$N_{o,Rd}$: 14,88 Sd/Rd : 0,017 $V_{y,Rd}$: 9,87 Sd/Rd : 0,016
 $N_{t,Rd}$: 36,32 Sd/Rd : 0 $V_{z,Rd}$: 8 Sd/Rd : 0,103
 $M_{y,Rd}$: 0,68 Sd/Rd : 0,381 $M_{z,Rd}$: 0,18 Sd/Rd : 2,06

Interação:

$$\frac{N_{o,sd}}{N_{o,Rd}} + \frac{M_{y,sd}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,sd}}{M_{z,Rd}} = 2,46$$

$$\frac{M_{y,sd}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,sd}}{M_{z,Rd}} + \frac{N_{t,sd}}{N_{t,Rd}} = 2,442$$

Perfis Favoritos:

b_w	b_f	t
50	25	1.2
50	25	1.5
50	25	2
50	25	2.25
50	25	2.65

Adiciona Remove Selecciona

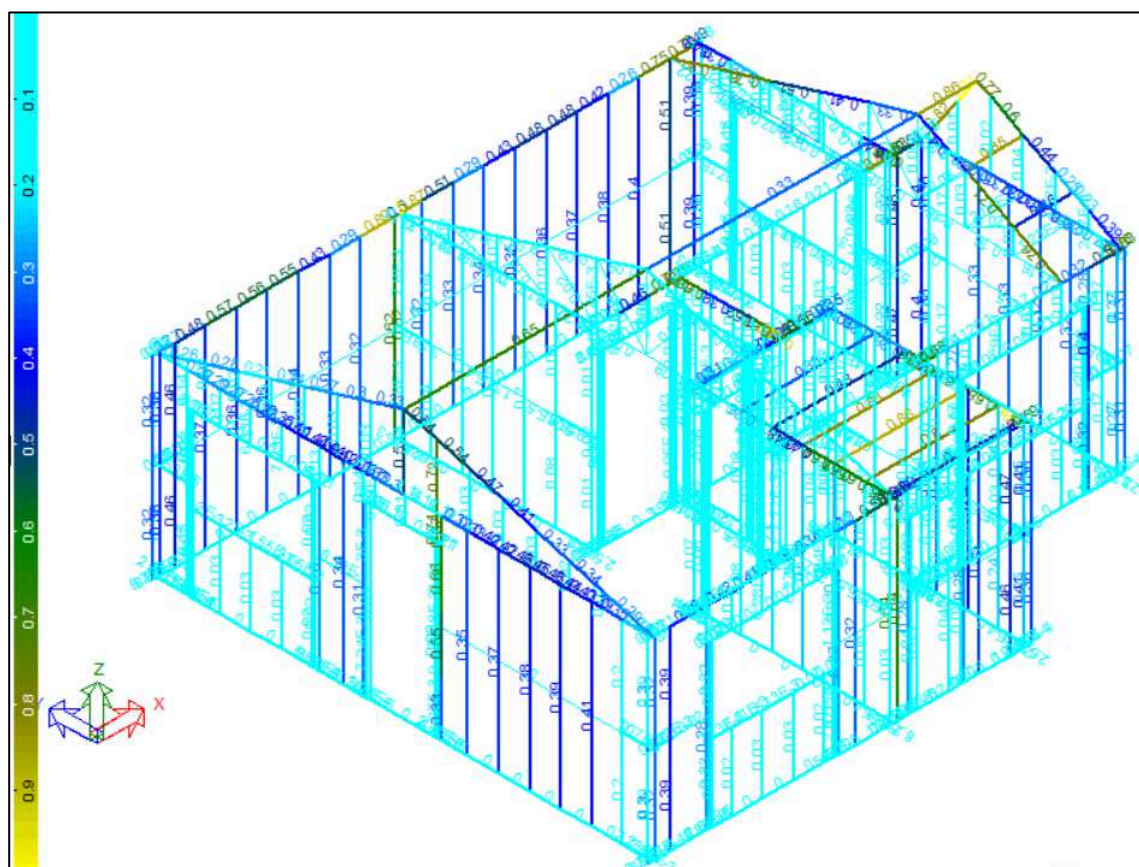
Calcular Relatório Configuração Aplicar Sair

Fonte: Autor

A verificação do dimensionamento é feita para cada um dos perfis e, para os esforços máximos entre as combinações, estabelece-se uma padronização de perfis que atendam aos requisitos exigidos. Essa uniformização visa facilitar o processo construtivo, haja vista a grande quantidade de perfis de uma construção em sistema LSF e a necessidade de simplificação para os instaladores quanto à disposição de perfis iguais para um tipo semelhante de estrutura.

Assim, após a tentativa de redimensionamento dos perfis, as soluções adotadas foram o aumento da espessura nominal das guias de topo de todos os painéis e dos oitões para $t_n = 1,25$ mm, além da alteração do perfil da cumeeira para perfil do tipo Caixa 90x40x12x0,95 (união de dois perfis Ue soldados de frente). O programa, agora com essa modificação, redimensiona a estrutura validando a solução estrutural da edificação e o aproveitamento de cada um dos perfis segundo o ELU (Figura 44).

Figura 44 - Dimensionamento efetivo da edificação

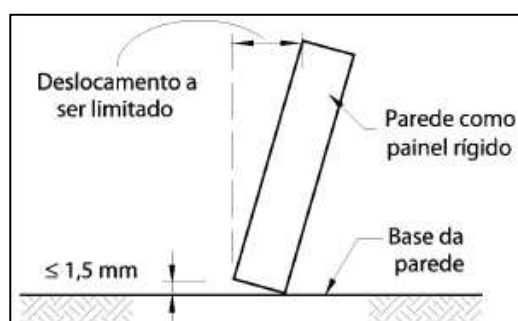


Fonte: Autor

6.2. Deslocamentos máximos

O Anexo A da NBR 14762:2010 aborda os deslocamentos máximos permitidos por disposições normativas para verificação do estado limite de serviço, considerando a estrutura dos painéis rígidos esquematizada pela Figura 45.

Figura 45 - Limitação do deslocamento para parede como painel rígido



Fonte: ABNT NBR 14762:2010

Em consonância ao estabelecido pela NBR 14762:2010, a Parte 2, da norma de desempenho ABNT NBR 15575:2013, também define os mesmos deslocamentos limites para cargas permanentes e acidentais em geral, que devem ser limitados em função do destacamento e das fissuras em vedações, tendo como valor máximo o equivalente a $L/400$ ou $H/400$, em que L é o vão teórico do elemento estrutural e H é a altura do elemento estrutural, conforme a Tabela 10 abaixo.

Tabela 10 - Deslocamentos limites para cargas permanentes e acidentais em geral

Razão da limitação	Elemento	Deslocamento-limite	Tipo de deslocamento
Visual/insegurança psicológica	Pilares, paredes, vigas, lajes (componentes visíveis)	$L/250$ ou $H/300^{(1)}$	Deslocamento final incluindo fluência (carga total)
Destacamentos, fissuras em vedações ou acabamentos, falhas na operação de caixilhos e instalações	Caixilhos, instalações, vedações e acabamentos rígidos (pisos, forros etc.)	$L/800$	Parcela da flecha ocorrida após a instalação da carga correspondente ao elemento em análise (parede, piso etc.)
	Divisórias leves, acabamentos flexíveis (pisos, forros etc.)	$L/600$	
Destacamentos e fissuras em vedações	Paredes e/ou acabamentos rígidos	$L/500$ ou $H/500^{(1)}$	Distorção horizontal ou vertical provocada por variações de temperatura ou ação do vento, distorção angular devida ao recalque de fundações (deslocamentos totais)
	Paredes e acabamentos flexíveis	$L/400$ ou $H/400^{(1)}$	

H é a altura do elemento estrutural

L é o vão teórico do elemento estrutural

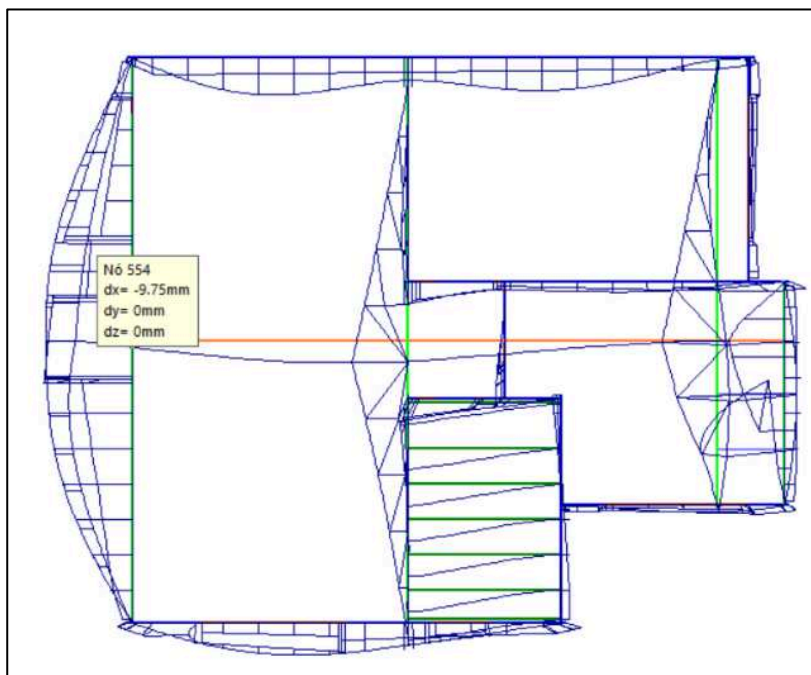
⁽¹⁾ Para qualquer tipo de solicitação, o deslocamento horizontal máximo no topo do edifício deve ser limitado a $H_{total} / 500$ ou 3 cm, respeitando-se o menor dos dois limites.

NOTA Não podem ser aceitas falhas, a menos daquelas que estejam dentro dos limites previstos nas normas prescritivas específicas.

Fonte: ABNT NBR 15575-2:2013

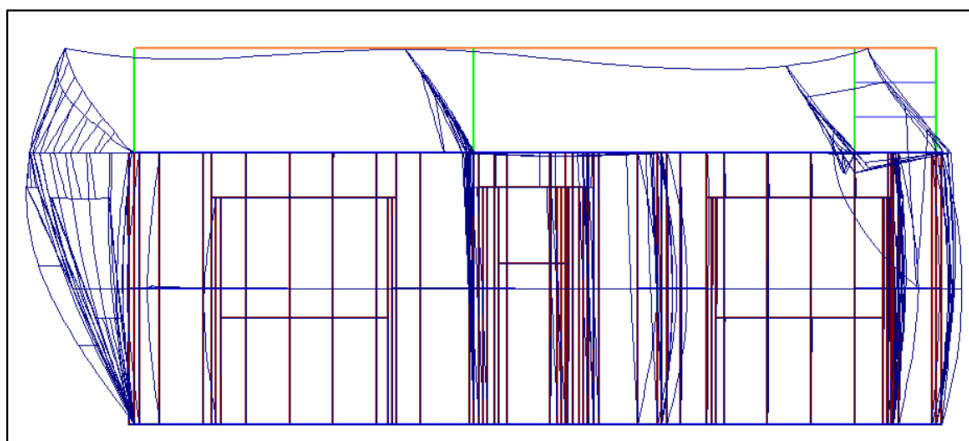
Desta forma, tendo em vista que a altura das paredes do projeto é de 2500 mm, admite-se um deslocamento horizontal máximo de 5 mm para o pior dos casos, e a análise primária, segundo as combinações de ações pré-estabelecidas anteriormente, permite quantificar os deslocamentos máximos de cada elemento da estrutura, possibilitando ao engenheiro uma visão geral da estrutura deformada antes da implementação dos contraventamentos (Figura 46 e 48).

Figura 46 - Deslocamentos horizontais máximos (Plano XY - visualização aumentada em 100 vezes)



Fonte: Autor

Figura 47 – Deslocamentos horizontais máximos (Plano XZ – visualização aumentada em 100 vezes)



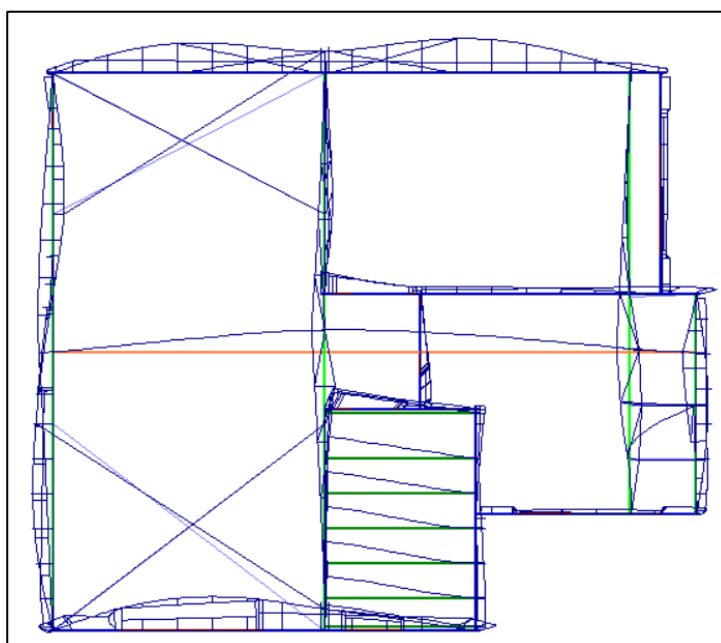
Fonte: Autor

O maior deslocamento horizontal encontrado foi de 9,75 mm para a combinação de “Vento a 0° + Sobrecarga”, ultrapassando o máximo permitido e obrigando a inserção de estruturas de contraventamento para a diminuição desse efeito.

Nesta perspectiva, a consideração do Efeito Diafragma da estrutura de entrepiso é uma das alternativas para solução desse problema. Entretanto, em virtude da ausência da laje de

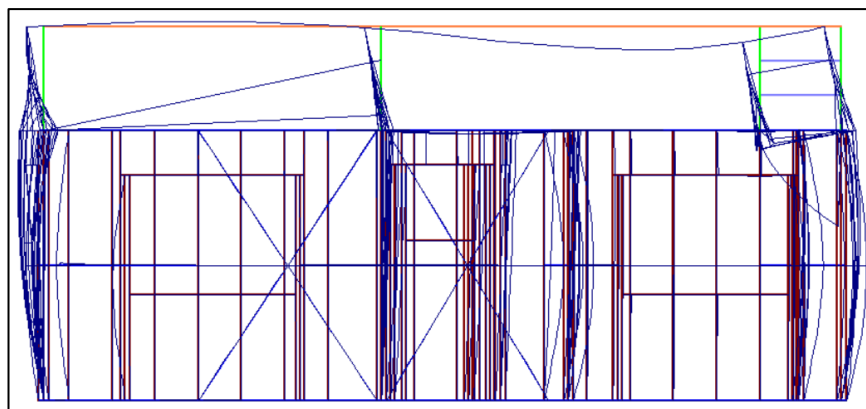
cobertura, é possível simular, segundo o fabricante do programa, o mesmo efeito visualizado na prática por meio da consideração da ligação entre painéis pela fundação, obrigando a estrutura a se deslocar como um corpo rígido. Além disso, são inseridas estruturas de contraventamento para o telhado e painéis, suavizando ainda mais o efeito de deslocamento excessivo, estabilizando a estrutura.

Figura 48 - Deslocamentos horizontais máximos da estrutura contraventada (Plano XY, visualização aumentada em 100 vezes)



Fonte: Autor

Figura 49 – Deslocamentos horizontais máximos da estrutura contraventada (Plano XZ – visualização aumentada em 100 vezes)

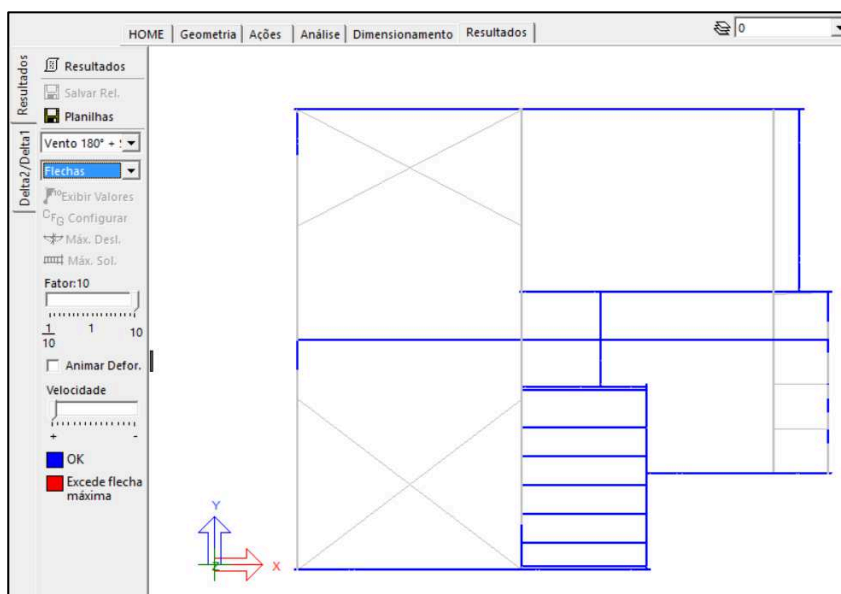


Fonte: Autor

O deslocamento máximo da estrutura contraventada e sob Efeito Diafragma dos painéis equivale a 4 mm para a combinação “Vento a 180° + Sobrecarga” (Figura 48 e 50), novo caso de combinação crítica, estando assim dentro do limite estabelecido pela norma.

A análise de flechas é feita para vigas e lajes, conforme a Tabela 2 da ABNT NBR 15575:2013 – Parte 2, tendo sido verificada pelo mCalc3D com valores máximos de $L/280$ (flecha final) para vigas de piso, em que L é o vão teórico. O resultado da avaliação do programa computacional aponta situações de conformidade ou de flecha excessiva (Figura 50).

Figura 50 - Verificação de flechas (critério: menores do que $L/280$)



Fonte: Autor

A adição de novos elementos pode, quando em grande quantidade, influenciar o dimensionamento da estrutura de modo que os esforços adicionais superem a resistência dos perfis. Entretanto, após a inserção dos contraventamentos e de novos cálculos não houve, para o projeto, mudanças nos perfis da estrutura.

A planta de lançamento da estrutura dimensionada é apresentada no Apêndice B.

6.3. Quadros de quantitativos

O dimensionamento estrutural feito em programas computacionais consegue agrupar as informações dos perfis utilizados e resumi-las para que se possa facilitar as atividades de orçamento de obras. Assim, por meio de quadros de quantitativos (Tabela 11 e Tabela 12), seria possível estimar, com bastante precisão, o valor final da obra, tendo em vista que, para esse tipo de sistema construtivo, há pouco desperdício e gastos com adequações de projetos.

Tabela 11 - Quadro de quantitativos de perfis

Grupo	Perfil	Aço	L total (m)	Peso (kgf)
1	U 92 × 40 × 0.95	ASTM A36	47.95	60.15
2	U 92 × 40 × 1.25	ASTM A36	36.29	59.47
3	UENR 90 × 40 × 12 × 0.95	ASTM A36	404.14	561.79
4	U 90 × 40 × 0.95	ASTM A36	7.71	9.56
5	UUE 120 × 26 × 12 × 0.95 × 40	ASTM A36	11.22	31.53
6	RET 38 × 0.95	ASTM A36	49,45	14,01
7	Ue Alma Oposta 92 × 40 × 1.25 × 0	ASTM A36	8.92	29.23
8	CA 120 × 40 × 12 × 0.95	ASTM A36	12.11	39.09
9	CA 90 × 40 × 12 × 1,55	ASTM A36	7.39	32,66
10	CART 30 × 40 × 12 × 0.8	ASTM A36	1.52	1.12
11	UENR 140 × 40 × 12 × 0.95	ASTM A36	39.9	70.34
12	UENR 200 × 45 × 30 × 3.75	ASTM A36	6.71	63.19
13	IENR 90 × 40 × 12 × 0.95 × 0	ASTM A36	0.36	1
Peso Total: 972,14 kgf				

Fonte: Autor

Tabela 12 - Quadro de quantitativos de parafusos

Parafusos		
Tipo	QTD	Dimensões
Cabeça Flangeada	274	4.2(nº8) × 13(1/2")
Sextavado	1096	4.2(nº8) × 13(1/2")

Fonte: Autor

Destaca-se, do dimensionamento, a leveza da estrutura (0,25 kN/m²), sendo essa uma das principais características deste tipo de sistema construtivo e relevante para o estudo como método de inovação tecnológica a ser aplicado no Brasil.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de sistemas construtivos industrializados se apresenta como possível solução para redução do déficit habitacional do país, por ser um método completo com alto desempenho estrutural, elevada eficiência energética e conforto ambiental, além de uma construção rápida e racionalizada.

O dimensionamento, etapa primordial para a construção em qualquer sistema, foi objetivo principal deste trabalho, tendo sido executado por meio da abordagem de programas computacionais em plataforma 3D. A visualização tridimensional possibilita ao projetista a oportunidade de melhor compreender o funcionamento do conjunto estrutural, refinando o modelo e sofisticando o projeto.

No dimensionamento obtido, nota-se o baixo aproveitamento de alguns elementos da estrutura, fazendo com que um estudo de otimização de perfis seja apropriado para a melhor exploração do LSF como solução estrutural em uma edificação. O projeto poderia, por exemplo, sofrer alteração entre o espaçamento dos montantes, passando então para 600 mm, a fim de potencializar o sistema e, eventualmente, diminuir custos com a sua construção.

A estrutura é concebida de forma a proporcionar conforto e segurança ao usuário, mas também economia para o investidor que, ao contar com a tecnologia agregada ao produto industrial, consegue ter capacidade de gestão financeira do projeto durante a sua execução, assegurando maior fidelização ao que fora previamente planejado. Assim, a racionalização da construção permite o avanço tecnológico para obras cada vez mais rápidas, enxutas, sustentáveis e modernas de forma controlada e bem pensada.

Embora ainda faltem especialistas técnicos, normas mais específicas e programas de cálculo na área de LSF, atualmente já é possível, no Brasil, estudar o comportamento estrutural de uma edificação conforme os materiais de perfis formados a frio (PFF) e a viabilidade de implementação em comparação aos sistemas convencionais amplamente empregados. Portanto, a missão desse estudo é, essencialmente, contribuir para a formação de engenheiros capacitados para atender às necessidades de desenvolvimento do país.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120:1980** – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123: 1988** – Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6355:2012** – Perfis estruturais de aço formados a frio – Padronização. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7008:2012** – Chapas revestidas com zinco ou com liga zinco-ferro pelo processo contínuo de imersão a quente. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800:2008** – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14762:2010** – Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15253:2014** – Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis estruturais reticulados em edificações – Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575:2013** – Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais. Rio de Janeiro, 2013.

BARING, J. G. D. A. A qualidade dos edifícios e a contribuição das paredes de gesso acartonado. **Revista Técnica**, São Paulo, n. 47, p. 69-73, Julho/agosto 2000.

BEVILAQUA, R. **Estudo comparativo do desempenho estrutural de prédios estruturados em perfis formados a frio segundo os sistemas aporticado e "Light Steel Framing"**. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p. 246. 2005.

BRASILIT. **Construção Industrializada**. Saint-Gobain. Rio de Janeiro, p. 88. 2014.

CALDAS, R. B.; RODRIGUES, F. C. **Steel Framing: Engenharia**. Centro Brasileiro da Construção em Aço. Rio de Janeiro, p. 224. 2016. (ISBN 978-85-89819-39-8).

CONSUL STEEL. **Construcción con acero liviano - Manual de Procedimiento**. Consul Steel. Buenos Aires, p. 258. 2002.

CRASTO, R. C. M. **Arquitetura e tecnologia em sistemas construtivos industrializados: Light Steel Framing**. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, p. 226. 2005.

ELHAJJ, N. **Residential steel framing: fire and acoustic details**. Upper Marlboro: National Association of Home Builders (NAHB), 2002. 130 p.

ELHAJJ, N. **Fastening of light frame steel housing: and international perspective**. Upper Marlboro: National Association of Home Builders (NAHB), 2004. 54 p.

ELHAJJ, N.; BIELAT, K. **Prescriptive method for residential cold-formed steel framing**. USA: North American Steel Framing Alliance (NASFA), 2000. 199 p.

FRANCO, L. S. **Aplicação de Diretrizes de racionalização construtiva para a evolução tecnológica dos processos construtivos em alvenaria estrutural não armada**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 319. 1992.

FREITAS, A. M. S.; CRASTO, R. C. M.; SANTIAGO, A. K. **Steel Framing: Arquitetura**. Instituto Aço Brasil. Rio de Janeiro, p. 151. 2012. (ISBN 978-85-89819-32-9).

GARNER, C. J. **Guia do construtor em steel framing**. Tradução de Sidnei Palatnik. Nova Iorque: AISI - American Iron and Steel Institute, 1996.

GYPSUM ASSOCIATION. **Fire Resistance Design Manual**. Michigan: Gypsum Association, 2009.

HOUSE, S. **Steel House**, 2017. Disponível em: <<http://www.steelhouse.info/index.php/en/9-info-en/217-introduction>>. Acesso em: 14 Março 2017.

KINSLER, L. E. et al. **Fundamentals of Acoustics**. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 1982. 480 p.

LANDOLFO, R.; DI LORENZO, G.; FIORINO, L. Attualità e prospettive dei sistemi costruttivi cold-formed. **Costruzioni metalliche**, n. 1, 2002.

LOTURCO, B. Chapas cimentícias são alternativa rápida para uso interno ou externo. **Revista Técnica**, São Paulo, n. 79, Outubro 2003.

MARTHA, L. F. **Análise de Estruturas: Conceitos e Métodos Básicos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

MATEUS, R. **Novas tecnologias construtivas com vista à sustentabilidade da construção**. Universidade do Minho. Braga. 2004.

MDESIGNS. **MDesigns**, 2017. Disponível em: <<http://www.mdesigns.net/>>. Acesso em: 2 Abril 2017.

MEYERS, M. N.; SOUZA, K. M. **Residential Steel Framing: building a better north american home**. Galvatech. Tokyo, Japan: [s.n.]. 1998. p. 8.

NATIONAL ASSOCIATION OF HOME BUILDERS (NAHB) RESEARCH CENTER. **Alternative framing materials in residential construction: three case studies**. U.S Department of Housing and Urban Development. Estados Unidos. 1994.

NORTH AMERICAN STEEL FRAMING ALLIANCE (NASFA). **Prescriptive Method For Residential Cold-Formed Steel Framing**. NASFA. Estados Unidos. 2000.

PEREIRA JÚNIOR, C. J. **Edifícios de Pequeno Porte Contraventados com Perfis de Chapa Fina de Aço**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 148. 2004.

PRUDENTE, M. **Notas de Aula de Estruturas de Aço**. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, p. 142. 2015.

REGO, D. J. M. **Estruturas de Edifícios em Light Steel Framing**. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa, p. 154. 2012.

RODRIGUES, F. C. **Steel Framing: Engenharia**. Centro Brasileiro de Construção em Aço (CBCA). Rio de Janeiro. 2006.

SCHARFF, R. **Residential steel framing handbook**. New York: McGraw Hill, 1996. 429 p.

SHULL, M.; ZAGER, L. Monthly Labor Review. **Factors affecting the international softwood lumber market, 1987-93**, February 1994. 21-29.

SILVA, M. M. A. **Diretrizes para o projeto de alvenarias de vedação**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 167. 2003.

STABILE. **Manual do software mCalc3D**. Stabile Engenharia LTDA. Porto Alegre. 2006.

STABILE ENGENHARIA. **Manual o software mCalcPerfis**. Stabile Engenharia LTDA. Porto Alegre. 2015.

YU, W. W. **Cold Formed Design**. 3rd. ed. New York: John Wiley & Sons, 2000.

ANEXO A – Tabelas de dimensionamento

Observação: Para a largura da mesa igual a 40 mm deve-se adotar um comprimento mínimo do enrijecedor, $D_{\min}$, igual a 12 mm.

TABELAS DE DIMENSIONAMENTO

Tabela 1 – Vãos máximos para vigas de piso.

Vãos simples com enrijecedores de alma

(Peso próprio do piso = 0,479 kN/m²)

Designação	SOBRECARGA DE 1,437 kN/m ²				SOBRECARGA DE 1,916 kN/m ²			
	Espaçamento entre vigas (mm)				Espaçamento entre vigas (mm)			
	304	406	487	609	304	406	487	609
M140x40-0,95	3530	3225	3022	2768	3225	2921	2743	2463
M140x40-1,25	3860	3505	3302	3048	3505	3175	2997	2768
M140x40-1,55	4140	3759	3530	3276	3759	3403	3200	2971
M140x40-2,25	4445	4038	3784	3505	4038	3657	3454	3200
M140x40-2,46	4927	4495	4216	3911	4495	4064	3835	3556
M200x40-0,95	4775	4089	3733	3352	4267	3657	3352	2794
M200x40-1,25	5207	4724	4445	4140	4724	4292	4038	3733
M200x40-1,55	5588	5080	4800	4445	5080	4622	4343	4038
M200x40-2,25	5994	5461	5130	4749	5461	4953	4673	4318
M200x40-2,46	6705	6096	5740	5308	6096	5537	5207	4826
M250x40-1,25	6248	5689	5181	4648	5689	5080	4648	4140
M250x40-1,55	6731	6121	5740	5334	6121	5562	5232	4851
M250x40-2,25	7213	6553	6172	5740	6553	5969	5613	5207
M250x40-2,46	8077	7340	6908	6400	7340	6654	6273	5816
M300x40-1,25	7137	6172	5638	5054	6375	5537	5054	4064
M300x40-1,55	7848	7112	7213	5969	7112	6477	6553	5334
M300x40-2,25	8432	7645	7213	6680	7645	6959	6553	6070
M300x40-2,46	9423	8559	8051	7467	8559	7772	7315	6781

Tabela 2 - Vãos máximos para vigas de piso.**Vãos múltiplos com enrijecedores de alma**(Peso próprio do piso = 0,479 kN/m²)

Designação	SOBRECARGA DE 1,437 kN/m ²				SOBRECARGA DE 1,916 kN/m ²			
	Espaçamento entre vigas (mm)				Espaçamento entre vigas (mm)			
	304	406	487	609	304	406	487	609
M140x40-0,95	3911	3403	3098	2768	3505	3022	2768	2413
M140x40-1,25	4775	4114	3759	3352	4267	3683	3352	2997
M140x40-1,55	5359	4648	4241	3784	4800	4165	3784	3403
M140x40-2,25	5943	5232	4775	4267	5384	4673	4267	3810
M140x40-2,46	6629	6019	5664	5080	6019	5461	5130	4572
M200x40-0,95	4394	3556	3098	2616	3733	2997	2616	2184
M200x40-1,25	5918	5080	4673	3810	5308	4343	4191	3251
M200x40-1,55	7010	6070	5537	4953	6248	5410	4953	4419
M200x40-2,25	7874	6832	6223	5562	7061	6096	5562	4978
M200x40-2,46	8991	8178	7518	6705	8178	7366	6705	5994
M250x40-1,25	6553	5461	4800	4089	5715	4673	4089	3454
M250x40-1,55	7772	6731	6146	5486	6959	6019	5486	4724
M250x40-2,25	9296	8051	7975	6578	8331	7213	5613	5867
M250x40-2,46	10820	9728	8864	7924	9829	8686	7924	7086
M300x40-1,25	6502	5257	4597	3860	5537	4445	3860	3225
M300x40-1,55	8432	7239	6654	5435	7543	6197	5842	4622
M300x40-2,25	9931	8610	7848	7010	8890	7696	7035	6273
M300x40-2,46	12573	11176	10210	9144	11480	10007	9144	8178

Tabela 3 - Vãos máximos para vigas de piso.**Vãos simples sem enrijecedores de alma**(Peso próprio do piso = 0,479 kN/m²)

Designação	SOBRECARGA DE 1,437 kN/m ²				SOBRECARGA DE 1,916 kN/m ²			
	Espaçamento entre vigas (mm)				Espaçamento entre vigas (mm)			
	304	406	487	609	304	406	487	609
M140x40-0,95	2489	1879	1549	1244	1981	1498	1244	990
M140x40-1,25	3860	3505	3302	2413	3505	2921	2413	1930
M140x40-1,55	4140	3759	3276	3530	3759	3403	3200	2971
M140x40-2,25	4445	4038	3784	3505	4038	3657	3454	3200
M140x40-2,46	4927	4495	4216	3911	4495	4368	3835	3556
M200x40-0,95	-	-	-	-	-	-	-	-
M200x40-1,25	4216	3175	2641	2108	3378	2540	2108	1676
M200x40-1,55	5588	5080	4470	3556	5080	4470	3708	2971
M200x40-2,25	5994	5461	5130	4749	5461	4953	4673	4318
M200x40-2,46	6705	6096	5740	5308	6096	5537	5207	4826
M250x40-1,25	-	-	-	-	-	-	-	-
M250x40-1,55	6527	4902	4064	3251	5207	3911	3251	2590
M250x40-2,25	7239	6553	6172	5588	6553	5969	5613	4470
M250x40-2,46	8077	7340	6908	6400	7340	6654	6273	5816
M300x40-1,25	-	-	-	-	-	-	-	-
M300x40-1,55	-	-	-	-	-	-	-	-
M300x40-2,25	8432	7645	6502	5207	7645	6248	5207	4165
M300x40-2,46	9423	8559	8051	7467	8559	7772	7315	6781

Tabela 3 - Vãos máximos para vigas de piso.**Vãos múltiplos sem enrijecedores de alma**(Peso próprio do piso = 0,479 kN/m²)

Designação	SOBRECARGA DE 1,437 kN/m ²				SOBRECARGA DE 1,916 kN/m ²			
	Espaçamento entre vigas (mm)				Espaçamento entre vigas (mm)			
	304	406	487	609	304	406	487	609
M140x40-0,95	2514	2006	1727	1422	2108	1676	1422	1168
M140x40-1,25	3556	2870	2489	2082	3022	2413	2082	1752
M140x40-1,55	4470	3657	3225	2743	3835	3124	2743	2311
M140x40-2,25	5588	48234	4114	3530	4826	3987	3530	3022
M140x40-2,46	6629	6019	5664	4953	6019	5461	4953	4292
M200x40-0,95	-	-	-	-	-	-	-	-
M200x40-1,25	3759	2997	2565	2133	3149	2489	2133	1752
M200x40-1,55	5105	4114	3556	2997	4318	3454	2997	2489
M200x40-2,25	6578	5384	4724	4013	5638	4597	4013	3403
M200x40-2,46	8991	7747	6883	6578	8051	6705	5969	5130
M250x40-1,25	-	-	-	-	-	-	-	-
M250x40-1,55	5156	4114	3556	2946	4343	3429	2946	2438
M250x40-2,25	7137	5791	5029	4241	6070	4876	4241	3556
M250x40-2,46	10414	8636	7670	6578	9017	7467	6578	5638
M300x40-1,25	-	-	-	-	-	-	-	-
M300x40-1,55	-	-	-	-	-	-	-	-
M300x40-2,25	7239	5816	5054	4241	6121	4902	4241	3530
M300x40-2,46	11379	9398	8280	7086	9804	7747	7086	6019

**Tabela 5 - Montantes para pé-direito de 2450mm, suportando
somente telhado e forro.**

(Residência de um pavimento ou o segundo andar de uma residência de dois pavimentos)

Aço 230 Mpa

Velocidade Básica do Vento V_0 (m/s)		Designação	Espaçamento (mm)	Espessura dos perfis (mm)			
				Largura da edificação (mm)			
III e IV	II			7250	8500	9750	11000
30		M90x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	0,95
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	0,95
35	30	M90x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	0,95
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	0,95
40	35	M90x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	1,25
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	0,95
45	40	M90x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	1,25	1,25	1,25	1,25
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	0,95
50	45	M90x40	400	0,95	0,95	1,25	1,25
			600	1,55	1,55	1,55	1,55
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	0,95
	50	M90x40	400	1,25	1,25	1,25	1,25
			600	2,25	2,25	2,25	2,25
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	1,25	1,25	1,25

Tabela 6 - Montantes para pé-direito de 2450mm, suportando um pavimento, telhado e forro.

(Primeiro pavimento de uma residência de dois pavimentos)

Aço 230 MPa

Velocidade Básica do Vento V_0 (m/s)		Designação	Espaçamento (mm)	Espessura dos perfis (mm)			
				Largura da edificação (mm)			
III e IV	II			7250	8500	9750	11000
30		M90x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	1,25	1,25	1,25	1,25
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	0,95
35	30	M90x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	1,25	1,25	1,55	1,55
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	1,25
40	35	M90x40	400	0,95	0,95	1,25	1,25
			600	1,55	1,55	1,55	1,55
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	1,25	1,25
45	40	M90x40	400	1,25	1,25	1,25	1,25
			600	1,55	1,55	2,25	2,25
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	1,25	1,25	1,25
50	45	M90x40	400	1,25	1,25	1,55	1,55
			600	2,25	2,25	2,46	2,46
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	1,25	1,25	1,25	1,25
	50	M90x40	400	1,55	1,55	1,55	1,55
			600	2,46	2,46	2,46	2,46
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	1,25
			600	1,25	1,55	1,55	1,55

**Tabela 7 - Montantes para pé-direito de 2700mm, suportando
somente telhado e forro.**

(Residência de um pavimento ou o segundo andar de uma residência de dois pavimentos)

Aço 230 Mpa

Velocidade Básica do Vento V_0 (m/s)		Designação	Espaçamento (mm)	Espessura dos perfis (mm)			
				Largura da edificação (mm)			
III e IV	II			7250	8500	9750	11000
30		M90x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	0,95
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	0,95
35	30	M90x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	1,25
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	0,95
40	35	M90x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	1,25	1,25	1,25	1,25
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	0,95
45	40	M90x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	1,55	1,55	1,55	1,55
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	0,95
50	45	M90x40	400	1,25	1,25	1,25	1,25
			600	2,25	2,25	2,25	2,25
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	1,25	1,25	1,25
	50	M90x40	400	1,55	1,55	1,55	1,55
			600	2,46	2,46	2,46	2,46
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	1,25	1,25	1,25	1,25

Tabela 8 - Montantes para pé-direito de 2700mm, suportando um pavimento, telhado e forro.

(Primeiro pavimento de uma residência de dois pavimentos)

Aço 230 Mpa

Velocidade Básica do Vento V_0 (m/s)		Designação	Espaçamento (mm)	Espessura dos perfis (mm)			
				Largura da edificação (mm)			
III e IV	II			7250	8500	9750	11000
30		M90x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	1,25	1,25	1,25	1,55
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	0,95
35	30	M90x40	400	0,95	0,95	0,95	1,25
			600	1,25	1,55	1,55	1,55
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	1,25
40	35	M90x40	400	1,25	1,25	1,25	1,25
			600	1,55	1,55	1,55	1,55
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	1,25	1,25	1,25
45	40	M90x40	400	1,25	1,25	1,25	1,55
			600	2,25	2,25	2,25	2,25
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	1,25	1,25	1,25	1,25
50	45	M90x40	400	1,55	1,55	1,55	1,55
			600	2,46	2,46	2,46	2,46
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	1,25	1,55	1,55	1,55
	50	M90x40	400	2,25	2,25	2,25	2,25
			600	2,46	2,46	2,46	-
		M140x40	400	0,95	1,25	1,25	1,25
			600	1,55	1,55	1,55	1,55

**Tabela 9 - Montantes para pé-direito de 3000mm, suportando
somente telhado e forro.**

(Residência de um pavimento ou o segundo andar de uma residência de dois pavimentos)

Aço 230 Mpa

Velocidade Básica do Vento V_0 (m/s)		Designação	Espaçamento (mm)	Espessura dos perfis (mm)			
				Largura da edificação (mm)			
<u>III e IV</u>	II			7250	8500	9750	11000
30		M90x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	0,95
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	0,95
35	30	M90x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	1,25	1,25	1,25	1,25
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	0,95
40	35	M90x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	1,55	1,55	1,55	1,55
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	0,95
45	40	M90x40	400	1,25	1,25	1,25	1,25
			600	2,25	2,25	2,25	2,25
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	1,25
50	45	M90x40	400	1,55	1,55	1,55	1,55
			600	2,46	2,46	2,46	2,46
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	1,25	1,25	1,25	1,25
	50	M90x40	400	2,25	2,25	2,25	2,25
			600	2,46	2,46	2,46	2,46
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	1,55	1,55	1,55	1,55

Tabela 10 - Montantes para pé-direito de 3000mm, suportando um pavimento, telhado e forro.

(Primeiro pavimento de uma residência de dois pavimentos)

Aço 230 MPa

Velocidade Básica do Vento V_0 (m/s)		Designação	Espaçamento (mm)	Espessura dos perfis (mm)			
				Largura da edificação (mm)			
III e IV	II			7250	8500	9750	11000
30		M90x40	400	0,95	0,95	1,25	1,25
			600	1,55	1,55	1,55	1,55
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	1,25
35	30	M90x40	400	1,25	1,25	1,25	1,25
			600	1,55	2,25	2,25	2,25
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	1,25	1,25	1,25
40	35	M90x40	400	1,25	1,25	1,25	1,55
			600	2,25	2,25	2,25	2,46
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	1,25	1,25	1,25	1,55
45	40	M90x40	400	1,55	1,55	1,55	1,55
			600	2,46	2,46	2,46	2,46
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	1,25	1,25	1,25	1,25
50	45	M90x40	400	2,25	2,25	2,25	2,25
			600	2,46	-	-	-
		M140x40	400	1,25	1,25	1,25	1,25
			600	1,55	1,55	1,55	2,25
	50	M90x40	400	2,25	2,46	2,46	2,46
			600	-	-	-	-
		M140x40	400	1,25	1,25	1,25	1,25
			600	2,25	2,25	2,25	2,25

**Tabela 11 - Montantes para pé-direito de 2450mm, suportando
somente telhado e forro.**

(Residência de um pavimento ou o segundo andar de uma residência de dois pavimentos)

Aço 345 Mpa

Velocidade Básica do Vento V_0 (m/s)		Designação	Espaçamento (mm)	Espessura dos perfis (mm)			
				Largura da edificação (mm)			
III e IV	II			7250	8500	9750	11000
30		M90x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
		M140x40	600	0,95	0,95	0,95	0,95
			400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	0,95
35	30	M90x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
		M140x40	600	0,95	0,95	0,95	0,95
			400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	0,95
40	35	M90x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
		M140x40	600	0,95	0,95	0,95	0,95
			400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	0,95
45	40	M90x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
		M140x40	600	0,95	0,95	0,95	0,95
			400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	0,95
50	45	M90x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
		M140x40	600	1,25	1,25	1,25	1,25
			400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	0,95
	50	M90x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
		M140x40	600	1,25	1,55	1,55	1,55
			400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	0,95

Tabela 12 - Montantes para pé-direito de 2450mm, suportando um pavimento, telhado e forro.

(Primeiro pavimento de uma residência de dois pavimentos)

Aço 345 MPa

Velocidade Básica do Vento V_0 (m/s)		Designação	Espaçamento (mm)	Espessura dos perfis (mm)			
				Largura da edificação (mm)			
III e IV	II			7250	8500	9750	11000
30		M90x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	1,25	1,25
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	0,95
35	30	M90x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	1,25	1,25	1,25
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	0,95
40	35	M90x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	1,25	1,25	1,25	1,25
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	0,95
45	40	M90x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	1,25	1,25	1,55	1,55
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	0,95
50	45	M90x40	400	1,25	1,25	1,25	1,25
			600	1,55	1,55	1,55	2,25
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	1,25	1,25
	50	M90x40	400	1,25	1,25	1,25	1,25
			600	1,55	2,25	2,25	2,25
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	1,25	1,25	1,25	1,25

**Tabela 13 - Montantes para pé-direito de 2700mm, suportando
somente telhado e forro.**

(Residência de um pavimento ou o segundo andar de uma residência de dois pavimentos)

Aço 345 Mpa

Velocidade Básica do Vento V_0 (m/s)		Designação	Espaçamento (mm)	Espessura dos perfis (mm)			
				Largura da edificação (mm)			
III e IV	II			7250	8500	9750	11000
30		M90x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	0,95
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	0,95
35	30	M90x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	0,95
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	0,95
40	35	M90x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	0,95
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	0,95
45	40	M90x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	1,25	1,25	1,25	1,25
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	0,95
50	45	M90x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	1,25	1,25	1,55	1,55
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	0,95
	50	M90x40	400	1,25	1,25	1,25	1,25
			600	1,55	1,55	1,55	1,55
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	0,95

Tabela 14 - Montantes para pé-direito de 2700mm, suportando um pavimento, telhado e forro.

(Primeiro pavimento de uma residência de dois pavimentos)

Aço 345 Mpa

Velocidade Básica do Vento V_0 (m/s)		Designação	Espaçamento (mm)	Espessura dos perfis (mm)			
				Largura da edificação (mm)			
III e IV	II			7250	8500	9750	11000
30		M90x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	1,25	1,25
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	0,95
35	30	M90x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	1,25	1,25	1,25	1,25
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	0,95
40	35	M90x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	1,25	1,25	1,25	1,55
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	0,95
45	40	M90x40	400	0,95	0,95	1,25	1,25
			600	1,55	1,55	1,55	1,55
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	1,25
50	45	M90x40	400	1,25	1,25	1,25	1,25
			600	1,55	2,25	2,25	2,25
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	1,25	1,25	1,25	1,25
	50	M90x40	400	1,25	1,25	1,55	1,55
			600	2,25	2,25	2,25	2,25
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	1,25	1,25	1,25	1,25

**Tabela 15 - Montantes para pé-direito de 3000mm, suportando
somente telhado e forro.**

(Residência de um pavimento ou o segundo andar de uma residência de dois pavimentos)

Aço 345 MPa

Velocidade Básica do Vento V_0 (m/s)		Designação	Espaçamento (mm)	Espessura dos perfis (mm)			
				Largura da edificação (mm)			
III e IV	II			7250	8500	9750	11000
30		M90x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	0,95
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	0,95
35	30	M90x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	0,95
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	0,95
40	35	M90x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	1,25	1,25	1,25	1,55
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	0,95
45	40	M90x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	1,25	1,25	1,25	1,55
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	0,95
50	45	M90x40	400	1,25	1,25	1,25	1,25
			600	1,55	1,55	1,55	1,55
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	0,95
	50	M90x40	400	1,25	1,25	1,25	1,55
			600	2,25	2,25	2,25	2,25
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	1,25	1,25	1,25	1,25

Tabela 16 - Montantes para pé-direito de 3000mm, suportando um pavimento, telhado e forro.

(Primeiro pavimento de uma residência de dois pavimentos)

Aço 345 MPa

Velocidade Básica do Vento V_0 (m/s)		Designação	Espaçamento (mm)	Espessura dos perfis (mm)			
				Largura da edificação (mm)			
III e IV	II			7250	8500	9750	11000
30		M90x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	1,25	1,25	1,25	1,25
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	0,95
35	30	M90x40	400	0,95	0,95	0,95	1,25
			600	1,25	1,55	1,55	1,55
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	0,95
40	35	M90x40	400	0,95	1,25	1,25	1,25
			600	1,55	1,55	1,55	1,55
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	0,95	0,95	0,95	1,25
45	40	M90x40	400	1,25	1,25	1,25	1,25
			600	1,55	2,25	2,25	2,25
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	1,25	1,25	1,25	1,25
50	45	M90x40	400	1,55	1,55	1,55	1,55
			600	2,25	2,46	2,46	2,46
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	0,95
			600	1,25	1,25	1,25	1,25
	50	M90x40	400	1,55	1,55	1,55	1,55
			600	2,46	2,46	2,46	2,46
		M140x40	400	0,95	0,95	0,95	1,25
			600	1,25	1,55	1,55	1,55

**Tabela 17- Vãos máximos de encabeçamento de aberturas (vergas),
suportando somente telhado e forro.
Aço 230 Mpa**

Designação	Vãos máximos (mm)			
	Largura da edificação (mm)			
	7250	8500	9750	11000
2 M90x40x0,95	1193	1117	1041	990
2 M90x40x1,25	1447	1346	1270	1219
2 M90x40x1,55	1625	1524	1447	1371
2 M90x40x2,25	1828	1701	1600	1524
2 M90x40x2,46	2159	2032	1905	1803
2 M140x40x0,95	1193	1041	914	838
2 M140x40x1,25	1955	1524	1727	1651
2 M140x40x1,55	2209	1778	1955	1854
2 M140x40x2,25	2489	2336	2184	2082
2 M140x40x2,46	2971	2768	2616	2489
2 M200x40x0,95	914	812	711	635
2 M200x40x1,25	2032	1778	1574	1422
2 M200x40x1,55	2895	2692	2540	2413
2 M200x40x2,25	3251	3048	2870	2717
2 M200x40x2,46	3911	3632	3429	3251
2 M250x40x1,25	1701	1473	1320	1193
2 M250x40x1,55	3200	2946	2616	2362
2 M250x40x2,25	3835	3581	3378	3200
2 M250x40x2,46	4622	4318	4064	3860
2 M300x40x1,25	1447	1270	1117	990
2 M300x40x1,55	2895	2514	2235	1981
2 M300x40x2,25	4089	3835	3606	3429
2 M300x40x2,46	5308	4953	4368	4445

**Tabela 18 - Vãos máximos de encabeçamento de aberturas (vergas),
suportando um pavimento, telhado e forro.
Aço 230 Mpa**

Designação	Vãos máximos (mm)			
	Largura da edificação (mm)			
	7250	8500	9750	11000
2 M90x40x0,95	685	-	-	-
2 M90x40x1,25	1016	939	889	838
2 M90x40x1,55	1143	1066	1016	965
2 M90x40x2,25	1270	1193	1143	1066
2 M90x40x2,46	1498	1422	1346	1270
2 M140x40x0,95	-	-	-	-
2 M140x40x1,25	1270	1143	1016	914
2 M140x40x1,55	1549	1447	1371	1295
2 M140x40x2,25	1727	1625	1549	1473
2 M140x40x2,46	2057	1930	1828	1752
2 M200x40x0,95	-	-	-	-
2 M200x40x1,25	990	863	787	711
2 M200x40x1,55	1955	1727	1244	1397
2 M200x40x2,25	2260	2133	1701	1930
2 M200x40x2,46	2717	2540	2108	2311
2 M250x40x1,25	812	736	660	609
2 M250x40x1,55	1625	1447	1295	1168
2 M250x40x2,25	2667	2514	2387	2260
2 M250x40x2,46	3200	3022	2844	2717
2 M300x40x1,25	711	635	-	-
2 M300x40x1,55	1397	1244	1117	1016
2 M300x40x2,25	2819	2489	2235	2032
2 M300x40x2,46	3683	3479	3276	3124

**Tabela 19 - Vãos máximos de encabeçamento de aberturas (vergas),
suportando um pavimento, telhado e forro.**

(Primeiro pavimento de uma residência de dois pavimentos, com viga estrutural central)

Aço 230 MPa

Designação	Vãos máximos (mm)			
	Largura da edificação (mm)			
	7250	8500	9750	11000
2 M90x40x0,95	863	762	609	-
2 M90x40x1,25	1143	1066	1016	965
2 M90x40x1,55	1270	1219	1143	1092
2 M90x40x2,25	1422	1346	1270	1219
2 M90x40x2,46	1676	1600	1524	1447
2 M140x40x0,95	736	660	-	-
2 M140x40x1,25	1066	1549	1447	1295
2 M140x40x1,55	1727	1625	1549	1473
2 M140x40x2,25	1955	1828	1752	1676
2 M140x40x2,46	2336	2184	2082	1981
2 M200x40x0,95	-	-	-	-
2 M200x40x1,25	1270	990	990	914
2 M200x40x1,55	2260	2133	1981	1828
2 M200x40x2,25	2540	2413	2286	2159
2 M200x40x2,46	3048	2971	2743	2590
2 M250x40x1,25	1041	914	838	1066
2 M250x40x1,55	2082	1219	1676	1524
2 M250x40x2,25	2997	2844	2717	2565
2 M250x40x2,46	3606	3403	3225	3073
2 M300x40x1,25	889	787	711	635
2 M300x40x1,55	1778	1574	1422	1295
2 M300x40x2,25	3200	3048	2870	2590
2 M300x40x2,46	4165	3911	3708	3556

Tabela 20 - Encabeçamento de aberturas (vergas) em cantoneira dupla, suportando somente telhado e forro.

Designação	Vãos máximos (mm)			
	Largura da edificação (mm)			
	7250	8500	9750	11000
2L150x40x1,25	1422	1320	1244	1193
2L150x40x1,55	1625	1498	1422	1346
2L150x40x2,25	1854	1727	1625	1524
2L200x40x1,25	1879	1727	1625	1549
2L200x40x1,55	2108	1981	1854	1752
2L200x40x2,25	2413	2235	2108	1981
2L250x40x1,25	2057	1930	1803	1701
2L250x40x1,55	2616	2184	2032	1930
2L250x40x2,25	2946	2743	2590	2184

Tabela 21 - Encabeçamento de aberturas (vergas) em cantoneira dupla, suportando um pavimento, telhado e forro.

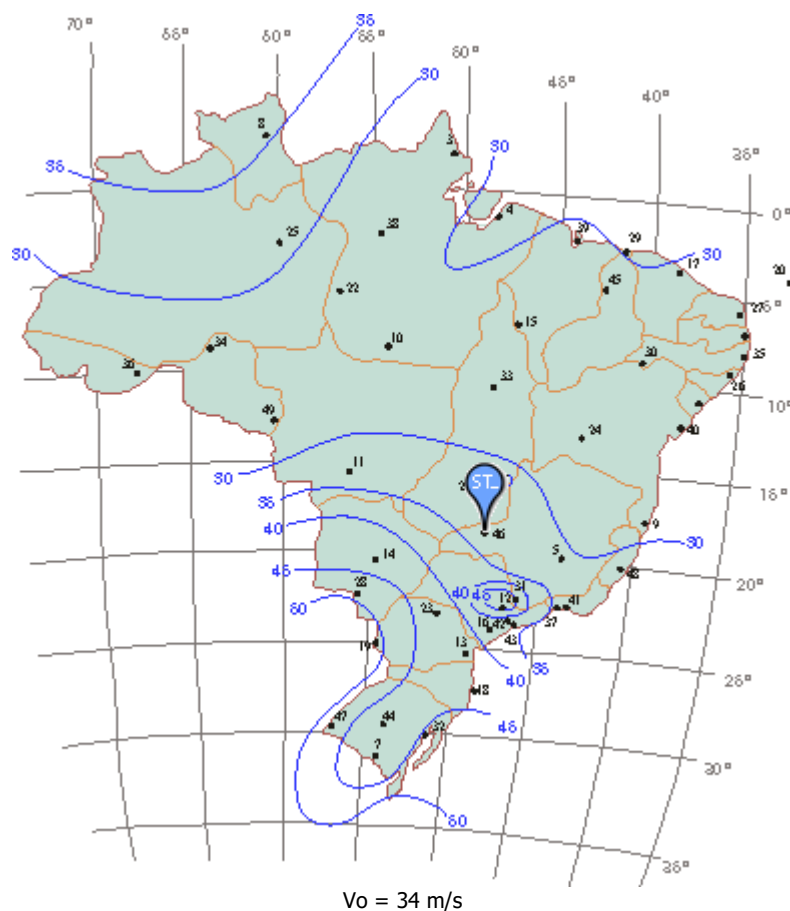
Designação	Vãos máximos (mm)			
	Largura da edificação (mm)			
	7250	8500	9750	11000
2L150x40x1,25	965	914	838	812
2L150x40x1,55	1092	1016	965	914
2L150x40x2,25	1244	1168	1092	1041
2L200x40x1,25	1270	1168	1117	1041
2L200x40x1,55	1422	1346	1270	1193
2L200x40x2,25	1625	1524	1422	1346
2L250x40x1,25	1397	1295	1219	1168
2L250x40x1,55	1574	1473	1397	1320
2L250x40x2,25	1778	1676	1574	1498

ANEXO B – Relatório de cálculo da ação do vento

1. AÇÃO DO VENTO NA EDIFICAÇÃO

1.1. DETERMINAÇÃO DA PRESSÃO DINÂMICA DO VENTO

1.1.1. Velocidade básica do vento



1.1.2. Fator topográfico S1

$S_1 = 1,00$ Terreno plano ou fracamente acidentado

1.1.3. Fator que relaciona rugosidade, dimensões da edificação e altura sobre o terreno S2

Rugosidade do terreno: categoria IV
 Dimensões da edificação: classe A
 $Z = 3,43$ m Altura acima do terreno
 $S_2 = 0,79$

1.1.4. Fator estatístico S3

Edificação Grupo 2 $\rightarrow S_3 = 1,00$

1.1.5. Pressão dinâmica

$V_0 = 34$ m/s Velocidade básica do vento
 $V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 = 26,91$ m/s Velocidade característica do vento
 $q = 0,613 \cdot V_k^2 = 45,25$ kgf/m²

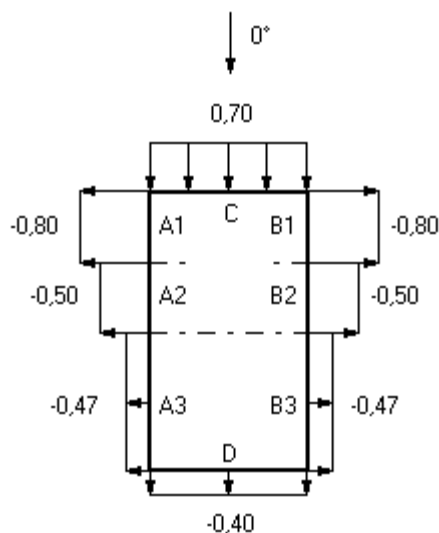
1.2. COEFICIENTES DE FORMA EXTERNO PARA PAREDES DE EDIFICAÇÕES DE PLANTA RETANGULAR

Vento a 0°

$a = 7.12 \text{ m}$ Maior dimensão horizontal da edificação
 $b = 6.52 \text{ m}$ Menor dimensão horizontal da edificação
 $h = 2.5 \text{ m}$ Altura da edificação

$$a_1 = \text{Max}\left(\frac{b}{3}; \frac{a}{4}\right) \leq 2 \cdot h = 2,17 \text{ m}$$

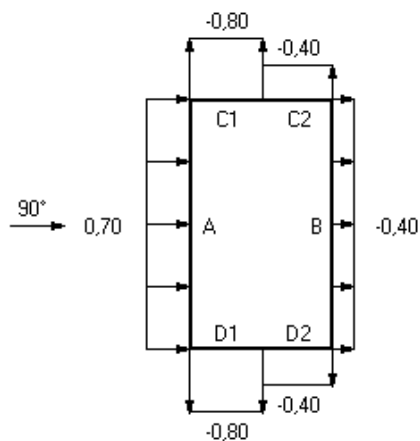
$$a_2 = \frac{a}{2} - a_1 = 1,39 \text{ m}$$



Vento a 90°

$a = 7.12 \text{ m}$ Maior dimensão horizontal da edificação
 $b = 6.52 \text{ m}$ Menor dimensão horizontal da edificação
 $h = 2.5 \text{ m}$ Altura da edificação

$$b_1 = \text{Min}\left(\frac{b}{2}; 2 \cdot h\right) = 3,26 \text{ m}$$



1.3. COEFICIENTES DE FORMA EXTERNO PARA TELHADOS COM DUAS ÁGUAS EM EDIFICAÇÕES DE PLANTA RETANGULAR

Vento a 0°

↓ 0°

E -0,78	G -0,78
F -0,60	H -0,60
I -0,56	J -0,56

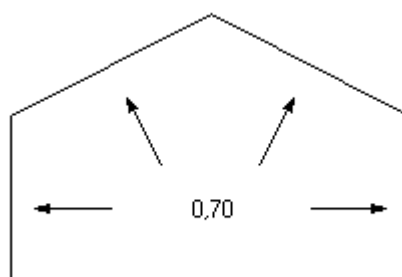
Vento a 90°

→ 90°

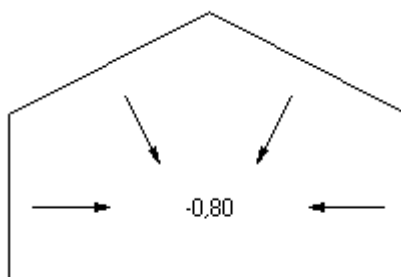
E -0,89	G -0,40
F -0,89	H -0,40
I -0,89	J -0,40

1.4. COEFICIENTES DE PRESSÃO INTERNA

Vento a 0°



Vento a 90°



**ANEXO C – Relatório de dimensionamento de um perfil (U
92x40x0,95)**

Esforços solicitantes (Figura 44)

Conforme NBR 8800:2008 e NBR 14762:2010

Perfil U (Formado a frio)

Perfil: [92 x 40 x 0.95

Aço: ASTM A36 $f_y = 250 \text{ MPa}$ $f_u = 400 \text{ MPa}$ **COMPRIMENTOS DA BARRA** $K_x L_x = 0,4 \text{ m}$ $K_z L_z = 0,4 \text{ m}$ $K_y L_y = 0,4 \text{ m}$ $L_b = 0,4 \text{ m}$ **SOLICITAÇÕES MÁXIMAS** $N_{c,Sd} = 0,26 \text{ kN}$ $V_{y,Sd} = -0,15 \text{ kN}$ $N_{t,Sd} = 0$ $V_{z,Sd} = 0,83 \text{ kN}$ $M_{y,Sd} = 0,26 \text{ kN.m}$ $M_{z,Sd} = -0,37 \text{ kN.m}$ $C_b = 1,07$ $C_{my} = 0,62$ $C_{mz} = 0,49$ **1. Cálculo da Tração** $C_T = 1,00$ Coeficiente de redução da área líquida

$$N_{tRd1} = \frac{A \cdot f_y}{1,10} = 36,32 \text{ kN} \quad \text{Resistência de escoamento}$$

$$N_{tRd2} = \frac{C_T \cdot A_n \cdot f_u}{1,65} = 38,74 \text{ kN} \quad \text{Resistência à ruptura}$$

$$N_{tRd} = 36,32 \text{ kN} \quad \text{Resistência à tração}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

2. Cálculo da Compressão

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} = 2611,52 \text{ kN}$$

$$N_{ez} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(K_z \cdot L_z)^2} = 312,53 \text{ kN}$$

$$N_{et} = \frac{1}{r_o^2} \cdot \left[\frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_t \cdot L_t)^2} + G \cdot J \right] = 227,04 \text{ kN}$$

$$H = 1 - \frac{x_o^2}{r_o^2} = 0,73$$

$$N_{ext} = \frac{N_{ex} + N_{et}}{2 \cdot H} \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot N_{ex} \cdot N_{et} \cdot H}{(N_{ex} + N_{et})^2}} \right] = 221,48 \text{ kN}$$

$$N_e = 221,48 \text{ kN}$$

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_e}} = 0,42$$

$$\lambda_o \leq 1,5 \text{ então } \chi = 0,658 (\lambda_o)^2 = 0,93$$

Elemento A.A. com $b/t > 60$.

a) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem global

$$A_{ef}^{FG} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva devido à flambagem global}$$

$$N_{cRd} = \frac{\chi \cdot A_{ef} \cdot f_y}{1,20} = 14,88 \text{ kN} \quad \text{Resistência à compressão devido à flambagem global}$$

Elemento A.A. com $b/t > 60$.

b) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem local

$$A_{ef}^{FL} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva devido à flambagem local}$$

$$N_{cRd}^{FL} = \frac{A_{ef}^{FL} \cdot f_y}{1,20} = 15,56 \text{ kN} \quad \text{Resistência à compressão devido à flambagem local}$$

$$N_{cRd} = 14,88 \text{ kN} \quad \text{Força normal resistente de cálculo à compressão}$$

$$\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} = 0,02 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

3. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Y

3.1. Cálculo do momento resistente devido ao início do escoamento efetivo

$$A_{ef} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva da seção}$$

$$I_{xef} = 0,00 \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Y}$$

$$d = 0,01 \text{ m} \quad \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico}$$

$$y_{G \text{ final}} = y_G + d = 0,05 \text{ m} \quad \text{Posição final do eixo baricêntrico}$$

$$I_G = I_{xef} - A_{ef} \cdot d^2 = 0,00 \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico}$$

$$W_{ef} = \frac{I_G}{y_{G \text{ final}}} = 0,00 \text{ m}^3 \quad \text{Módulo elástico efetivo}$$

$$M_{Rdx}^{FL} = \frac{W_{ef} \cdot f_y}{1,10} = 0,68 \text{ kN.m} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão para o início do escoamento}$$

3.2. Cálculo do momento resistente devido ao estado limite Flambagem Lateral com Torção

$$M_e = C_b \cdot r_o \sqrt{N_{ey} \cdot N_{et}} = 12,85 \text{ kN.m} \quad \text{Momento fletor de flambagem lateral com torção}$$

$$W_c = 0,00 \text{ m}^3 \quad \text{Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida}$$

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{W_c \cdot f_y}{M_e}} = 0,30 \quad \lambda_o \leq 0,6 \quad \text{então} \quad \chi_{FLT} = 1,0$$

$$\chi_{FLT} = 1,00 \quad \text{Fator de redução associado à flambagem lateral com torção}$$

$$\text{Cálculo de } W_{cef} \text{ na tensão} \quad \sigma = \chi_{FLT} \cdot f_y = 250000,00 \text{ kN/m}^2$$

$$A_{ef} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva da seção}$$

$$I_{xef} = 0,00 \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Y}$$

$$d = 0,01 \text{ m} \quad \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico}$$

$$y_{G \text{ final}} = y_G + d = 0,05 \text{ m} \quad \text{Posição final do eixo baricêntrico}$$

$$I_G = I_{xef} - A_{ef} \cdot d^2 = 0,00 \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico}$$

$$W_{cef} = \frac{I_G}{y_{G \text{ final}}} = 0,00 \text{ m}^3 \quad \text{Módulo elástico efetivo}$$

$$M_{Rdx}^{FLT} = \frac{\chi_{FLT} \cdot W_{cef} \cdot f_y}{1,10} = 0,68 \text{ kN.m} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão para o estado limite FLT}$$

$$M_{Rdx} = 0,68 \text{ kN.m} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Y}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} = 0,38 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

4. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Z

4.1. Cálculo do momento resistente devido ao início do escoamento efetivo

$$\begin{aligned} A_{ef} &= 0,00 \text{ m}^2 && \text{Área efetiva da seção} \\ I_{yef} &= 0,00 \text{ m}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Z} \\ d &= 0,00 \text{ m} && \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico} \\ X_{G \text{ final}} &= X_G + d = 0,03 \text{ m} && \text{Posição final do eixo baricêntrico} \\ I_G &= I_{yef} - A_{ef} \cdot d^2 = 0,00 \text{ m}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico} \\ W_{ef} &= \frac{I_G}{X_{G \text{ final}}} = 0,00 \text{ m}^3 && \text{Módulo elástico efetivo} \\ M_{Rdy} &= \frac{W_{ef} \cdot f_y}{1,10} = 0,18 \text{ kN.m} && \text{Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Z} \end{aligned}$$

4.2. Cálculo do momento resistente devido ao estado limite Flambagem Lateral com Torção

$$\begin{aligned} C_s &= -1,00 \\ C_m &= 1,00 \\ j &= 0,05 \text{ m} && \text{Parâmetro da seção transversal conforme Anexo E - NBR 14762:2010} \\ M_e &= \frac{C_s \cdot N_{ey}}{C_m} \cdot \left[j + C_s \cdot \sqrt{j^2 + r_0^2 \cdot \left(\frac{N_{et}}{N_{ey}} \right)} \right] = 4,40 \text{ kN.m} && \text{Momento fletor de flambagem lateral com torção} \\ W_c &= 0,00 \text{ m}^3 && \text{Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida} \\ \lambda_o &= \sqrt{\frac{W_c \cdot f_y}{M_e}} = 0,22 && \lambda_o \leq 0,6 \text{ então } \chi_{FLT} = 1,0 \end{aligned}$$

$$\chi_{FLT} = 1,00 \quad \text{Fator de redução associado à flambagem lateral com torção}$$

$$\text{Cálculo de } W_{cef} \text{ na tensão } \sigma = \chi_{FLT} \cdot f_y = 250000,00 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} A_{ef} &= 0,00 \text{ m}^2 && \text{Área efetiva da seção} \\ I_{yef} &= 0,00 \text{ m}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Z} \\ d &= 0,00 \text{ m} && \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico} \\ X_{G \text{ final}} &= X_G + d = 0,03 \text{ m} && \text{Posição final do eixo baricêntrico} \\ I_G &= I_{yef} - A_{ef} \cdot d^2 = 0,00 \text{ m}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico} \\ W_{ef} &= \frac{I_G}{X_{G \text{ final}}} = 0,00 \text{ m}^3 && \text{Módulo elástico efetivo} \\ M_{FLT} &= \frac{\chi_{FLT} \cdot W_{cef} \cdot f_y}{1,10} = 0,18 \text{ kN.m} && \text{Resistência de cálculo à flexão para o estado limite FLT} \\ M_{yRd} &= 0,18 \text{ kN.m} && \text{Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Y} \\ \frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} &= \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} = 2,06 > 1,00 && \text{ERRO!} \end{aligned}$$

5. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo Y

$$\lambda = \frac{h}{t} = 40,11 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$k_v = 5,00 \quad \text{Coeficiente de flambagem local por cisalhamento}$$

$$\lambda_p = 1,08 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 68,31 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para plastificação}$$

$$\lambda_r = 1,40 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 88,54 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para para início de escoamento} \quad \lambda \leq \lambda_p \text{ então}$$

$$V_{Rd} = \frac{0,6 \cdot h \cdot t \cdot f_y}{1,10}$$

$$V_{Rdy} = 9,87 \text{ kN} \quad \text{Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Y}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{V_{ySd}}{V_{yRd}} = 0,02 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

6. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo Z

$$\lambda = \frac{h}{t} = 92,84 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$k_v = 5,00 \quad \text{Coeficiente de flambagem local por cisalhamento}$$

$$\lambda_p = 1,08 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 68,31 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para plastificação}$$

$$\lambda_r = 1,40 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 88,54 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para para início de escoamento} \quad \lambda > \lambda_r \text{ então}$$

$$V_{Rd} = \frac{(0,905 \cdot t^3 \cdot k_v \cdot E) / h}{1,10}$$

$$V_{Rdz} = 8,00 \text{ kN} \quad \text{Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Z}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{V_{zSd}}{V_{zRd}} = 0,10 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

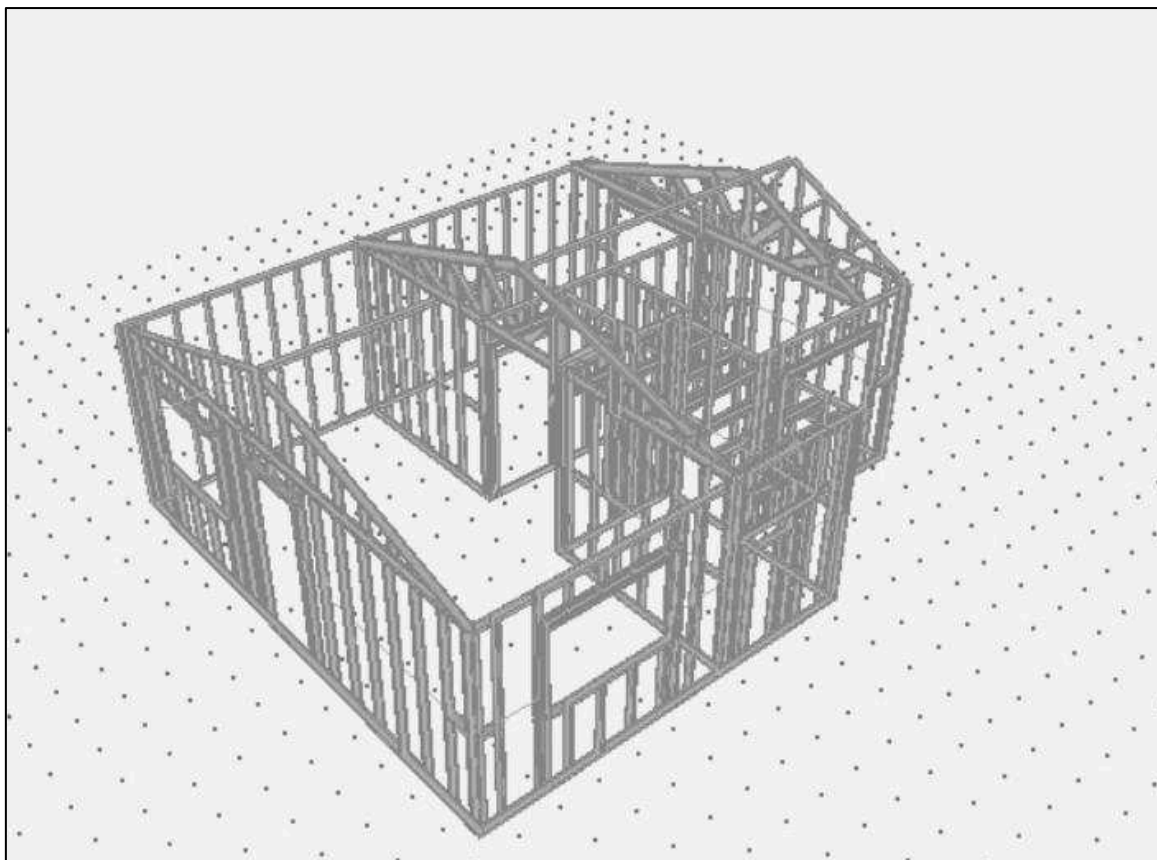
O perfil não passa. Não aplicável.

7. Equações de Interação

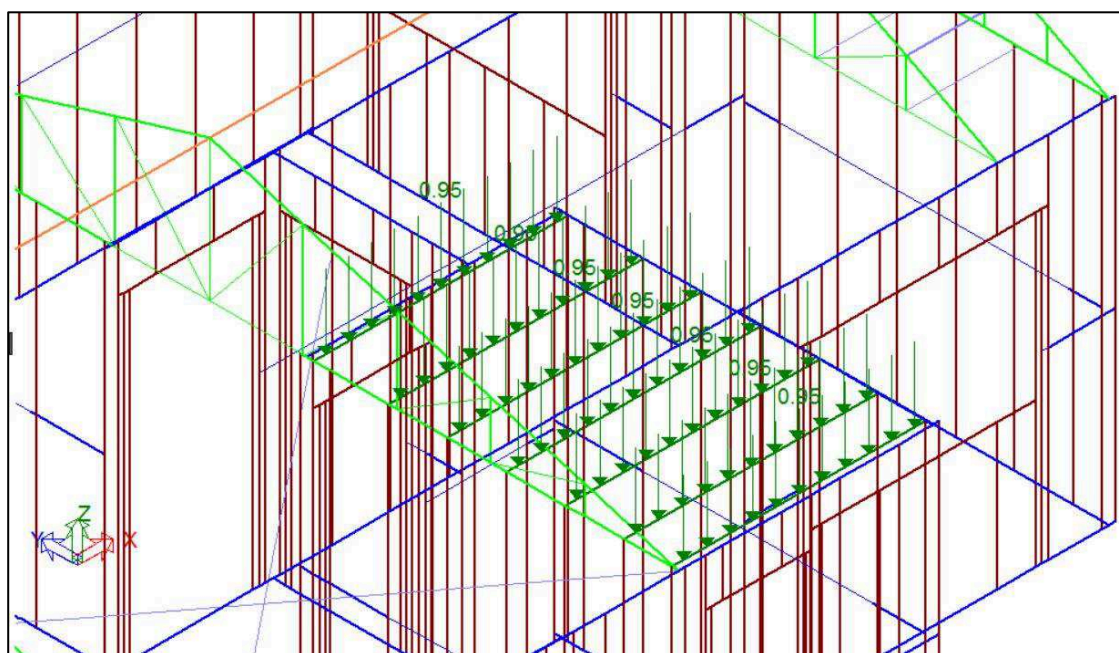
$$\frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} + \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} = 2,46 \quad \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} + \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} + \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 2,44 \quad \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} + \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} - \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 2,44$$

APÊNDICE A – Representação gráfica dos esforços

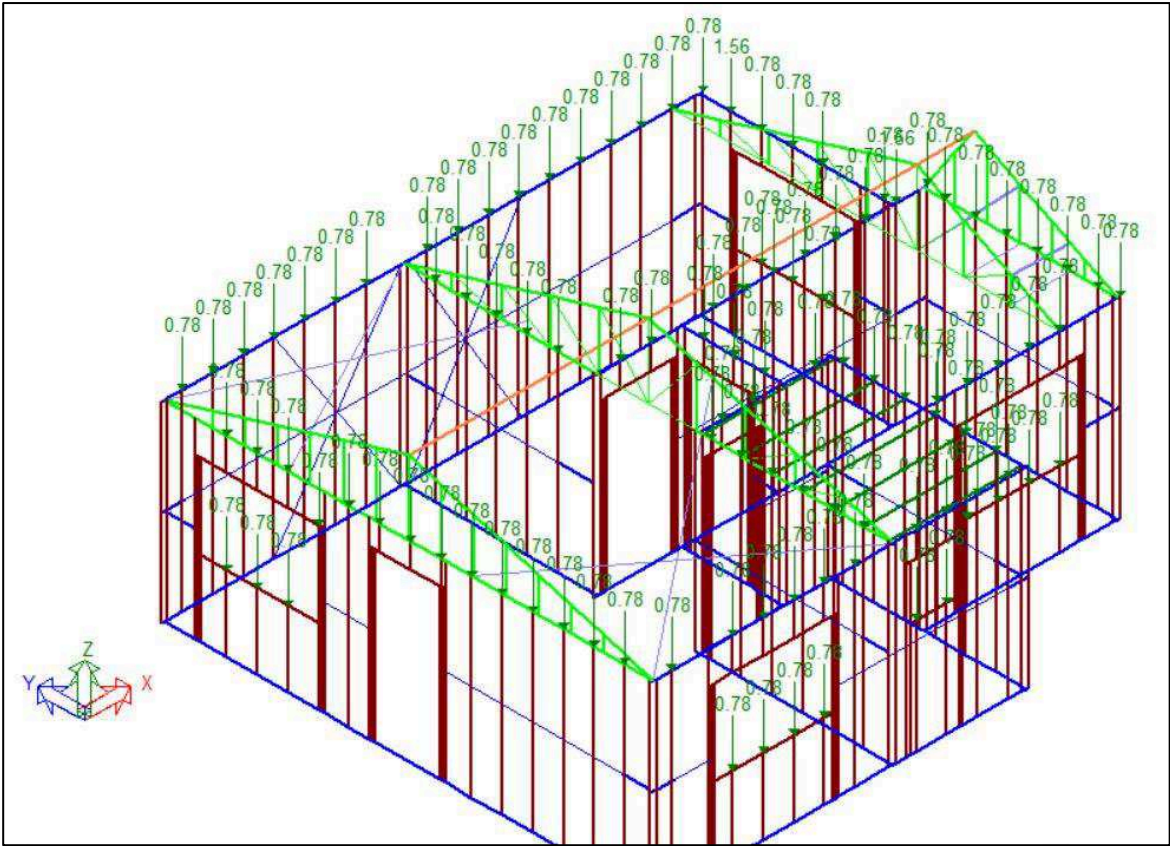
Estrutura projetada em ambiente 3D (software mCalc)



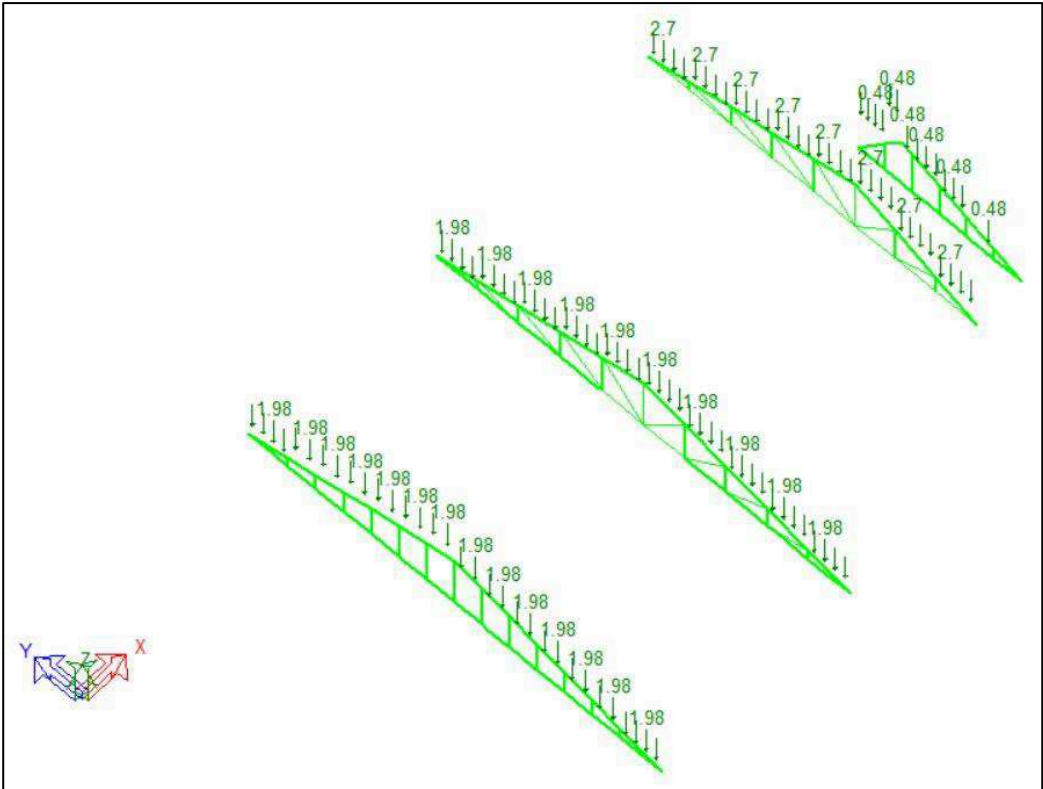
Ação permanente nas vigas de entrepiso (caixa d'água) – forças em kN



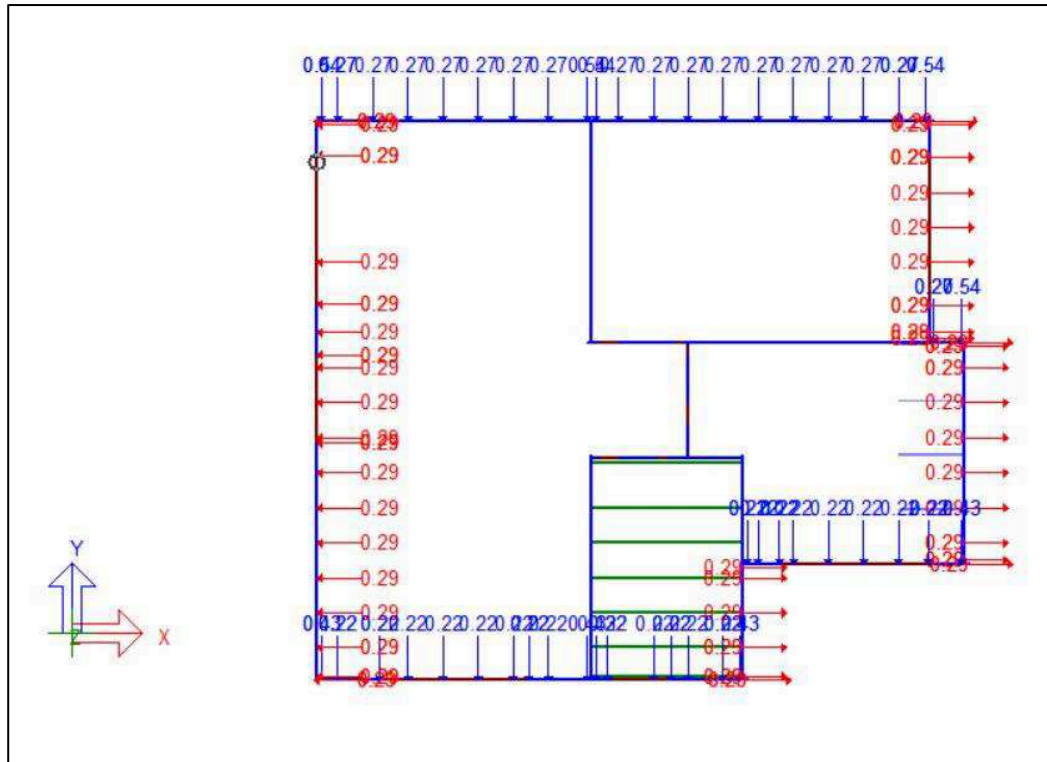
Ação permanente nas paredes (forças em kN)



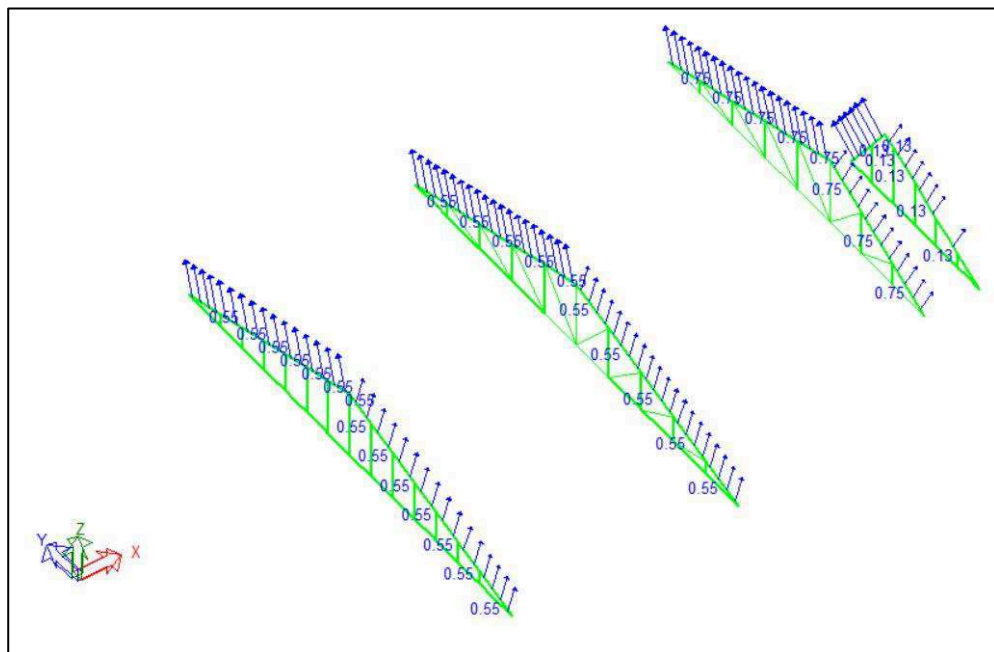
Ação permanente nas estruturas do telhado (forças em kN)



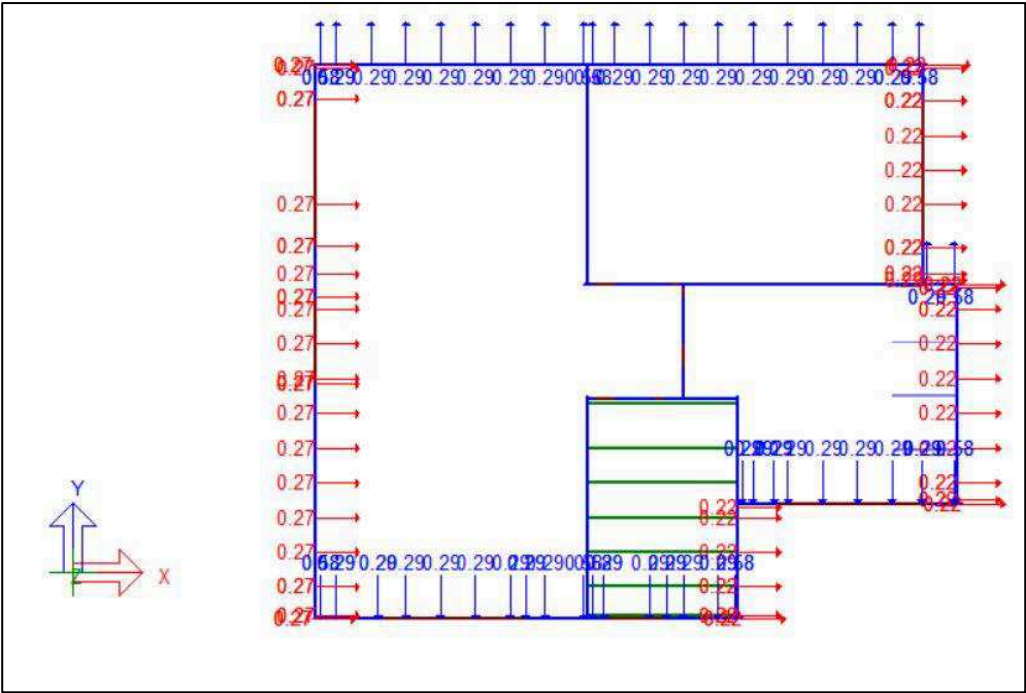
Ação do vento a 0° sobre as paredes (forças em kN)



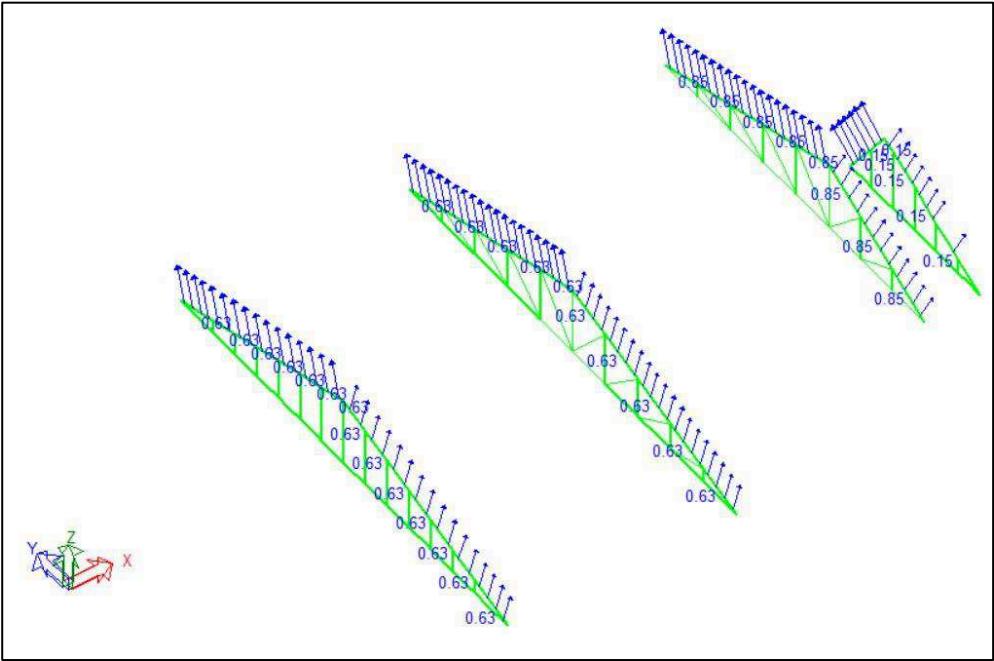
Ação do vento a 0° sobre o telhado (forças em kN)



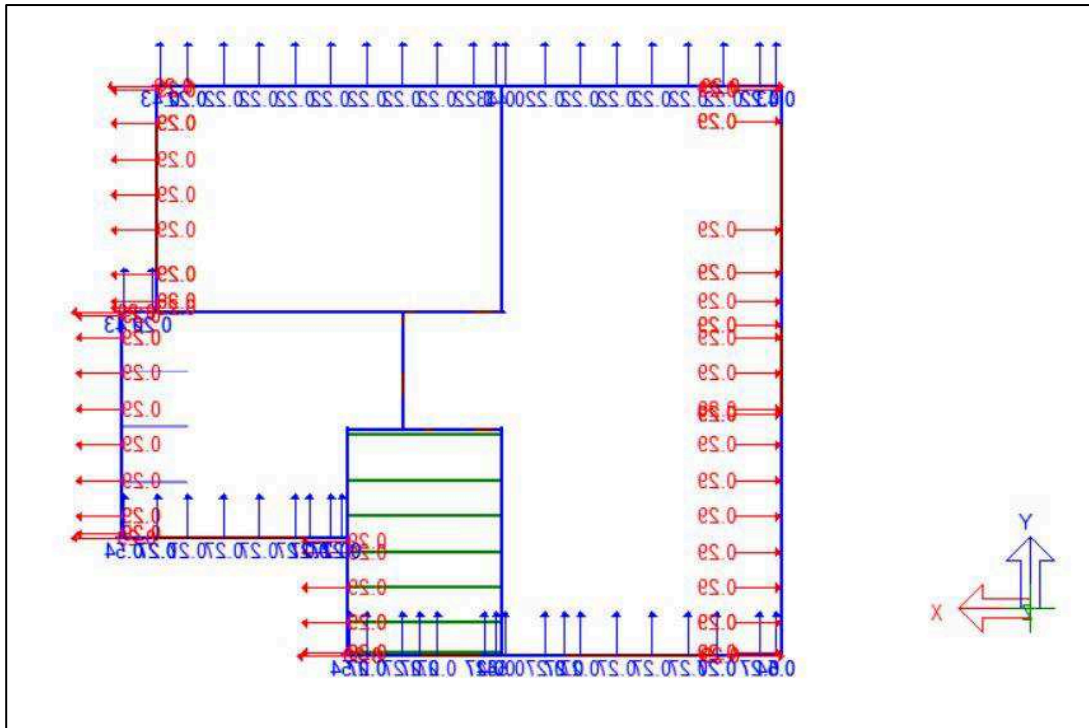
Ação do vento a 90° sobre as paredes (forças em kN)



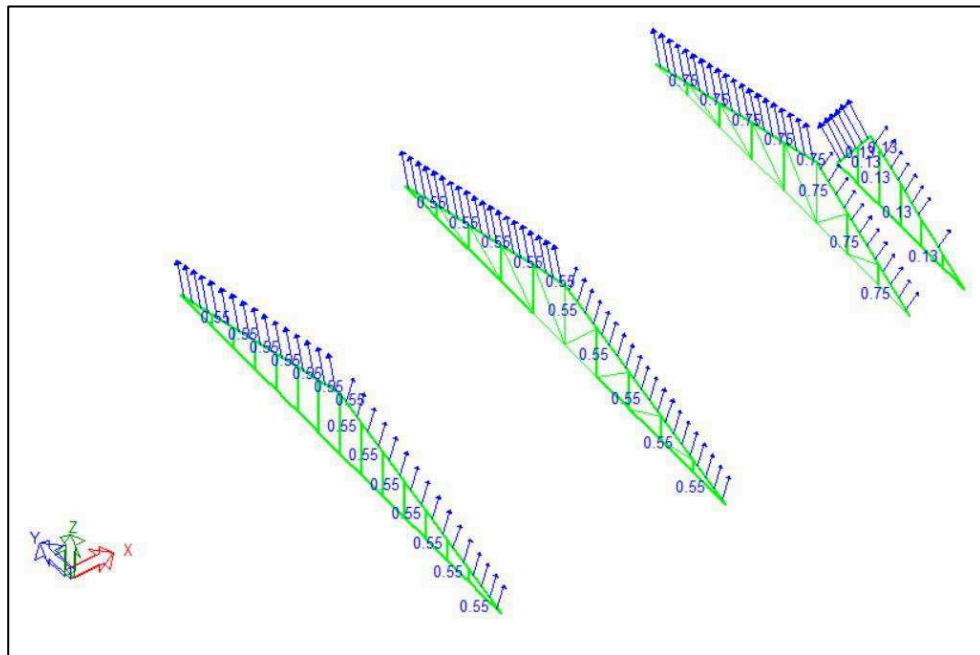
Ação do vento a 90° sobre o telhado (forças em kN)



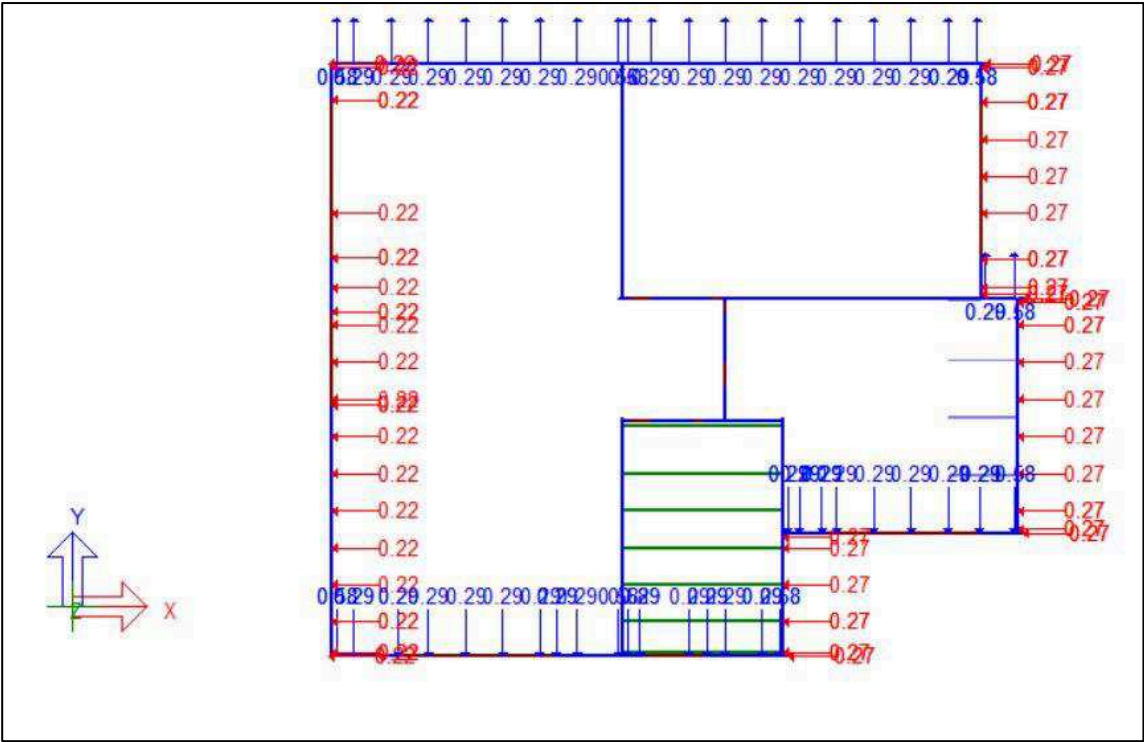
Ação do vento a 180° sobre as paredes (forças em kN)



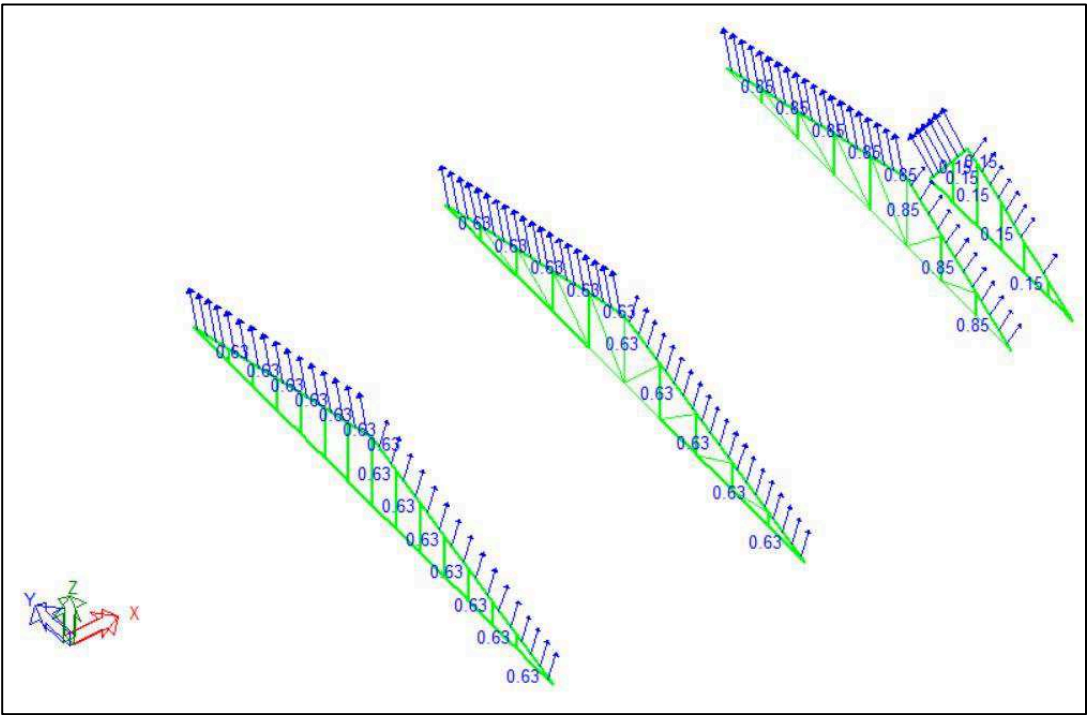
Ação do vento a 180° sobre o telhado (forças em kN)



Ação do vento a 270° sobre as paredes (forças em kN)



Ação do vento a 270° sobre o telhado (forças em kN)



APÊNDICE B – Planta baixa do lançamento estrutural

