



**INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA**

**CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

KARYNA TANCREDO NAZÁRIO

**Análise Estrutural
do Sistema *Light Steel
Framing*: Influência dos
Contraventamentos
na Estrutura**

**Florianópolis - SC
2019**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SANTA CATARINA - CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

KARYNA TANCREDO NAZÁRIO

**ANÁLISE ESTRUTURAL DO SISTEMA LIGHT STEEL FRAMING:
influência dos contraventamentos na estrutura**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Professor Fernando Toppan Rabello, Doutor em Engenharia Civil.

FLORIANÓPOLIS, 2019.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

NAZARIO, Karyna T.

**ANÁLISE ESTRUTURAL DO SISTEMA LIGHT STEEL FRAMING
: influência dos contraventamentos na estrutura / Karyna T.
NAZARIO ; orientação de Fernando Toppan RABELLO.**

- Florianópolis, SC, 2019.

92 p.

**Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal
de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado
em Engenharia Civil. Departamento Acadêmico
de Construção Civil.**

Inclui Referências.

**1. Light Steel Framing. 2. Análise Estrutural. 3.
Contraventamentos. I. RABELLO, Fernando Toppan. II. Instituto
Federal de Santa Catarina. Departamento Acadêmico
de Construção Civil. III. Título.**

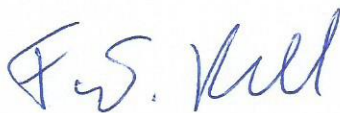
**ANÁLISE ESTRUTURAL DO SISTEMA LIGHT STEEL FRAMING:
influência dos contraventamentos na estrutura**

KARYNA TANCREDO NAZÁRIO

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Civil em 2019 e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 05 de julho de 2019.

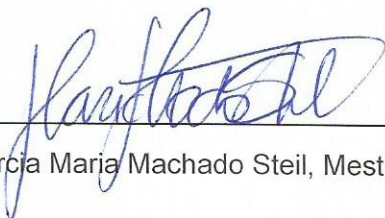
Banca Examinadora:



Fernando Toppan Rabello, Doutor em Engenharia Civil



André Puel, Doutor em Engenharia Civil



Márcia Maria Machado Steil, Mestre em Engenharia Civil

AGRADECIMENTOS

A Deus, por permitir que eu pudesse concluir esse curso de graduação.

A minha família, minha mãe Kellys, meu pai Jerre e minha irmã Pamella, por serem meu porto seguro e estarem incondicionalmente ao meu lado, com incentivos diários e apoio nos momentos difíceis.

Ao meu companheiro de vida, Ricardo Vieira, por compartilhar todos os momentos comigo ao longo desta jornada, com sua compreensão, amizade e apoio incondicionais.

Ao Professor Dr. Fernando Toppan Rabello, por acreditar e orientar este trabalho, pela disponibilidade, dedicação e incentivo. Obrigada pela confiança em mim depositada.

Aos Professores Dr. André Puel e Ma. Márcia Maria Machado Steil, por aceitarem fazer parte da banca examinadora deste trabalho e por contribuírem para que o objetivo deste trabalho fosse alcançado.

E, de modo especial, ao Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) pela oportunidade de cursar um ensino gratuito e de qualidade.

RESUMO

O sistema *Light Steel Framing* (LSF) é um método construtivo de concepção racional que tem como principal característica a grande rapidez de execução. Este sistema possui estruturas leves compostas por perfis formados a frio, de pequena espessura, que dão forma à edificação e funcionam como um esqueleto estrutural projetado para suportar as cargas que solicitam a estrutura. Como a superlotação nas cidades demanda cada vez mais edifícios de múltiplos pavimentos, torna-se de extrema importância o estudo da estabilidade global dessas estruturas em LSF. Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo a análise comparativa do comportamento da estrutura, de um edifício com 4 pavimentos, a partir dos deslocamentos laterais na estrutura e dos esforços solicitantes, frente à influência de diferentes tipos de contraventamento. Para isso, um projeto arquitetônico pré-existente no sistema convencional foi adaptado para o sistema LSF e pré-dimensionado, em seguida, foram elaborados três modelos estruturais com as diferentes disposições de contraventamento (X, V e K). Com o auxílio do *software* SAP 2000, a estrutura metálica foi discretizada em barras e nós para serem verificadas em relação à influência dos contraventamentos. Diante dos resultados obtidos nas análises dos modelos, concluiu-se que, entre os três diferentes tipos de contraventamento, o que apresentou melhor desempenho estrutural para o prédio de quatro pavimentos foi o contraventamento em fita com disposição em X, o qual proporcionou deslocamentos horizontais bem menores aos comparados com os contraventamentos em K e em V, além de apresentar as menores solicitações nos montantes nos quais as diagonais foram conectadas.

Palavras-Chave: *Light Steel Framing*. Análise Estrutural. Contraventamentos.

ABSTRACT

The Light Steel Framing (LSF) is a construction method of rational conception that has as main characteristic the high speed of execution. This system has light structures composed of cold formed profiles, which have a small thickness, forming the building and functioning as a structural skeleton designed to support the loads that the structure requires. As overcrowding in cities increasingly demands multi-floor buildings, the study of LSF global stability becomes extremely important. As result, the present work has as objective the comparative analysis of the structure behavior, of a four-story building, from the lateral displacements in the structure and the requesting efforts, in front of the influence of different types of bracing. For this, a pre-existing architectural design in the conventional system was adapted to the LSF System and then, three structural models with different bracing arrangements were elaborated (X, V and K). With the SAP 2000 software, the metal structure was discretizes in bars and knots to be checked in relation to the influence of the bracings. Considering the obtained results in the analyzes of the models, it was concluded that, between the three types of bracing, the one which presented better structural performance for the four-story building was the X-shaped tape bracing, which provided much smaller horizontal displacements compared to the V and K bracings. In addition, the X-shaped tape bracing presented smaller requests in the amounts in which the diagonals were connected.

Keywords: Light Steel Framing. Structural Analyzes. Bracing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Sistema construtivo em Light Steel Framing	14
Figura 2 - Componentes de painel de parede utilizando perfil Ue	15
Figura 3 - Orientação das fibras de madeira de uma chapa OSB	18
Figura 4 - Painel Estrutural Típico de Light Steel Framing	20
Figura 5 - Distribuição do Carregamento à Fundação.....	21
Figura 6 - Distribuição de esforços através de vergas para ombreiras	22
Figura 7 - Modelo Teórico de Painéis Estruturais.....	22
Figura 8 - Estrutura de Piso em LSF	23
Figura 9 - Fita Metálica para travamento de painel	24
Figura 10 - Travamento Horizontal do painel através de Fitas bloqueadores	25
Figura 11 - Efeito Global do Deslocamento Lateral da Estrutura $P\Delta$	26
Figura 12 - Diagonais de Contraventamento do Sistema LSF	28
Figura 13 - Esforços devido as cargas laterais.....	28
Figura 14 - Solicitação das diagonais de contraventamento	29
Figura 15 - Contraventamento em K	30
Figura 16 - Projeto Arquitetônico Pavimento Tipo s/ Escala	34
Figura 17- Perfis compostos para encontro de painéis	35
Figura 18- Disposição das vigas por apartamento	35
Figura 19 - Geometria do prédio	38
Figura 20- Coeficiente de forma externo (C_e)	40
Figura 21- Pressão efetiva da Estrutura.....	41
Figura 22 - Cargas em um dos Montantes externos entre os eixos 1 e 3 na fila B ...	44
Figura 23 - 3D do modelo composto por elementos frame	47
Figura 24- Elevação do painel da fila B, do primeiro pavimento e do térreo	48
Figura 25 - Planta baixa do pavimento tipo com a disposição das vigas	49
Figura 26 - Disposição dos carregamentos referente a ação do vento	50
Figura 27 - Diferentes disposições do contraventamento em X na elevação H	52
Figura 28 - Diferentes disposições do contraventamento em V na elevação D	53
Figura 29 - Diferentes disposições do contraventamento em X na elevação 3	53
Figura 30 - Diferentes disposições do contraventamento em K na elevação H	54
Figura 31- Disposições do contraventamento em K na elevação 1.....	54
Figura 32 - Indicação dos montantes analisados	56
Figura 33 - Painel paralelo a ação do vento (Elevação D)	58
Figura 34 - Elevação parcial do lado A indicando os perfis da posição 1,2 e 4.....	59
Figura 35 - Elevação parcial do lado A indicando os perfis da posição 3.....	61
Figura 36 – Planta Baixa do painel analisado	62
Figura 37 - Localização dos painéis a serem analisados	64
Figura 38 - Indicação dos perfis analisados por painel	64
Figura 39 – Indicação dos perfis analisados no Painel A contraventado	65
Figura 40- Painel perpendicular ao painel A contraventado.....	66
Figura 41 – Indicação dos perfis analisados no Painel B contraventado	67
Figura 42 – Indicação do perfil analisado no Painel C contraventado.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Revestimento Mínimo.....	16
Tabela 2 - PFF e utilização.....	17
Tabela 3 - Perfil U simples – Dimensões, massas e propriedades geométricas	18
Tabela 4 - Perfil U enrijecido – Dimensões, massas e propriedades geométricas....	18
Tabela 5 - Classificação da Estrutura quanto a deslocamentos laterais	31
Tabela 6 – Deslocamentos Máximos da estrutura do LSF	31
Tabela 7 - Cargas Permanentes adotadas.....	37
Tabela 8 - Cargas Variáveis adotadas	37
Tabela 9 - Fator S2 em função da altura.....	39
Tabela 10 - Velocidade característica do vento (V_k)	39
Tabela 11 - Pressão dinâmica do vento (q).....	40
Tabela 12- Carregamento Final do vento na estrutura $C_i=0,3$ para o vento a 0°	42
Tabela 13- Carregamento Final do vento na estrutura $C_i=0,3$ para o vento a 90°	42
Tabela 14- Carregamento Final do vento na estrutura $C_i=0$ para o vento a 0°	42
Tabela 15 - Carregamento Final do vento na estrutura $C_i=0$ para o vento a 90°	43
Tabela 16- Especificação do Aço dos PFF	43
Tabela 17 - Deslocamentos máximos encontrados em cada modelo	57
Tabela 18 - Deslocamentos máximos encontrados no encontro de painel	57
Tabela 19 - Deslocamentos máximos por modelo	60
Tabela 20 - Deslocamento entre pavimentos do perfil da posição 3	62
Tabela 21 - Resumo Perfis analisados Contraventamento X (Considerando Reduzido e $P\Delta$)	65

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	11
1.1.	Objetivo	13
2.	O SISTEMA <i>LIGHT STEEL FRAMING</i>	14
2.1.	Conceito	14
2.1.1.	Terminologia	14
2.2.	Materiais do LSF	16
2.2.1.	Perfis Formados a Frio (PFF)	16
2.2.2.	Placas OSB (Oriented Strand Board)	18
2.2.3.	Elementos Não Estruturais	19
2.3.	Componentes.....	20
2.3.1.	Painéis Estruturais ou Autoportantes.....	20
2.3.2.	Estrutura de Piso	23
2.3.3.	Travamento Horizontal.....	24
2.4.	Estabilização da estrutura	25
2.4.1.	Instabilidade Global	25
2.4.2.	Fenômenos de Flambagem	27
2.4.3.	Contraventamento	27
2.4.4.	Classificação estrutural quanto à sensibilidade aos deslocamentos laterais ..	30
2.4.5.	<i>Software</i> para a Análise	32
2.5.	Dimensionamento, segundo à ABNT NBR 14762:2010	32
2.6.	Pesquisas existentes.....	32
3.	METODOLOGIA.....	34
3.1.	O Projeto arquitetônico	34
3.2.	Carregamentos	36
3.2.1.	Ações Permanentes	36
3.2.2.	Ações Variáveis	37
3.2.3.	Ações do Vento	38
3.3.	Pré-dimensionamento	43
3.3.1.	Vigas.....	44
3.3.2.	Montantes	46
3.4.	Modelagem no <i>software</i>	47
3.4.1.	Painéis	47
3.4.2.	Modelagem da Laje	49
3.4.3.	Escada e Torre da Caixa de água	49
3.4.4.	Carregamentos no Modelo	49
3.4.5.	Modelagem dos Contraventamentos	51
3.4.6.	Análise dos Modelos.....	55
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
4.1.	Classificação da estrutura quanto aos deslocamentos laterais.....	57
4.1.1.	Verificação no Estado Limite de Serviço.....	59
4.1.2.	Deslocamento Horizontal do edifício em relação à base	60
4.1.3.	Deslocamento Horizontal do edifício entre pavimentos	61

4.1.4. Deformações verticais (flechas) das vigas dos pavimentos.....	63
4.2. Verificação para os Estados Limites Últimos	63
4.2.1. Esforços solicitantes.....	63
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
5.1. Conclusões Gerais	69
5.2. Desenvolvimentos futuros.....	70
REFERÊNCIAS.....	72
APÊNDICE A	75
APÊNDICE B	78
APÊNDICE C	80
APÊNDICE D	89
ANEXO A.....	91

1. INTRODUÇÃO

No século XIX, os Estados Unidos, devido ao crescimento acelerado da população, sofreram uma grande expansão territorial. Para satisfazer a esta demanda, necessitou-se aumentar a produtividade nas construções de novas habitações, sendo buscados sistemas construtivos rápidos e que utilizassem os materiais disponíveis no local, como a madeira. Neste contexto, surgiu o sistema Wood Framing, tornando-se a tipologia de construção mais comum na época (FUTURENG, 2003).

Após a Segunda Guerra Mundial, com o desenvolvimento da indústria, gerou-se um cenário propício para o uso de um novo material, o aço. Segundo Bateman (1998, *apud* MONTEIRO, 2017), nesta época a economia americana teve um grande progresso e um farto crescimento na produção do aço, o que fomentou a substituição da madeira pelas estruturas metálicas, visto que o material somava inúmeras vantagens construtivas, como elevada resistência, elevada ductilidade, possibilidade de canteiros de obra menores, facilidade de reforço e ampliação e, o principal, agilidade na execução. Devido a esses acontecimentos, surgiu o sistema *Light Steel Framing* (LSF) na construção Civil.

O sistema construtivo LSF é constituído basicamente de painéis estruturados por perfis formados a frio, que trabalham em conjunto com placas de diferentes materiais, tais como placas cimentícias e chapas de *Oriented Strand Board* (OSB), resultando, assim, em uma estrutura com função estrutural de construção a seco.

Atualmente, a construção metálica é uma solução técnica comprovadamente viável, sendo empregada abundantemente na construção de edifícios nos países mais desenvolvidos, como os Estados Unidos da América (EUA), Canadá, Japão, Austrália e Reino Unido (VILLELA, 2015). No Brasil, grande parte dos setores possui uma certa resistência à inovação, devido a fatores culturais, além da dificuldade de se encontrar normas atuais e adaptadas ao país. Entretanto, levando-se em consideração as inúmeras vantagens construtivas do aço, a grande industrialização do processo de fabricação e a flexibilização face à reutilização e readaptação, o mercado tem sinalizado pela aceitação do sistema (BARROS, 2017; MONTEIRO, 2017).

Segundo Monteiro (2017), “os perfis formados a frio (PFF) podem ser eficientemente utilizados em galpões de pequeno e médio portes, coberturas, mezaninos, em casas populares e edifícios de pequeno e médio portes”. Mas, devido à espessura reduzida dos perfis utilizados, o sistema tem como um dos principais inconvenientes a elevada suscetibilidade a fenômenos de instabilidade global, que é um dos fatores mais importantes para a concepção estrutural de um edifício, principalmente em edificações de múltiplos pavimentos (IGLESIA, 2016).

Observa-se que em grandes metrópoles é difícil encontrar imóveis térreos, isto porque as cidades estão cada vez mais verticalizadas, sendo esse processo de verticalização uma consequência natural da urbanização e do crescimento demográfico do país. Portanto, neste contexto, torna-se de extrema importância a realização de uma análise da influência dos contraventamentos no sistema LSF para que o sistema possa, além das casas térreas e de dois pavimentos, que é o tipo de edificação onde é mais empregado, se adequar à crescente demanda de verticalização do país.

A estabilidade global na edificação em LSF é, geralmente, proporcionada pelo contraventamento de fitas de aço galvanizado dispostas em diagonais na forma de “X”, “K”, “V” ou “/”, ou pelas chapas em OSB (CRASTO, 2005; RODRIGUES; CALDAS, 2016). Para Bevilaqua (2005), o emprego das chapas OSB no sistema LSF torna o método construtivo perfeitamente aplicável a prédios de até sete pavimentos, enquanto, contando apenas com contraventamento em fitas de aço, pode não ser possível obter a estabilização lateral da estrutura desses prédios. Porém, não foi encontrado na literatura trabalho que analisasse comparativamente a influência das diferentes disposições dos contraventamentos em fitas metálicas, a fim de definir até que ponto pode ser utilizado apenas este tipo de contraventamento de forma eficiente a contribuir para a melhoria da instabilidade global da estrutura.

Sendo assim, será realizada, no presente trabalho, uma análise de um edifício com 4 pavimentos, a partir dos deslocamentos laterais na estrutura e dos esforços solicitantes, a fim de comparar o comportamento da estrutura frente aos diferentes tipos de contraventamentos.

1.1. Objetivo

Como objetivo geral, o presente trabalho almeja analisar e comparar o comportamento estrutural do sistema *Light Steel Framing* frente à influência causada pelas diferentes modulações dos contraventamentos.

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- a) Adaptar e pré-dimensionar o projeto arquitetônico de um edifício pré-existente, projetado para o sistema construtivo convencional de concreto armado, para o sistema *Light Steel Framing*, com base nas normas técnicas pertinentes e com uso de gráficos de pré-dimensionamento;
- b) Elaborar modelos estruturais com diferentes configurações de contraventamento na forma de “X”, “K” e “V”; e
- c) Modelar os diferentes modelos estruturais com seus respectivos carregamentos no *software* SAP 2000 v.20, a fim de analisar os efeitos de 1ª e 2ª ordem para os deslocamentos e esforços internos.

2. O SISTEMA *LIGHT STEEL FRAMING*

2.1. Conceito

O *Light Steel Framing* é um método construtivo de concepção racional, no qual sua principal característica é possibilitar uma grande rapidez de execução, além de possuir estruturas mais leves constituídas por perfis de aço galvanizado de pequena espessura formados a frio, conforme apresentado na Figura 1 (BATISTA, 2011).

Figura 1- Sistema construtivo em *Light Steel Framing*



Fonte: CBCA (2016).

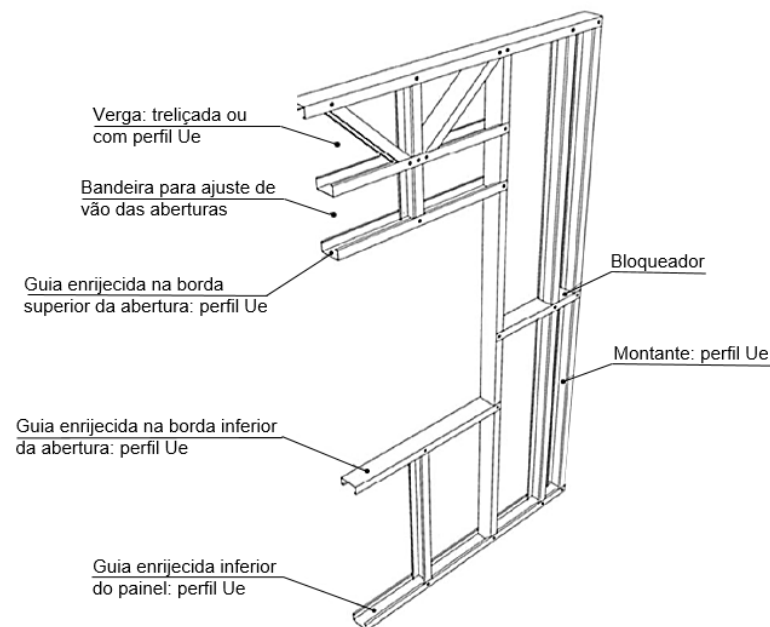
Este sistema traz como principal conceito a divisão da estrutura em uma grande quantidade de elementos estruturais, de forma que cada elemento resista a uma pequena parcela da carga total aplicada, proporcionando uma distribuição uniforme das cargas na fundação (REGO, 2012; MONTEIRO, 2017).

2.1.1. Terminologia

Para poder analisar e compreender os aspectos referentes à estrutura do sistema LSF é importante definir os vários elementos que o compõe. A seguir, são apresentadas as terminologias, de acordo com o Manual de Construção do Aço de *Steel Framing* Engenharia, do CBCA (2016) e identificadas na Figura 2:

- Bloqueador (*bloocking*): perfil utilizado horizontalmente no travamento lateral de montantes e vigas;
- Guia (*track*): perfil utilizado como base e topo dos painéis de parede e no encabeçamento das vigas;
- Montante (*stud*): perfil utilizado verticalmente na composição de painéis e de parede;
- Ombreira (*jack stud*): perfil utilizado na base e no topo dos painéis de parede e no encabeçamento das vigas;
- Perfil enrijecedor de alma (*web stiffener*): perfil utilizado verticalmente no apoio de vigas;
- Cabeceira/Verga (*header*): perfil utilizado horizontalmente sobre as aberturas para suporte da estrutura;
- Viga (*joist*): perfil utilizado horizontalmente para transferir forças;
- Fita (*flat strap*): fita de aço galvanizada utilizada na horizontal ou na diagonal como elemento de contraventamento.

Figura 2 - Componentes de painel de parede utilizando perfil Ue



Fonte: ABNT NBR 15 253:2014.

2.2. Materiais do LSF

Nos itens a seguir, estão apresentados os materiais que compõe o sistema *Light Steel Framing*.

2.2.1. Perfis Formados a Frio (PFF)

As estruturas metálicas são compostas por duas famílias de elementos estruturais: uma constituída pelos perfis laminados e soldados e a outra composta por perfis formados a frio (CRASTO, 2005). Os perfis estruturais de aço formado a frio são obtidos através do dobramento, em prensas dobradeira, ou por conformação contínua em conjunto de matrizes rotativas (perfilagem), a partir de bobinas laminadas a frio ou a quente, revestidas ou não (ABNT NBR 6355:2012).

Para o *Light Steel Framing*, os perfis metálicos geralmente são obtidos por perfilagem, a partir de bobinas de aço Zincado de Alta Resistência (ZAR). Estes perfis são revestidos com zinco ou liga de alumínio-zinco, pelo processo contínuo de imersão a quente, com massas mínimas de revestimento, conforme Tabela 1 (RODRIGUES; CALDAS, 2016).

Tabela 1 - Revestimento Mínimo

Tipo de Revestimento	Perfis Estruturais	
	Massa mínima do revestimento ¹ (g/m ²)	Denominação do revestimento, conforme as seguintes normas
Zincado por imersão a quente	275 (ABNT NBR 7008-1)	Z275
Alumínio-zinco por imersão a quente	150 (ABNT NBR 15578)	AZ150

(1) A massa mínima refere-se ao total nas duas faces

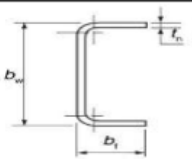
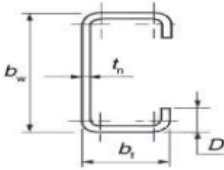
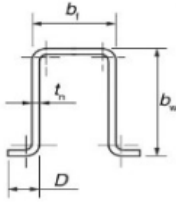
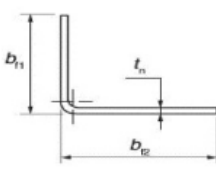
Fonte: ABNT NBR 15253:2014.

Incluindo o revestimento, a espessura nominal (t_n) das chapas não deve ser inferior a 0,80mm (ABNT NBR 15253:2014).

Segundo Rodrigues e Caldas (2016), a resistência de um perfil de aço depende da sua espessura, dimensão, forma e limite de elasticidade, sendo que o limite de escoamento do perfil de aço zincado não deve ser inferior a 230 MPa.

As seções dos perfis mais utilizados na construção civil, bem como, suas aplicações são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - PFF e utilização

Seção Transversal	Denominação (ABNT NBR 6355)	Utilização
	U simples $bw \times bf \times tn$	Guia Ripa Bloqueador Guia de entrepiso
	U enrijecido $bw \times bf \times D \times tn$	Bloqueador Enrijecedor de alma Montante Verga Viga Terça Guia enrijecida
	Cartola $bw \times bf \times D \times tn$	Ripa
	Cantoneira de abas desiguais $L \text{ } bf1 \times bf2 \times tn$	Cantoneira

Fonte: ABNT NBR 15253:2014.

O perfil U é comumente utilizado como guias. Possui alma (b_w) e mesa (b_f), porém não possui borda (D), que está presente nos montantes que são compostos por perfis U enrijecidos (U_e), a fim de permitir o encaixe destes na guia (CRASTO, 2005). Já os perfis do tipo Cantoneira de abas desiguais são usados em conexões de elementos que não são adequados ao uso do perfil U enrijecido, enquanto a seção cartola é usada como ripas de telhado, a fim de reduzir o comprimento de flambagem das diagonais das tesouras e dar estabilidade ao contraventá-las (BARROS, 2017).

No Brasil, as dimensões comerciais seguem o padrão de medidas recomendadas pela ABNT NBR 15253:2014, com as dimensões da alma podendo variar entre 90, 140 e 200mm, e as mesas entre 39 e 40mm. A Tabela 3 apresenta as propriedades geométricas dos perfis U, enquanto a Tabela 4 apresenta as propriedades dos perfis U_e . Ambas apresentam os perfis mais utilizados em estruturas de painéis reticulados para edificações até dois pavimentos.

Tabela 3 - Perfil U simples – Dimensões, massas e propriedades geométricas

Perfil			Dimensões				Eixo X					Eixo Y					
U	m kg/m	A cm²	bw mm	br mm	ln mm	ri mm	lx cm4	Wx cm3	rx cm	xg cm	xo cm	ly cm4	Wy cm3	ry cm	It cm4	Cw cm3	ro 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	5,26	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	5,47	1,07	0,0181	304,73	7,35

NOTA Espessura do revestimento metálico considerado no cálculo tr=0,036mm

Fonte: ABNT NBR 15253:2014.

Tabela 4 - Perfil U enrijecido – Dimensões, massas e propriedades geométricas

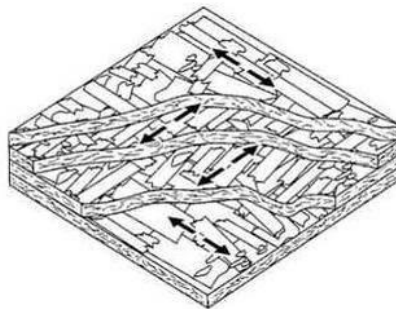
Perfil			Dimensões						Eixo X					Eixo Y					
Ue	kg/m	A cm²	bw mm	br mm	D mm	ln mm	t mm	ri mm	lx cm⁴	Wx cm³	rx cm	xg cm	xo cm	ly cm⁴	Wy cm³	ry cm	It cm⁴	Cw cm³	ro cm
90 x 39 x 12 x 0,80	1,12	1,43	90	39	12	0,80	0,764	0,80	18,57	4,13	3,61	1,27	3,12	3,14	1,20	1,48	0,0028	56,32	4,99
90 x 39 x 12 x 0,95	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	7,8
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 39 x 12 x 0,80	1,13	1,44	90	40	12	0,80	0,764	0,80	18,88	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 considerado no cálculo tr=0,036mm

Fonte: NBR 15253:2014.

2.2.2. Placas OSB (Oriented Strand Board)

As chapas de madeira orientadas, conhecidas como OSB, Figura 3, são chapas estruturais concebidas a partir de fibras dispostas em, no mínimo, três camadas perpendiculares entre si, unidas com resinas e prensadas sob altas temperaturas, aumentando sua resistência mecânica (MENDES, 2015).

Figura 3 - Orientação das fibras de madeira de uma chapa OSB

Fonte: Bevilacqua, 2005.

Devido a suas propriedades de resistência, a placa de OSB pode ser utilizada como fechamento vertical nos painéis, forros, pisos e como substratos para a cobertura do telhado, além de trabalhar como um diafragma rígido, quando aplicada aos painéis estruturais e lajes de piso (RODRIGUES; CALDAS, 2016).

As dimensões usuais para as chapas de OSB, no Brasil, são de 1,20 metros de largura, podendo variar o comprimento entre 2,5 e 3,0 metros, com espessuras de 9,0mm, 12,0mm, 15,0mm e 18,0mm.

Por ainda não existir uma norma da ABNT que padronize as placas de OSB, os fabricantes utilizam a norma portuguesa NP-EN 300/2006, que define cada uma das 4 classes de OSB em função do respectivo ambiente de utilização e das respectivas características mecânicas e propriedades físicas:

- 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; e
- OSB/4 - Placas para elevado desempenho estrutural em ambiente úmido.

No sistema do LSF, apenas as duas últimas classes podem ser usadas, sendo comum a aplicação de OSB/3 (FUTURENG, 2015).

2.2.3. Elementos Não Estruturais

Além dos materiais fundamentais para a estrutura do LSF (PFF e o OSB), o sistema também é composto por materiais com funções não estruturais, tais como preenchimento, vedação e até mesmo complemento de isolamento termo acústico (BARROS, 2017). A seguir, são apresentados os principais exemplos, bem como sua função dentro do sistema:

- Lã de rocha: utilizada como isolante termo acústico;
- Placas cimentícias: vedação vertical/ revestimento externo; e
- Gesso acartonado: revestimento interno e separação de ambientes.

2.3. Componentes

Os painéis em LSF são compostos por montantes, travamentos intermediários, guias e, em alguns casos, vergas e contraventamentos. Possuem um esqueleto estrutural feito de aço, formado por diversos elementos individuais (perfis de aço galvanizado formados a frio) ligados entre si que, em conjunto, resistem às cargas de dimensionamento.

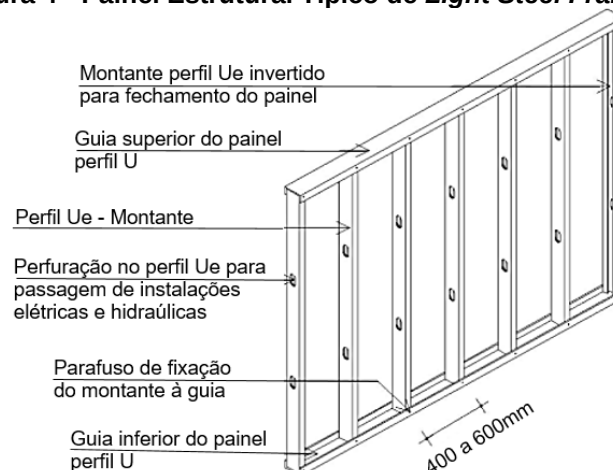
Pode-se dividir o sistema em dois subgrupos: os horizontais e os verticais. Os subsistemas horizontais são responsáveis por receber e transmitir as cargas de pisos e tetos para os subsistemas verticais e, os subsistemas verticais, dos painéis que compõem as paredes com ou sem função estrutural (RODRIGUES; CALDAS, 2016).

Considerando que as características (geométricas e funcionais) dos edifícios são bastante influentes no comportamento global da estrutura, é essencial o conhecimento do comportamento individual de cada elemento (MENDES, 2015).

2.3.1. Painéis Estruturais ou Autoportantes

Os painéis estruturais têm a função de absorver os esforços e transmiti-los à fundação. Eles estão sujeitos a cargas horizontais de vento ou de abalos sísmicos, no caso de países como Estados Unidos e Japão, bem como às cargas verticais exercidas pelo peso próprio da estrutura, de componentes construtivos e da sobrecarga devido à utilização (pessoas, móveis, máquinas, águas pluviais, etc) (CRASTO, 2005). A Figura 4 apresenta a principal composição dos painéis em que, apesar de haver uma ligação entre guias e montantes, não há qualquer garantia de engastamento durante o dimensionamento (REGO, 2012).

Figura 4 - Pannel Estrutural Típico de *Light Steel Framing*



Fonte: Crasto, 2005.

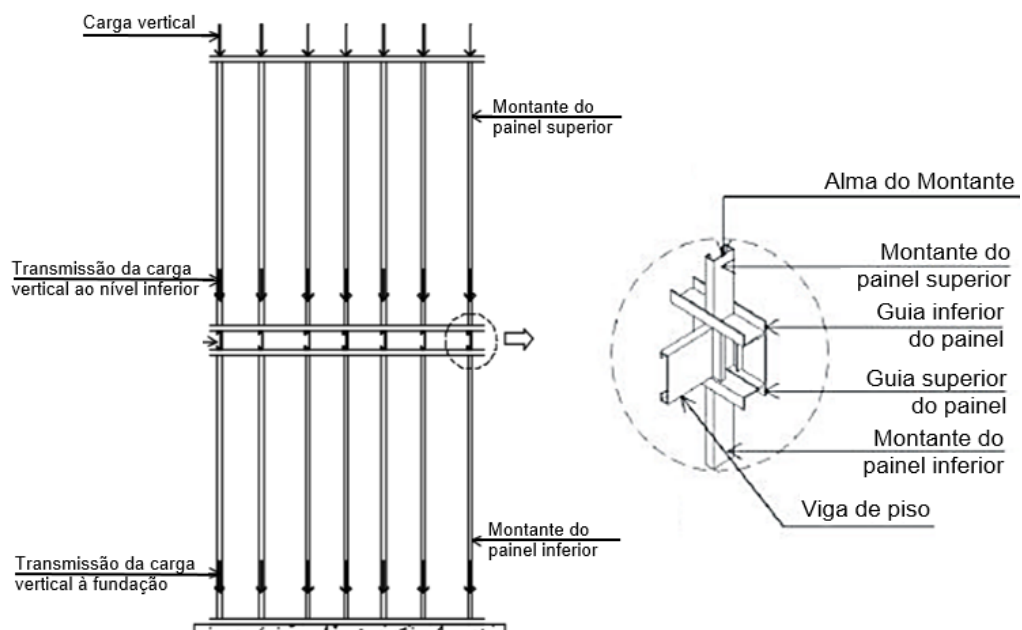
2.3.1.1. Guias

As guias são compostas pelos perfis U ou Ue, que formam a base e o topo dos painéis de parede, de piso e de cobertura, conforme é apresentado na Figura 5. Geralmente não transmitem nem absorvem os esforços, sendo isto feito pelos montantes, vigas e eventualmente pilares presentes na estrutura. Tanto nas guias das paredes internas quanto das externas, o dimensionamento é realizado para solicitação de compressão (CRASTO, 2005; RODRIGUES; CALDAS, 2016).

2.3.1.2. Montantes

Os montantes têm como função principal transferir as cargas verticais por contato direto através de suas almas, estando suas seções em coincidência de um nível a outro, de forma a permitir somente a transferência de esforços axiais, conforme demonstrado na Figura 5 (PRUDENCIO, 2013 p.24).

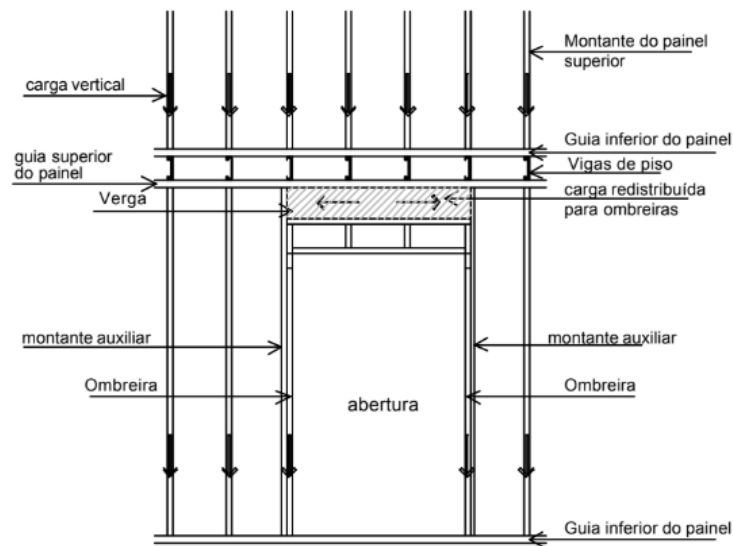
Figura 5 - Distribuição do Carregamento à Fundação



Fonte: Crasto, 2005.

Além das guias e montantes, os painéis estruturais podem ainda ser compostos por vergas e ombreiras, quando houver abertura, conforme Figura 6.

Figura 6 - Distribuição de esforços através de vergas para ombreiras



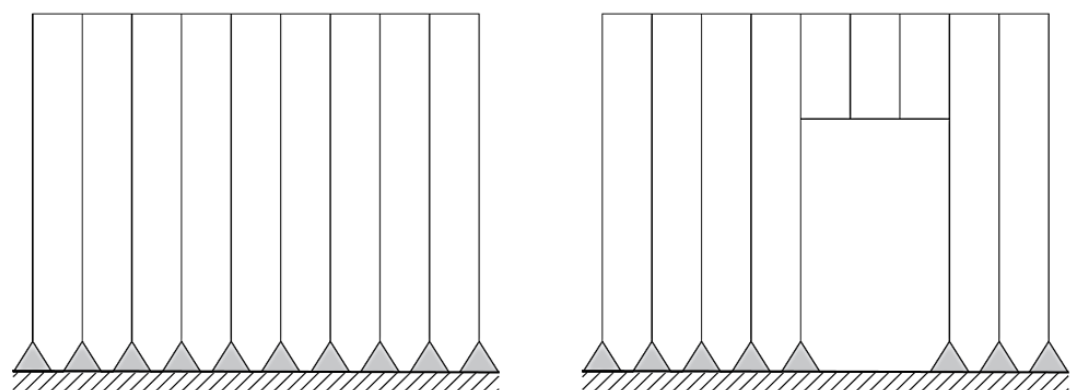
Fonte: Crasto, 2005.

Para manter o conceito de estrutura alinhada, deve-se considerar que os centróides das seções transversais dos montantes e vigas alinhados não se distanciem mais do que 19mm entre si, em projeção horizontal (RODRIGUES; CALDAS, 2016).

Os montantes são constituídos por perfis Ue e apresentam espaçamento máximo entre si de 400 a 600mm. Nos casos em que ocorre dos painéis suportarem grandes cargas, como as caixas d'água, essa modulação pode chegar a 200mm (SANTIAGO; FREITAS; CRASTO, 2012).

Na análise estrutural, os montantes podem ser considerados como rotulados em suas extremidades, conforme Figura 7.

Figura 7 - Modelo Teórico de Painéis Estruturais



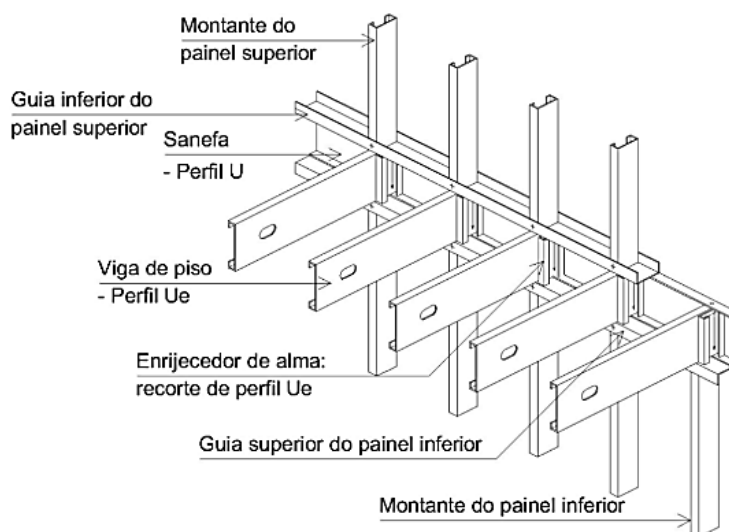
Fonte: Rodrigues e Caldas, 2016 (adaptado pelo Autor).

Segundo Rodrigues e Caldas (2016), o dimensionamento dos montantes deverá ser à compressão ou à tração, atuando isoladamente para as paredes internas. Nas paredes externas, o dimensionamento deverá ser à flexão composta, devido às forças axiais solicitantes de tração e de compressão simultaneamente, levando em conta a direção e o sentido da ação do vento.

2.3.2. Estrutura de Piso

A estrutura de piso em *Light Steel Framing*, conforme apresentado na Figura 8, segue o mesmo princípio dos painéis formados por guias e montantes, ou seja, perfis galvanizados cuja separação equidistante dos elementos estruturais ou modulação é determinada pelas cargas a que cada perfil está submetido. Normalmente este espaçamento entre as vigas é dado em função do espaçamento entre os montantes.

Figura 8 - Estrutura de Piso em LSF



Fonte: ABNT NBR 15253:2014.

As mesas das vigas, geralmente, possuem as mesmas dimensões das mesas dos montantes. Porém, a altura da alma é determinada por vários fatores, entre eles a modulação da estrutura e o vão entre os apoios, resultando em perfis de menor altura (CRASTO, 2005).

As vigas, no sistema LSF, normalmente são calculadas como biapoiadas, com painéis de entrepisos do tamanho de cada um dos ambientes internos da estrutura. Seu dimensionamento é feito com base em tal consideração, acarretando

em momentos positivos elevados no centro do vão e a inexistência de momentos negativos. Uma alternativa bastante utilizada para diminuir o momento fletor no centro são as vigas contínuas (RODRIGUES; CALDAS, 2016; BEVILAQUA, 2005).

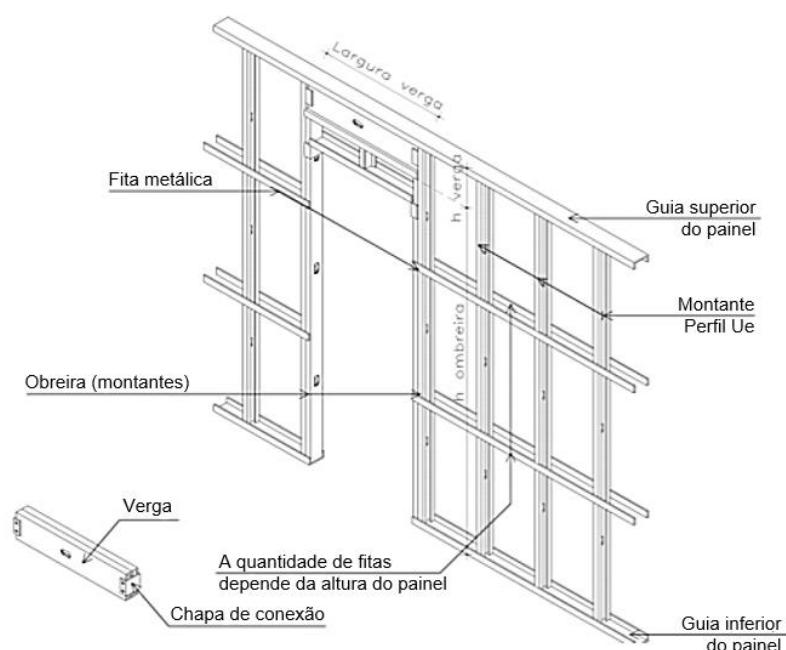
Tanto as vigas biapoiadas quanto as contínuas devem ser dimensionadas ao momento fletor, à força cortante e à combinação destes dois. Devido à solicitação dos esforços do vento, deverão, ainda, ser consideradas as forças axiais de compressão ou de tração.

2.3.3. Travamento Horizontal

Os painéis ainda podem ser compostos por fitas de aço galvanizado e bloqueadores, ambos responsáveis pelo travamento horizontal dos montantes, vigas e coberturas, a fim de aumentar sua resistência (PRUDENCIO, 2013).

A fita metálica tem como principal função evitar a rotação dos montantes, quando sujeitos a carregamentos normais de compressão. Quando combinada com os bloqueadores, diminui o comprimento efetivo de flambagem dos montantes em relação ao comprimento do perfil e impede a flambagem lateral com torção nas vigas, ver Figura 9 (RODRIGUES; CALDAS, 2016). Deve possuir, no mínimo, 38mm de largura e 0,80mm de espessura nominal e estar localizada a meia altura dos painéis de até 2,50m e a cada 1,00m, aproximadamente, para painéis de 2,75m e 3,00m (CRASTO, 2005).

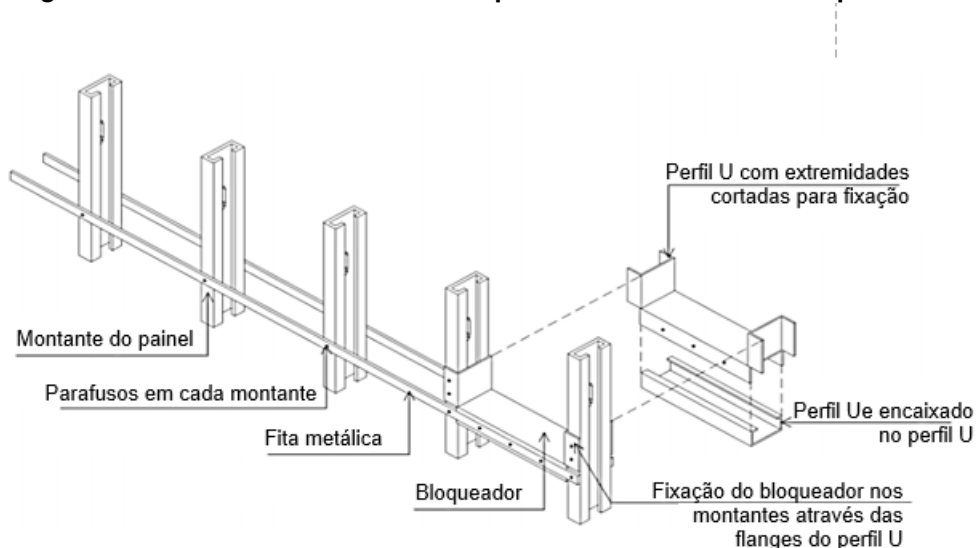
Figura 9 - Fita Metálica para travamento de painel



Fonte: Crasto, 2005.

Os bloqueadores são peças formados por perfis Ue e U simples, posicionados entre os montantes e vigas. Devem possuir as mesmas dimensões b_w e b_f do perfil dos montantes, quando instalados no painel de parede, ver Figura 10, e das vigas, quando em painel de piso.

Figura 10 - Travamento Horizontal do painel através de Fitas bloqueadores



Fonte: Crasto, 2005.

Os bloqueadores devem estar localizados sempre na extremidade dos painéis e espaçados no máximo 3600mm, coincidindo suas mesas com as fitas de aço.

2.4. Estabilização da estrutura

Para Mendes (2015), o uso dos perfis com espessuras reduzidas tem como um dos principais inconvenientes a elevada suscetibilidade a fenômenos de instabilidade global. Portanto, ao optar pelo *Light Steel Framing*, um dos aspectos aos quais se deve atentar, na análise estrutural, refere-se à estabilização da estrutura.

2.4.1. Instabilidade Global

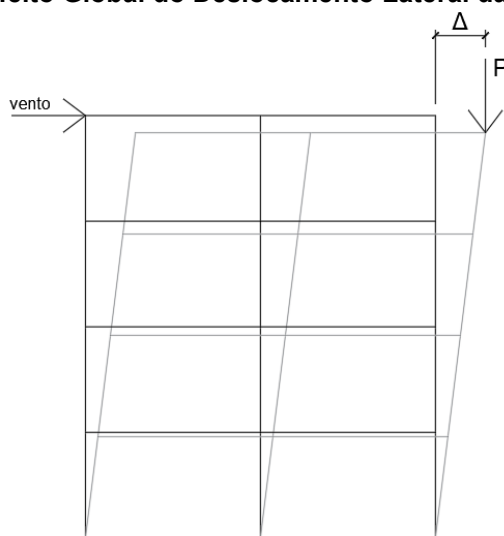
Um dos mais importantes fatores para a concepção estrutural de um edifício é a verificação da instabilidade global através de uma análise de 2ª ordem, a fim de garantir a segurança da estrutura ante a perda de sua capacidade resistente, causada pelo aumento das deformações em decorrência das ações (IGLESIA, 2016).

A ABNT NBR 8800:2008 prevê que os efeitos dos deslocamentos e os esforços internos podem ser determinados por uma análise linear (teórica de primeira

ordem), com base na geometria indeformada da estrutura e por uma análise não linear, com base na geometria deformada da estrutura.

Nos edifícios existem solicitações de cargas verticais e horizontais, nos quais as cargas horizontais são produzidas pelo vento ou abalos sísmicos e geram deslocamentos laterais nos pavimentos, ou seja, nos nós da estrutura que se deslocam horizontalmente, conforme Figura 11.

Figura 11 - Efeito Global do Deslocamento Lateral da Estrutura $P\Delta$



Fonte: IGLESIA, 2016 (adaptado pelo autor).

Uma estrutura solicitada por cargas e outras ações sofre deformações que irão caracterizar a sua configuração deformada. As cargas verticais geram momentos adicionais iguais à soma da carga vertical “P” multiplicada pelos deslocamentos laterais “Delta”, sendo os esforços de 2ª ordem decorrentes desses deslocamentos e denominados efeitos $P-\Delta$ para os efeitos globais, decorrentes dos deslocamentos horizontais dos nós da estrutura e, $P-\delta$ para os efeitos locais, quando são decorrentes da não linearidade dos eixos das barras (IGLESIA, 2016; ABNT NBR 6118:2014; ABNT NBR 8800:2008).

Portanto, o coeficiente $P-\Delta$ é uma maneira de avaliar a influência dos esforços de segunda ordem em relação aos de primeira. Na determinação desses efeitos, deve ser considerado o comportamento não linear dos materiais sempre quando os deslocamentos afetarem de forma significativa os esforços internos.

A magnitude do efeito $P\Delta$ está relacionada com a magnitude da carga axial (P), da rigidez e esbeltez global da estrutura e da esbeltez dos elementos individuais, sendo que quanto mais esbelta for a peça, maior será a importância de sua consideração.

2.4.2. Fenômenos de Flambagem

Os perfis utilizados nos painéis do LSF são elementos cuja seção transversal é bem menor que o comprimento e a espessura é consideravelmente menor que a largura. Portanto, tem-se uma peça esbelta em que a flambagem é considerada como um dos fenômenos críticos no comportamento estrutural, podendo flambar em níveis de tensões menores que aquele correspondente à resistência ao escoamento do material, quando sujeitos à compressão, cisalhamento, flexão ou uma interação entre os mesmos (MONTEIRO, 2017; RODRIGUES; CALDAS, 2006).

De acordo com Silva (2008), os estados limites últimos das barras de seção transversal aberta, formadas por chapas de aço a serem considerados no dimensionamento, frequentemente estão associados à instabilidade local, distorcional ou global.

2.4.3. Contraventamento

“É possível identificar, dentro da estrutura, uma subestrutura que, devido à sua grande rigidez e ações horizontais resistem à maior parte dos esforços decorrentes dessas ações” (NBR 6118:2014, p. 103). Essas subestruturas são designadas usualmente por contraventamento.

As cargas horizontais que solicitam a edificação podem ocasionar a perda da estabilidade da estrutura, causando deslocamento e, até mesmo, levando ao colapso. No LSF apenas com montantes, a estrutura não consegue resistir aos esforços horizontais em que é solicitada. Assim, os painéis devem possuir outros elementos capazes de resistir e transmitir estes esforços às fundações sem comprometer o sistema alinhado (CRASTO, 2005).

Geralmente, neste sistema a estabilidade global é proporcionada pelo contraventamento em fitas de aço, apresentado na Figura 12, com a função de resistir apenas à força axial de tração, dispostas em diagonais na forma de Λ , V, X ou K nos painéis estruturais (RODRIGUES; CALDAS, 2016).

Figura 12 - Diagonais de Contraventamento do Sistema LSF

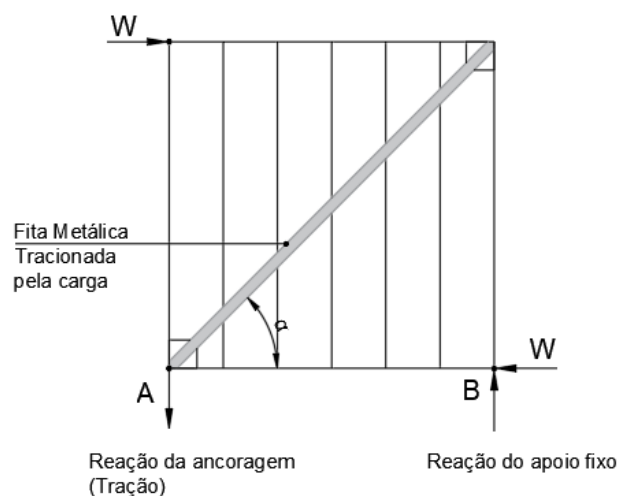


Fonte: SANTOS (2013).

O uso desses contraventamentos ao longo dos painéis garante uma maior rigidez às ações horizontais, visto que diminui o comprimento de flambagem destes montantes, além de aumentar a capacidade de dissipar energia proveniente de sismos (SANTIAGO, 2012).

“Um painel submetido a uma força lateral W , como a ação do vento sobre a parede perpendicular a este painel, representado na Figura 13, tende a deslocar o painel de forma horizontal e rotacioná-lo em torno do ponto B” (BEVILAQUA, 2005 p.44).

Figura 13 - Esforços devido as cargas laterais



Fonte: IAS, 1997 *apud* BEVILAQUA, 2005 (adaptado pelo autor).

Ao utilizar uma diagonal de fita metálica, considerando uma ancoragem no ponto “A”, a fim de absorver os esforços transmitidos pelo contraventamento, é

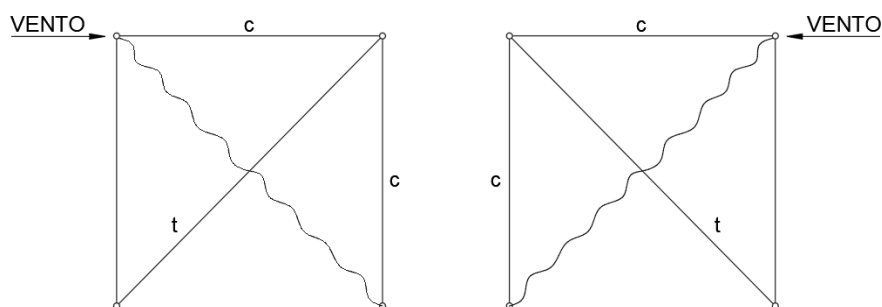
possível evitar os efeitos de rotação e deslocamentos, impedindo a deformação do painel em seu plano (BEVILAQUA, 2005).

A capacidade do contraventamento em resistir aos esforços horizontais é influenciada pelo ângulo entre a diagonal e a base do painel, α , que deve se situar entre 30° e 60°, pois, à medida que o ângulo diminui, menor é a tensão na fita metálica e, portanto, a capacidade de absorver as deformações acaba sendo comprometida, perdendo assim sua função principal. Ângulos superiores a 60° também não são eficientes, pois, à medida que aumenta o ângulo, aumenta a tração e, também, a reação de ancoragem no piso, sendo necessárias fitas de ancoragem com seções maiores para resistir às forças axiais de tração que serão submetidas (CRASTO, 2005; BEVILAQUA, 2005).

A largura, espessura e localização das fitas são definidas pelo projeto estrutural, sendo dimensionadas de tal modo a transmitir o esforço de tração que resulta da decomposição da carga horizontal de vento atuante na direção da diagonal (Consul Steel, 2002 *apud* CRASTO, 2005; BEVILAQUA, 2005).

As diagonais serão solicitadas ora à tração, ora à compressão, de acordo com o sentido da aplicação da força do vento como representado na Figura 14.

Figura 14 - Solicitação das diagonais de contraventamento



Fonte: Crasto, 2005 (Adaptado pelo autor).

O método mais comum de estabilização do sistema é o contraventamento em X. Quando o uso do contraventamento em X não é o mais apropriado, devido ao projeto arquitetônico prever mais aberturas em uma fachada do que parede sólida, uma alternativa é o contraventamento em K (CRASTO, 2005).

Neste sistema, além das fitas metálicas, podem ser utilizados os próprios perfis formados a frio, fixados entre os montantes, com disposição em K, Figura 15, sendo que esses elementos funcionam tanto à tração como à compressão (diferente no método tradicional da fita metálica em X que só resiste à tração), formando junto

com os montantes adjacentes uma treliça vertical. Segundo Davies (1999, *apud* Crasto, 2005, p.53), “as principais dificuldades nesse tipo de sistema são as condições de suas conexões, a necessidade de montantes adjacentes mais robustos em painéis a sotavento e significativas excentricidades que podem ser geradas nos painéis”. Por esses motivos, esse sistema só é usado quando o contraventamento em X não é possível.

Figura 15 - Contraventamento em K



Fonte: Leite, 2014.

Mesmo com o contraventamento, irão aparecer deslocamentos horizontais em pórticos como os formados pela estrutura do LSF, pois as diagonais também irão se deformar axialmente. Entretanto, como a deformação axial de uma barra usual de uma estrutura é muito menor que as deformações transversais por flexão, os deslocamentos horizontais são muito menores quando se projeta esta estrutura contraventada.

2.4.4. Classificação estrutural quanto à sensibilidade aos deslocamentos laterais

A classificação das estruturas quanto à sensibilidade aos deslocamentos laterais é prevista na ABNT NBR 8800:2008, a qual as classifica em pequena, média ou grande deslocabilidade em relação à razão entre a análise de 2ª ordem, $P-\Delta$ e a análise de 1ª ordem para os deslocamentos entre os andares, utilizando combinações em ELU. Esta classificação está apresentada na Tabela 5.

Tabela 5 - Classificação da Estrutura quanto a deslocamentos laterais

Classificação	Condição
Pequena deslocabilidade	$P-\Delta/X \leq 1,1$
Média deslocabilidade	$1,1 < P-\Delta/X \leq 1,4$
Grande deslocabilidade	$P-\Delta/X \geq 1,4$

Fonte: ABNT NBR 8800:2008 (adaptado pelo Autor).

Para a obtenção dos deslocamentos, deve-se escolher a combinação que, além de gerar forças horizontais, resulte na maior força gravitacional. Não é necessário para a análise da classificação, quanto à sensibilidade aos deslocamentos laterais, considerar as imperfeições iniciais do material.

A ABNT NBR 14762:2010 apresenta os deslocamentos máximos, Tabela 6, requeridos para situações usuais nas construções, utilizados para verificação do estado-limite de serviço de deslocamentos excessivos na estrutura.

Tabela 6 – Deslocamentos Máximos da estrutura do LSF

Descrição	δ^a
Travessas de fechamento	$L/180^b$ $L/120^{cd}$
Terças de Cobertura ^g	$L/180^e$ $L/120^f$
Viga de Cobertura ^g	$L/250^h$
Viga de Piso	$L/350^h$
Vigas que suportam pilares	$L/500^{hj}$
Galpões em geral e edifícios de um pavimento	$H/300$
- Deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base	$H/400^i$
- Deslocamento horizontal do nível da viga de rolamento em relação à base	
Edifícios de dois ou mais pavimentos	$H/400$
- Deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base	$h/500^i$
- Deslocamento horizontal relativo entre dois pisos consecutivos	

^a L é o vão teórico entre os apoios ou o dobro de comprimento teórico do balanço, H é a altura total do total do pilar (distância do topo à base) ou a distância do nível da viga de rolamento à base

^b Deslocamento paralelo ao plano do fechamento (entre linhas de tirantes, caso eles existam)

^c Deslocamento perpendicular ao plano de fechamento

^d Considerar apenas as ações variáveis perpendiculares ao plano de fechamento (vento no fechamento) com seu valor característico

^e Considerar combinações raras de serviço, utilizando-se as ações variáveis de mesmo sentido que o da ação permanente

^f Considerar apenas as ações variáveis de sentido oposto ao da ação permanente (vento de sucção) com seu valor característico

^g Deve-se também evitar a ocorrência de empoçamento, com atenção especial aos telhados de pequena declividade

^h Caso haja paredes de alvenaria sobre ou sob uma viga, solidarizadas com essa viga, o deslocamento vertical também não deve exceder 15mm

ⁱ O diferencial do deslocamento horizontal entre pilares do pórtico que suportam as vigas de rolamento não pode superar 15mm

^j Tomar apenas o deslocamento provocado pelas forças cortantes no andar considerado, desprezando-se os deslocamentos de corpo rígido pelas deformações axiais dos pilares e vigas

Fonte: ABNT NBR 14762:2010 (Adaptado pelo Autor).

2.4.5. *Software* para a Análise

A fim de otimizar a análise dos deslocamentos, bem como dos esforços solicitantes, optou-se por utilizar o *software* SAP2000 v.20, que é um programa computacional que trabalha com elementos finitos e permite análises de primeira e segunda ordem em pórticos espaciais.

2.5. Dimensionamento, segundo à ABNT NBR 14762:2010

No Brasil, a norma utilizada para o dimensionamento de estruturas como o *Light Steel Framing* é a ABNT NBR 14762:2010, fundamentada no método dos estados-limites e elaborada com base nas prescrições da norma AISI S100-12, incluindo algumas recomendações do Eurocode 3 (EM 1993-1:2005). Este método utiliza um processo de verificação no qual a estrutura é analisada em várias situações extremas, subdivididas nos estados-limites últimos e estados-limites de utilização.

Como o intuito deste trabalho não é dimensionar a estrutura, mas sim analisar e comparar o comportamento dos diferentes tipos de contraventamentos, não será realizada a verificação dos esforços internos de cálculo. Será apenas realizada uma análise comparativa dos esforços internos solicitantes encontrados em cada um dos modelos.

2.6. Pesquisas existentes

Em sua dissertação, Bevilaqua (2005) realizou análises lineares e não-lineares nos modelos, considerando o efeito P-Delta e o efeito diafragma proporcionado pelo enrijecimento dos painéis de parede com chapas de OSB. Ao final, concluiu que o emprego das placas de OSB torna o sistema LSF perfeitamente aplicável a prédios de até sete pavimentos, visto que, contando apenas com contraventamento em fitas de aço, pode não ser possível obter a estabilização lateral da estrutura desses prédios.

O desempenho estrutural do sistema LSF também foi avaliado por Rego (2012), no qual criou 3 modelos com diferentes sistemas de contraventamento e condições de apoio de vigas submetidos às várias combinações de ações previamente consideradas, a fim de realizar uma série de análises através do método de elementos finitos (MEF) e comparar as diferentes modulações com os resultados encontrados. Uma das conclusões que Rego (2012) obteve em sua dissertação foi

que se deve considerar os efeitos de diafragma dos painéis, devido a chapa OSB, já que estes afetam significativamente o comportamento estrutural do edifício. Mas, independentemente da consideração da chapa OSB, o modelo estrutural de 4 pavimentos exibiu ótimo comportamento estrutural, “apresentando deslocamentos reduzidos na ação sísmica e uma margem significativa para que possa, de forma econômica, ser dimensionado para ações sísmicas mais exigentes” (REGO, 2012, p.23).

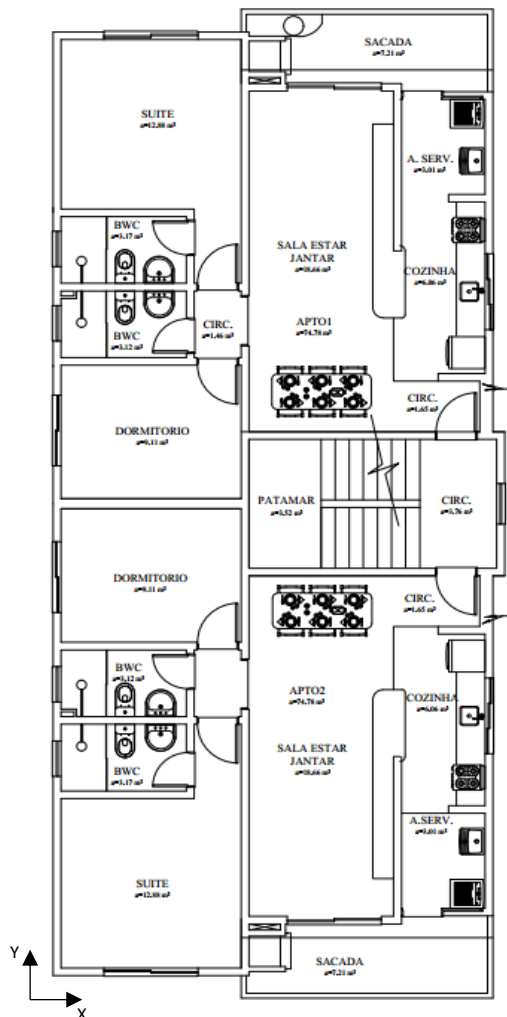
3. METODOLOGIA

Nos itens a seguir, serão apresentadas todas as etapas e procedimentos realizados para atingir os objetivos propostos do presente trabalho.

3.1. O projeto arquitetônico

O projeto arquitetônico utilizado para a análise foi o de um edifício residencial já existente, projetado para o sistema construtivo convencional de concreto armado. Para fins acadêmicos, foi utilizado apenas o pavimento tipo, contendo dois apartamentos por pavimento, apresentado na Figura 16.

Figura 16 - Projeto Arquitetônico Pavimento Tipo s/ Escala



Fonte: Elaboração própria (2019).

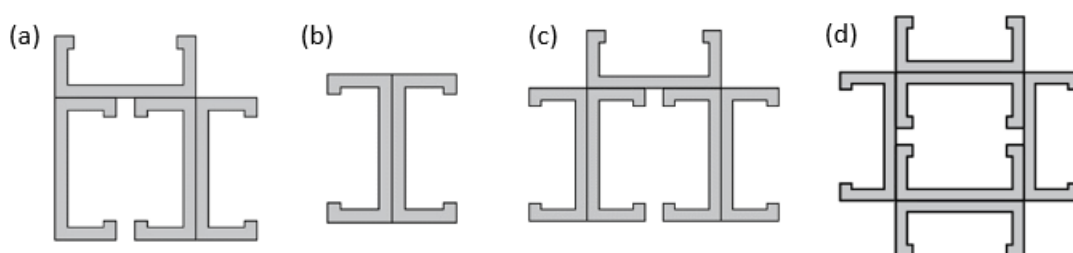
Para poder analisar o comportamento dos contraventamentos é necessário que a edificação possua uma influência considerável das ações do vento. Rego (2012)

apresentou em sua dissertação um modelo de 4 pavimentos com ótimo comportamento estrutural, independente da consideração ou não da chapa OSB para contribuição da estabilização da estrutura. Sendo assim, definiu-se para este estudo o modelo com 4 pavimentos, a fim de obter resultados significativos com às ações do vento.

Após a definição do projeto, foi realizada uma adaptação para enquadrá-lo na modulação básica do sistema *Light Steel Framing*, de acordo com os procedimentos e detalhes construtivos descritos no Manual do Aço *Steel Framing*, disponibilizado pelo CBCA.

Os montantes foram dispostos com modulações de 40 centímetros e, para os encontros de painéis, utilizou-se perfis compostos que foram padronizados, conforme apresentado na Figura 17, a fim de facilitar a modelagem da estrutura no *software*.

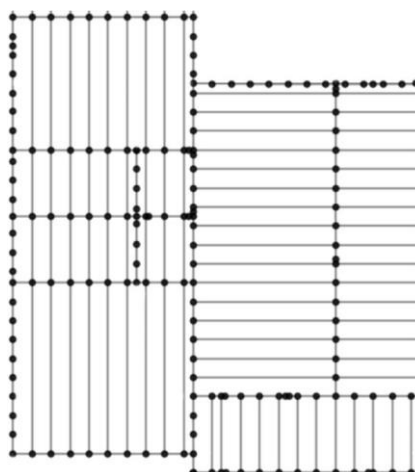
Figura 17- Perfis compostos para encontro de painéis



Fonte: Elaboração própria (2019).

As vigas mantiveram a modulação dos montantes, posicionadas de modo a reduzir o vão livre e não ultrapassar o comprimento de 4,00 metros. Na Figura 18 está representada a disposição das vigas para cada um dos apartamentos tipo.

Figura 18- Disposição das vigas por apartamento



Fonte: Elaboração própria (2019).

O projeto final utilizado para a concepção deste trabalho, com suas respectivas dimensões e elevações dos painéis (sem os contraventamentos), encontra-se no Apêndice A.

O projeto arquitetônico foi elaborado de tal forma a facilitar e otimizar tempo na modelagem no SAP 2000, partindo dos princípios apresentados por Rodrigues e Caldas (2016), em conjunto com a NBR 14762:2010. Portanto, o projeto não foi desenvolvido visando à otimização do consumo de aço, nem ao enquadramento da edificação dentro das normas vigentes do plano diretor da cidade ou do corpo de bombeiros. Para isso seria necessário fazer um estudo mais aprofundado, a fim de manter a modulação, a concepção de estrutura alinhada e satisfazer as normas redigidas pelos respectivos órgãos.

3.2. Carregamentos

Para proceder à análise dos modelos propostos, foram definidas todas as ações necessárias, conforme as recomendações da ABNT NBR 6120:1980, que as dividem em permanentes (g) e variáveis (q), e da ABNT NBR 6123:1988, utilizada para o cálculo das ações do vento.

3.2.1. Ações Permanentes

No cálculo dos carregamentos permanentes foram considerados todos os carregamentos fixos, além das instalações permanentes aplicados à estrutura, como as ações permanentes relativas às lajes de piso e de cobertura e às paredes externas e internas, conforme apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Cargas Permanentes adotadas

Descrição das Cargas Permanentes (CP)			CP kN/m ²
Laje de Piso	Placa de OSB ^a com espessura de 19mm	0,12	0,8
	Placa de gesso acartonado com espessura de 12mm	0,12	
	Lã de vidro ^b com espessura de 50 mm	0,02	
	Revestimento ^c	0,5	
Laje de Cobertura	Placa de OSB ^a com espessura de 19mm	0,12	0,5
	Placa de gesso acartonado com espessura de 12mm	0,12	
	Placa Cimentícia com espessura de 12mm	0,12	
	Lã de vidro ^b com espessura de 50 mm	0,02	
	Manta Asfáltica	0,04	
	Vermiculita expandida ^d com espessura de 50mm	0,08	
Paredes externas	Placa Cimentícia com espessura de 12mm	0,2	0,3
	Placa de gesso acartonado com espessura de 12mm	0,12	
	Lã de vidro ² com espessura de 50 mm	0,02	
Paredes internas ou c/ revestimento em uma das faces	Placa Cimentícia com espessura de 12mm	0,2	0,7
	Revestimento de Porcelanato	0,3	
	Placa de gesso/ Cimentícia com espessura de 12mm	0,2	
	Lã de vidro ^b com espessura de 50 mm	0,02	

^a Peso específico da placa de OSB: 6,4 kN/m³

^b Peso específico da lã de vidro: 0,35 kN/m³

^c Peso específico considerando o pior caso entre porcelanato (0,30kN/m³) e piso flutuante (0,07kN/m³) mais 0,20 kN/m³ para regularização ou impermeabilização, onde necessário

^d Vermiculita expandida: 1,6kN/m³

^e Peso específico da Placa cimentícia 17 kN/m³

Fonte: Elaboração própria (2019).

3.2.2. Ações Variáveis

Para as ações variáveis foram adotadas as cargas previstas na ABNT NBR 6120:1980, cujos valores são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Cargas Variáveis adotadas

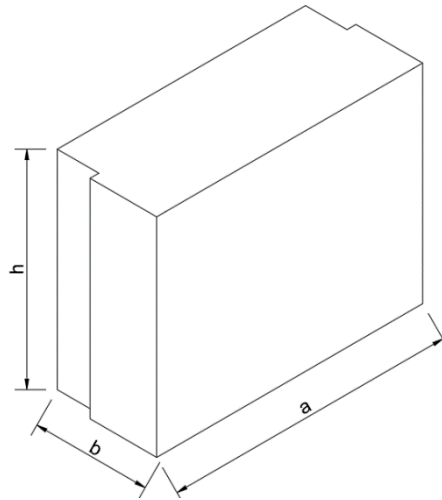
Descrição das Cargas Variáveis		kN/m ²
Laje de Piso	Área de Serviço	2,0
	Demais cômodos	1,5
Laje de Cobertura	Em toda a cobertura	0,5
	Caixa d'água 2x5000 L	7,7
Escada	-	2,5

Fonte: Elaboração própria (2019).

3.2.3. Ações do Vento

O Cálculo do carregamento referente ao vento foi realizado de acordo com os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 6123:1988. As características geométricas do prédio são apresentadas na Figura 19.

Figura 19 - Geometria do prédio



Fonte: Elaboração própria (2019).

Onde:

$$h = 11,2 \text{ m}$$

$$a = 18,60 \text{ m}$$

$$b = 8,70 \text{ m}$$

Para fins acadêmicos, considerou-se a edificação localizada em um terreno plano, coberto por obstáculos numerosos e pouco espaçados na região de Florianópolis/SC. Portanto, tem-se:

3.2.3.1. Pressão dinâmica do vento (q)

Determinada conforme a Equação 1.

$$V_k = V_0 * S_1 * S_2 * S_3 \quad (1)$$

Onde:

A velocidade básica do vento (V_0), de acordo com o gráfico de Isoplefas é **$V_0 = 42 \text{ m/s}$** ;

O fator topográfico (**$S_1 = 1,00$**);

O fator em função da rugosidade do terreno e dimensão da edificação (S_2) se enquadra na categoria IV e a edificação na classe A, é expresso pela Equação 2:

$$S_2 = b F_r \left(\frac{z}{10} \right)^p \quad (2)$$

Em que:

$F_r = 1,00$ (fator de rajada do vento);

$b = 0,86$ e $p = 0,12$ (parâmetros em função da categoria e da classe);

z = Altura em relação ao nível do terreno.

Variando-se o coeficiente Z para aplicação do carregamento de vento uniforme nas lajes obtém-se os dados da Tabela 9.

Tabela 9 - Fator S_2 em função da altura

Z(m)	S2
2,8	0,74
5,6	0,80
8,4	0,84
11,2	0,87

Fonte: Elaboração própria (2019).

O Fator estatístico referente ao grau de segurança (**S_3**) = **1,00**, considerando-se o grupo 2 (edificações residenciais).

Como a pressão dinâmica do vento (q) também varia com altura, foram obtidas as velocidades características do vento (V_k) em relação à altura através da Equação 1, as quais estão apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10 - Velocidade característica do vento (V_k)

Z(m)	V_k(m/s)
2,8	31,00
5,6	33,69
8,4	35,37
11,2	36,61

Fonte: Elaboração própria (2019).

3.2.3.2. Pressão dinâmica (q)

O cálculo da pressão dinâmica se deu através da Equação 3, variando com as diferentes alturas, conforme Tabela 11.

$$q = 0,613 * V_k^2 \quad (3)$$

Tabela 11 - Pressão dinâmica do vento (q)

Z(m)	q(kN/m ²)
2,8	0,59
5,6	0,70
8,4	0,77
11,2	0,82

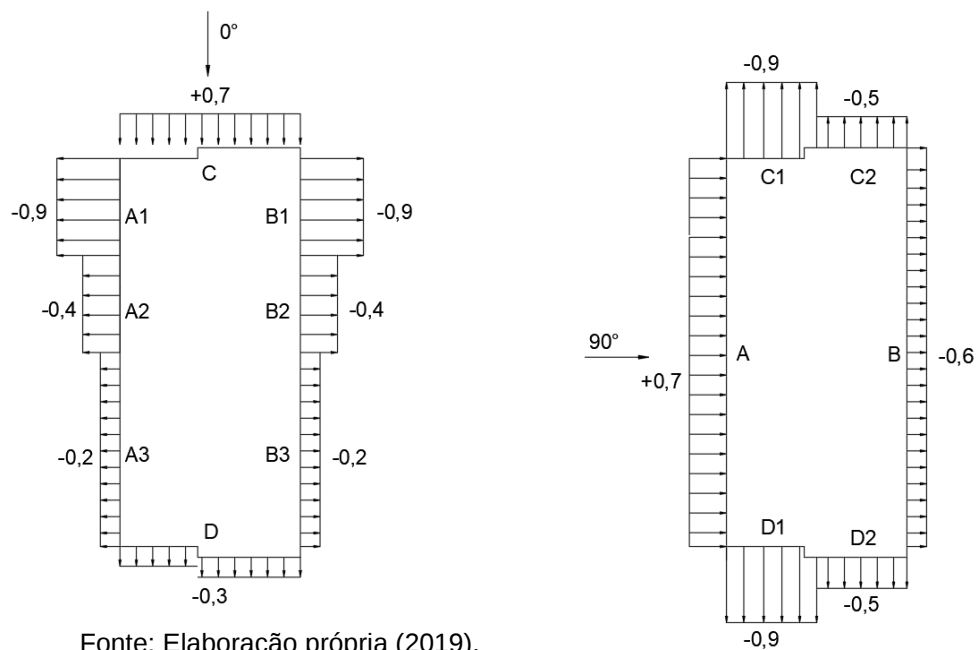
Fonte: Elaboração própria (2019).

3.2.3.3. Coeficiente de forma externo (C_e)

Em função da geometria da edificação, foram calculados os coeficientes de pressão e de forma externos, considerando que:

$$\frac{1}{2} \leq \frac{h}{b} < \frac{3}{2} \quad \wedge \quad 0,5 \leq 1,29 < 1,5 \quad \text{e} \quad \frac{a}{b} = \frac{18,6}{8,70} = 2,14 \quad \wedge \quad 2 \leq 2,14 < 4$$

Logo, foram obtidos os valores do C_e , apresentados na Figura 20, para as diferentes direções de vento, conforme tabela apresentada na NBR 6123:1988.

Figura 20- Coeficiente de forma externo (C_e)

3.2.3.4. Coeficiente de forma interno (C_i)

De acordo com os critérios da NBR 6123:1988, a estrutura em questão se enquadra na classificação de quatro faces igualmente permeáveis. Portanto, o coeficiente de forma interno (C_i) é igual a $-0,3$ ou $0,0$.

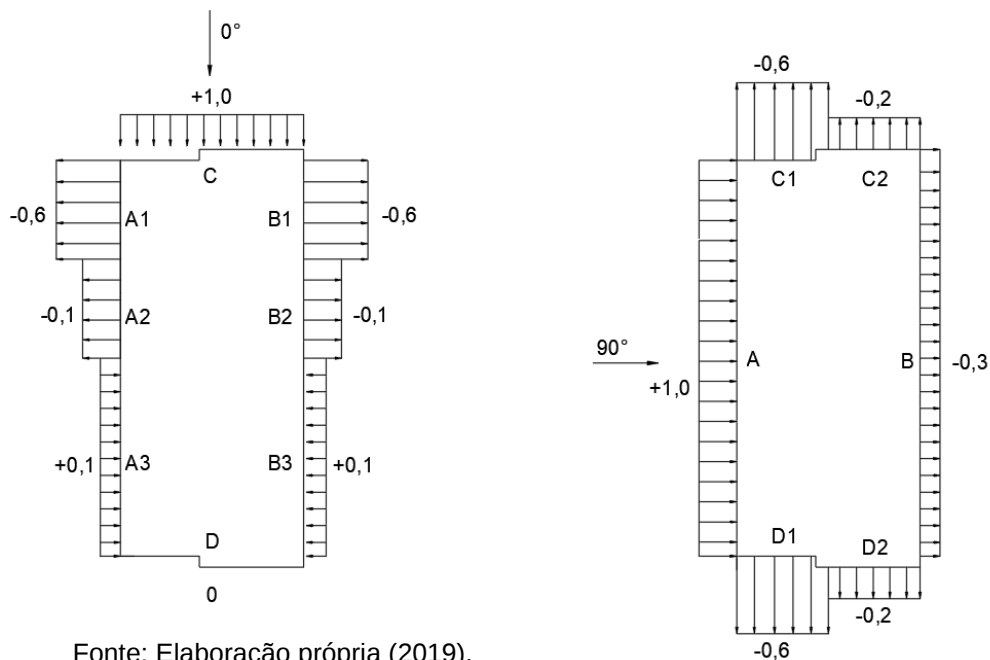
3.2.3.5. Pressão atuante na estrutura

A diferença entre as pressões internas e externas resulta na pressão atuante da estrutura, chamada de pressão efetiva, calculada de acordo com a Equação 4:

$$\Delta p = \frac{F}{A} = (C_e - C_i) * q \quad (4)$$

Considerando a diferença nos coeficientes de forma externo e interno, $C_e - C_i$, obteve-se os valores apresentados na Figura 21, para $C_i = -0,3$. Para $C_i = 0$, os valores foram os mesmos da Figura 20.

Figura 21- Pressão efetiva da Estrutura



Fonte: Elaboração própria (2019).

Devido ao carregamento uniforme sobre os pavimentos, fez-se uma altura de influência (H_{infl}) considerando a metade da altura dos pavimentos superiores e inferiores.

Como o pé-direito possui 2,80 metros, tem-se:

$$\text{Pavimento Tipo} = H_{infl} = (2,80 + 2,80) / 2 = 2,80 \text{ m}$$

$$\text{Pavimento Cobertura} = H_{infl} = (2,80) / 2 + 1,00 \text{ (Platibanda)} = 2,40 \text{ m}$$

3.2.3.6. Carregamento final

Com os coeficientes de forma, a pressão dinâmica e as alturas de influência, foi possível calcular os carregamentos nas lajes dos pavimentos de acordo com Equação 5.

$$q = (C_e - C_i) * q * H_{inf} \quad (5)$$

Os resultados são os apresentados nas Tabelas 12 a 15.

Tabela 12- Carregamento Final do vento na estrutura $C_i=0,3$ para o vento a 0°

Pavimento	q (kN/m)			
	(Ce-Ci)			
	1	0,1	-0,6	-0,1
Pav. Tipo 1 (z=2,80m)	1,65	0,16	-0,99	-0,16
Pav Tipo 2 (z=5,60m)	1,95	0,19	-1,17	-0,19
Pav Tipo 3 (z=8,40m)	2,15	0,21	-1,29	-0,21
Pav Tipo 4 (z=11,20m)	1,97	0,20	-1,18	-0,20

Fonte: Elaboração própria (2019).

Tabela 13- Carregamento Final do vento na estrutura $C_i=0,3$ para o vento a 90°

Pavimento	q (kN/m)			
	(Ce-Ci)			
	1	-0,6	-0,3	-0,2
Pav. Tipo 1 (z=2,80m)	1,65	-0,99	-0,49	-0,33
Pav Tipo 2 (z=5,60m)	1,95	-1,17	-0,58	-0,39
Pav Tipo 3 (z=8,40m)	2,15	-1,29	-0,64	-0,43
Pav Tipo 4 (z=11,20m)	1,97	-1,18	-0,59	-0,37

Fonte: Elaboração própria (2019).

Tabela 14- Carregamento Final do vento na estrutura $C_i=0$ para o vento a 0°

Pavimento	q (kN/m)				
	(Ce-Ci)				
	0,7	-0,9	-0,4	-0,3	-0,2
Pav. Tipo 1 (z=2,80m)	1,15	-1,48	-0,66	-0,49	-0,33
Pav Tipo 2 (z=5,60m)	1,36	-1,75	-0,78	-0,58	-0,39
Pav Tipo 3 (z=8,40m)	1,50	-1,93	-0,86	-0,64	-0,43
Pav Tipo 4(z=11,20m)	1,38	-1,78	-0,79	-0,59	-0,39

Fonte: Elaboração própria (2019).

Tabela 15 - Carregamento Final do vento na estrutura $C_i=0$ para o vento a 90°

Pavimento	q (kN/m)			
	(Ce-Ci)			
	0,7	-0,9	-0,5	-0,6
Pav. Tipo 1 (z=2,80m)	1,15	-1,48	-0,82	-0,99
Pav Tipo 2 (z=5,60m)	1,36	-1,75	-0,97	-1,17
Pav Tipo 3 (z=8,40m)	1,50	-1,93	-1,07	-1,29
Pav Tipo 4 (z=11,20m)	1,38	-1,78	-0,99	-1,18

Fonte: Elaboração própria (2019).

3.3. Pré-dimensionamento

Para o pré-dimensionamento, foi utilizado o método apresentado por Rodrigues e Caldas (2016) no Manual do Aço *Steel Framing* Engenharia, em conjunto com a norma brasileira de Perfis Formados a Frio, a ABNT NBR 14762:2010.

Conforme recomendações da NBR 14762, foi considerada a utilização de aço com qualificação estrutural que possui propriedades mecânicas adequadas a receber o trabalho a frio, descrito na Tabela 16.

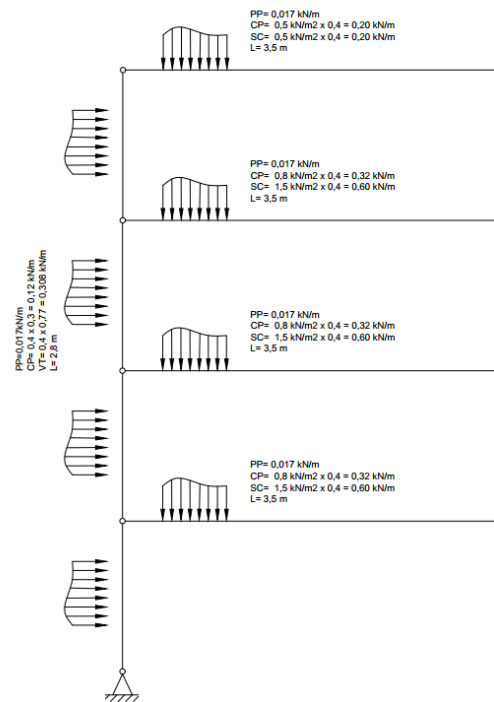
Tabela 16- Especificação do Aço dos PFF

Especificação	Grau	f_y	f_u
ZAR 250 ABNT NBR 7008 / ABNT NBT 7013 / ABNT NBR 14962 Chapas finas e bobinas finas com revestimento metálico	ZAR 250	250	360

Fonte: Elaboração própria (2019).

Para o pré-dimensionamento, o peso próprio (PP) dos elementos estruturais foi tomado igual a $1,71\text{Kg/m} = 0,017\text{kN/m}$ (equivalente a um perfil Ue 140x40x12x0,8, conforme ABNT NBR 15253:2014, considerando uma estimativa inicial para os montantes e vigas). Para o vento, foi considerado o pior caso obtido na análise das cargas de vento na edificação (q) = $2,15\text{ kN/m} \therefore 0,77\text{ kN/m}^2$. Na Figura 22 são apresentadas as cargas em um dos montantes externos utilizados para os pré-dimensionamentos.

Figura 22 - Cargas em um dos Montantes externos entre os eixos 1 e 3 na fila B



Fonte: Elaboração própria (2019).

Onde:

PP é o peso próprio da estrutura metálica;

CP é a carga referente a ação permanente;

SC é a sobrecarga (Ação Variável);

VT é o vento;

L é o comprimento da barra (montante/viga).

3.3.1. Vigas

Para o pré-dimensionamento das vigas, em geral, tomou-se um elemento entre os eixos 1 e 3 na fila B, ver figura A.1 no apêndice A, que recebe vigas com vão de 3,50m, da laje de piso e de cobertura, representados pela Figura 22.

A carga distribuída de cálculo foi obtida em todas as vigas do piso, através da combinação de cargas no ELU, conforme previsto na NBR 14762:2010, representada pela Equação 6.

$$q_{sd} = 1,25 PP + 1,35 CP + 1,5 SC \quad (6)$$

Para as cargas permanentes, sobrecargas e peso próprio da estrutura multiplicou-se 1,2, a fim de considerar as ligações e perfis adicionais da estrutura, conforme previsto por Rodrigo e Caldas (2016).

3.3.1.1. *Viga superior da Cobertura*

Com os dados da Figura 22, tem-se:

$$q_{sd} = 1,25 \times 0,017 + 1,35 \times 0,2 + 1,5 \times 0,2 = 0,59 \times 1,2 = 0,71 \text{ kN/m}$$

Sendo assim,

- Para as vigas com vão livre de 1,4 a 1,6m, com um travamento ao longo do vão, com auxílio do gráfico A.1 (anexo A), foi previsto o perfil Ue 90x40x12x0,8;
- Para as vigas com vão livre de 2,8 e 3,0 m, com um travamento ao longo do vão, com auxílio do gráfico A.2 (anexo A), foi previsto o perfil Ue 140x40x12x0,8;
- Para as vigas com vão livre de 3,5 m, com um travamento ao longo do vão, com auxílio do gráfico A.3 (anexo A), foi previsto o perfil Ue 200x40x12x0,8.

3.3.1.2. *Vigas dos pavimentos tipo*

Com os dados da Figura 22, tem-se:

$$q_{sd} = 1,25 \times 0,017 + 1,35 \times 0,32 + 1,5 \times 0,6 = 1,35 \times 1,2 = 1,62 \text{ kN/m}$$

Sendo assim,

- Para as vigas com vão livre de 1,4 a 1,6m, com um travamento ao longo do vão, com auxílio do gráfico A.1, Anexo A, foi previsto o perfil Ue 90x40x12x0,95;
- Para as vigas com vão livre de 2,8 e 3,0 m, com um travamento ao longo do vão, com auxílio do A.2, Anexo A, foi previsto o perfil Ue 140x40x12x1,25;
- Para as vigas com vão livre de 3,5 m, com um travamento ao longo do vão, com auxílio do gráfico A.3, Anexo A, foi previsto o perfil Ue 200x40x12x1,25.

3.3.2. Montantes

Para os Montantes, tomou-se um montante do térreo entre os eixos 1 e 3 na fila B, que recebe as cargas das vigas com vão de 3,50m, representados na Figura 22.

As forças normais solicitantes características de compressão nos montantes do pavimento térreo são:

$$PP = 0,017 \times 11,2 + 0,017 \times \left(\frac{4 \times 3,50}{2} \right) = 0,31 \times 1,2 = 0,37 \text{ kN}$$

$$CP = \frac{3,50}{2} \times (0,32 \times 3 + 0,2) + 11,2 \times 0,12 = 3,37 \times 1,2 = 4,05 \text{ kN}$$

$$SC = \frac{3,50}{2} \times (0,6 \times 3 + 0,2) = 3,50 \text{ kN} \times 1,20 = 4,20 \text{ kN}$$

Pode-se ter as seguintes combinações de cargas no ELU, conforme a NBR 14762:2010:

$$COMB1 = 1,25 PP + 1,35 CP + 1,4 CV + 1,5(0,5 SC) \quad (7)$$

$$COMB2 = 1,25 PP + 1,35 CP + 1,5 SC + 1,4 (0,6 CV) \quad (8)$$

Sendo assim, considerando a sobrecarga como ação variável principal, a força axial de compressão e a carga lateral distribuída solicitante de cálculo nos montantes do pavimento térreo são, respectivamente:

$$N_{sd} = 1,25 \times 0,37 + 1,35 \times 4,05 + 1,5 \times 4,20 = 12,23 \text{ kN}$$

$$Q_{sd} = 1,4 \times 0,6 \times 0,308 = 0,259 \text{ kN/m}$$

Considerando o vento como ação variável principal, a força axial de compressão e a carga lateral distribuída solicitante de cálculo nos montantes dos pavimentos térreos são, respectivamente:

$$N_{sd} = 1,25 \times 0,37 + 1,35 \times 4,05 + 1,5 \times 0,5 \times 4,20 = 9,08 \text{ kN}$$

$$Q_{sd} = 1,4 \times 0,308 = 0,431 \text{ kN/m}$$

Sendo assim,

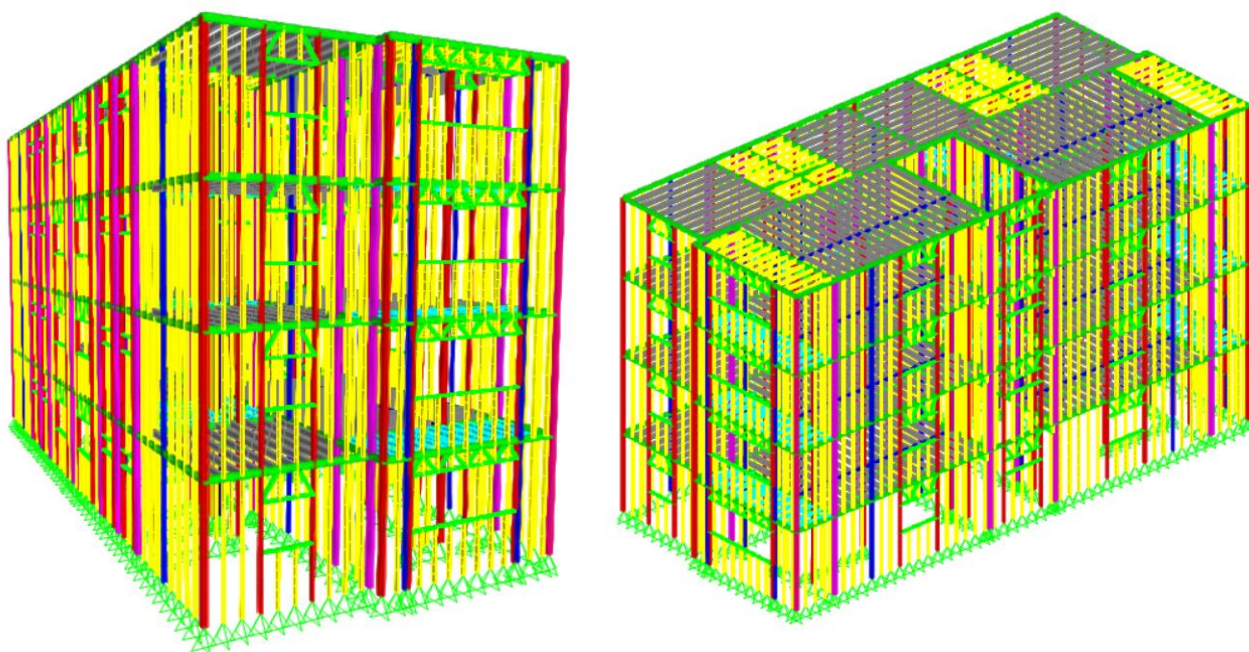
- Para o montante com comprimento de 2,8m com dois travamentos ao longo do vão, com auxílio do A.4, Anexo A, foi definido o perfil Ue 90x40x12x1,25.

3.4. Modelagem no *software*

O modelo estrutural foi modelado através do SAP 2000 v.20, o qual realiza análise tridimensional por elementos finitos. No *software*, a estrutura metálica foi discretizada em barras e nós, com algumas simplificações e considerações nos modelos em análise, devido a não possibilidade de representação de todos os componentes da estrutura. Essas simplificações estão apresentadas nos subitens abaixo.

Na Figura 23 é apresentada uma imagem do modelo (sem os contraventamentos) do pórtico espacial final elaborado pelo auto no *software* SAP2000.

Figura 23 - 3D do modelo composto por elementos *frame*



Fonte: Elaboração própria (2019).

3.4.1. Painéis

Os perfis utilizados nos montantes são os encontrados no pré-dimensionamento, item 3.3.2, ou seja, perfil Ue 90x40x12x1,25, cujas propriedades foram apresentadas na Tabela 4. Estes perfis foram modelados com apoio de 2º gênero (restringindo apenas à translação) e rotulados nas extremidades.

Para os encontros de painéis, devido à maior rigidez destes, utilizou-se a espessura de 0,95mm. As propriedades desses perfis foram encontradas utilizando a

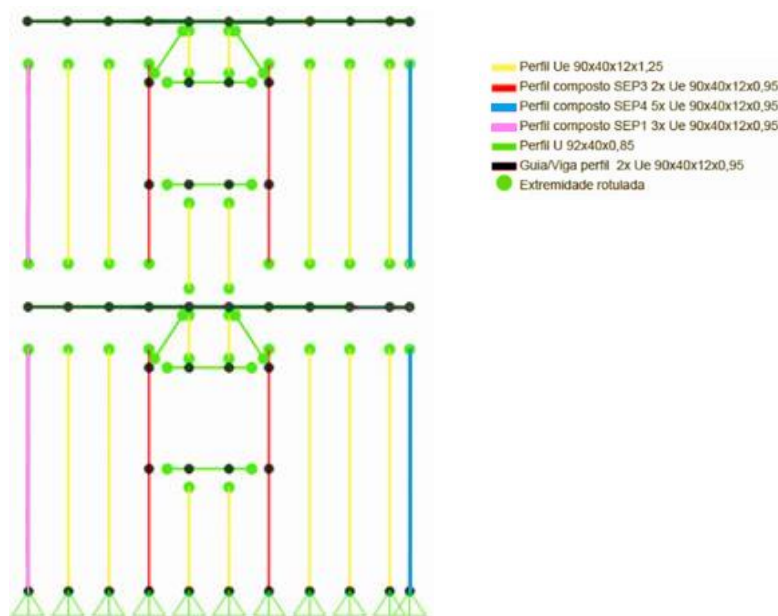
ferramenta *Section designer*, disponibilizada pelo próprio SAP 2000. Os perfis compostos, bem como suas propriedades geométricas, são encontrados no Apêndice B.

A função das guias é fazer o fechamento superior e inferior dos painéis, restringindo, assim, os montantes à torção, mas não impedindo a flexão destes fora do painel. Como todas as extremidades dos montantes também foram restringidas à torção e os montantes são ligados diretamente nos nós com os montantes dos outros pavimentos, as guias foram modeladas apenas para considerar o peso próprio destas na estrutura. Sendo assim, para simplificá-las, foram modeladas como uma viga composta por dois perfis Ue90x12x40x0,95, apresentadas no Apêndice B, a fim de dar a rigidez necessária para estabilizar os pórticos e distribuir as cargas sem que haja uma excentricidade considerável, não comprometendo assim a distribuição das cargas nos montantes.

As vergas, contra-vergas e treliças, acima das aberturas, foram modeladas com perfis U 92x40x0,95, cujas propriedades estão apresentadas na Tabela 3, sendo que todas as extremidades foram consideradas rotuladas, liberando o momento de maior e menor inércia.

Como exemplo, tem-se na Figura 24, a forma final do modelo estrutural, da fila B, do primeiro pavimento e do térreo.

Figura 24- Elevação do painel da fila B, do primeiro pavimento e do térreo



Fonte: Elaboração própria (2019).

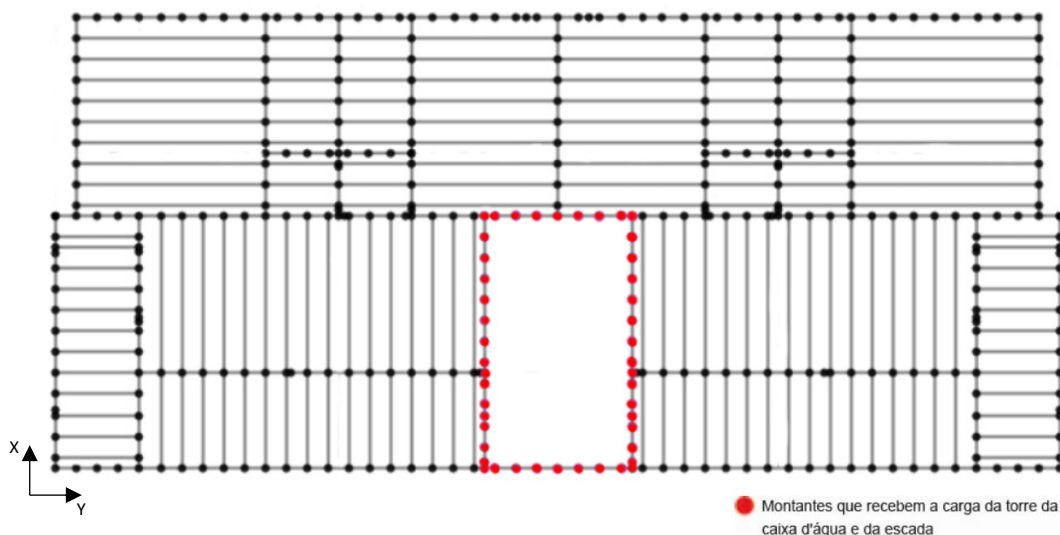
3.4.2. Modelagem da Laje

Para as lajes, assim como nos painéis, foram modelados apenas os perfis metálicos. As vigas utilizadas foram as definidas pelo pré-dimensionamento, conforme item 3.3.1, sendo biapoiadas e rotuladas em ambas as extremidades, dispostas da forma que obtivessem os menores vãos por ambiente, como mostra a Figura 25.

3.4.3. Escada e Torre da Caixa de água

Para fins didáticos, as escadas e a torre da caixa d'água não foram modeladas. Porém, foram considerados os carregamentos nos nós sobre os perfis que circundam a área da escada, conforme indicado na Figura 25.

Figura 25 - Planta baixa do pavimento tipo com a disposição das vigas



Fonte: Elaboração própria (2019).

3.4.4. Carregamentos no Modelo

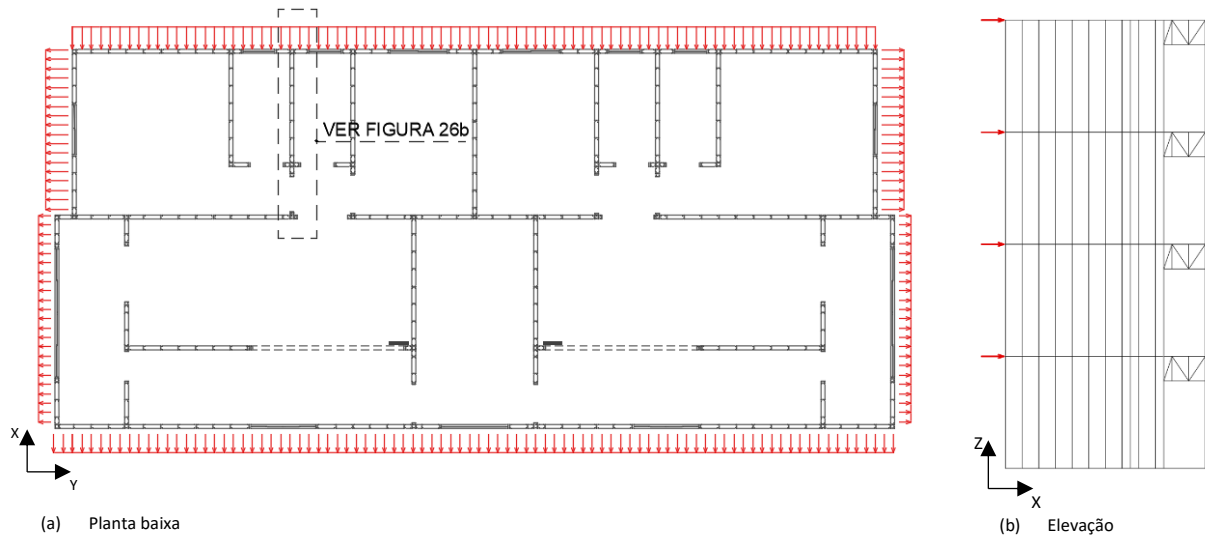
Os contraventamentos têm relação direta com os montantes. A fim de não haver excentricidade devido à modelagem das vigas, aplicou-se o carregamento variável e permanente diretamente sobre os nós dos montantes, exceto o valor referente ao peso próprio da estrutura que é dado pelo próprio SAP.

Os carregamentos permanentes e variáveis foram determinados no item 3.2. Porém, estes são apresentados em kN/m^2 . Sendo assim, para lançar esses valores no modelo, foi realizado um mapeamento dos nós que recebem diretamente as cargas das vigas que sustentam as lajes e dos locais que recebem as cargas das paredes externas/interna, a fim de obter o valor do carregamento em kN e lançar a força

diretamente sobre o nó. As tabelas com os respectivos carregamentos se encontram no Apêndice D.

Os esforços horizontais referentes ao carregamento do vento foram lançados linearmente diretamente sobre as guias superiores de cada pavimento, conforme apresentado na figura 26.

Figura 26 - Disposição dos carregamentos referente a ação do vento



Fonte: Elaboração própria (2019).

Considerou-se apenas o pior caso encontrado no item 3.2.3, ou seja, na direção de 90°, em que a direção do vento principal é paralela a menor dimensão da edificação, conforme os valores indicados na Tabela 13.

3.4.4.1. Combinações das Ações

Para a análise nos estados limites últimos e de serviço, foram realizadas as combinações das ações, a fim de determinar os efeitos mais desfavoráveis para a estrutura, previstas na ABNT NBR 14762:2010.

a) Estado Limite Último (ELU)

As Equações 9 e 10 estão considerando a carga do vento (V) como variável principal, enquanto que na Equação 11, a variável principal é dada pela Sobrecarga/Carga Variável (SC).

$$COMB1 = 1,25 PP + 1,35 CP + 1,4V + 1,5 (0,5 SC) \quad (9)$$

$$COMB2 = 1,25 PP + 1,35 CP + 1,5 SC + 1,4 (0,6 V) \quad (10)$$

$$COMB3 = 1,00 CP + 1,00P + 1,4 V \quad (11)$$

b) Estado Limite de Serviço (ELS)

Na Equação 12, tem-se a sobrecarga (SC) como variável principal, já na Equação 13, o vento é a variável principal.

$$COMB4 = 1,0PP + 1,0CP + 0,4SC \quad (12)$$

$$COMB5 = 1,0PP + 1,0CP + 0,3V + 0,3SC \quad (13)$$

Onde:

PP é o peso próprio;

CP Somatório de todas as ações permanentes da estrutura;

V é o carregamento horizontal devido à ação do vento;

SC é a sobrecarga atuante na estrutura.

No peso próprio, na carga permanente e na sobrecarga, além da majoração feita através das combinações, foi multiplicado cada valor por 1,20 para consideração das ligações e perfis adicionais.

3.4.5. Modelagem dos Contraventamentos

Após a finalização da modelagem dos elementos principais (item 3.4.1 a 3.4.3) com seus respectivos carregamentos e combinações (item 3.4.4), foram criados três arquivos diferentes, a fim de adicionar os contraventamentos em cada um dos arquivos, com diferentes disposições.

Para este trabalho, foram analisados dois modelos com contraventamento em fita, sendo um com disposição em X e outro em V, e também o contraventamento com o próprio PPF com disposição em K. Nos três casos o elemento utilizado na modelagem foi tipo *frame*, rotulados em ambas as extremidades, liberando o momento de maior e menor inércia e restringindo à torção.

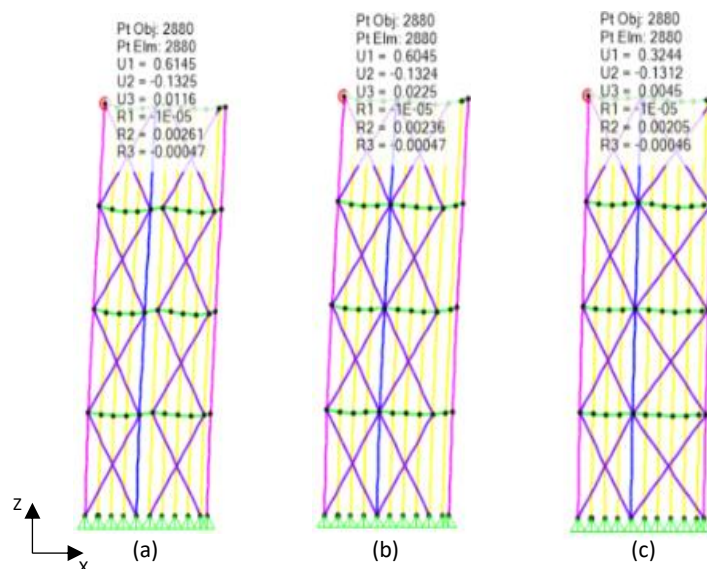
Normalmente, as fitas utilizadas no LSF são metálicas revestidas com zinco. Neste trabalho, considerou-se o mesmo material que os dos PPF, o ZAR250, sendo que as fitas foram modeladas com 1,25mm de espessura e 10 cm de largura. Além disso, foi adicionado um limite de compressão nas fitas de 0kN, para que assim elas passassem a trabalhar apenas à tração. Já os contraventamentos em K, foram

elaborados com perfis U 92X49X0,95mm, que neste caso funciona tanto à tração quanto à compressão.

Para a disposição dos contraventamentos nos painéis, foi realizado um teste piloto para cada um dos modelos, a fim de definir qual a melhor configuração desses contraventamentos, levando em consideração a geometria da edificação.

Foi verificado neste teste piloto que o contraventamento em X apresentou menor deslocamento para os painéis paralelos à ação principal do vento, quando estes estavam inteiramente contraventados e com ângulos das diagonais entre 50° e 60°, conforme apresentado na Figura 27c.

Figura 27 - Diferentes disposições do contraventamento em X na elevação H

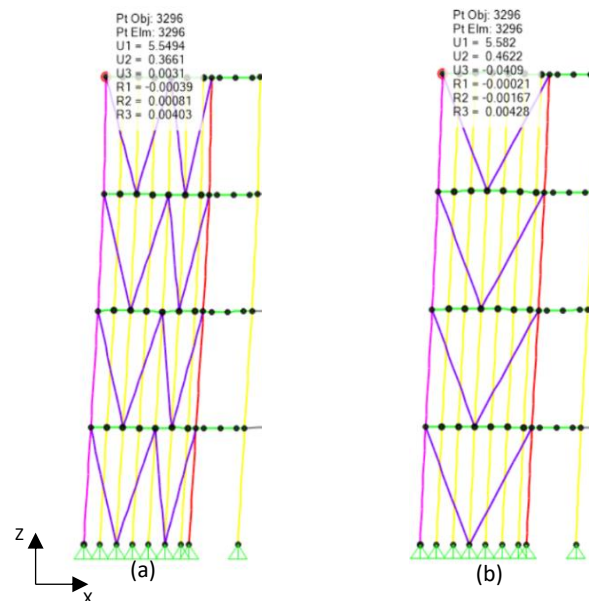


Fonte: Próprio autor (software SAP2000).

Sendo assim, para os painéis com esta configuração, definiu-se que as diagonais das fitas abrangeriam, quando possível, de 1,6m (4 modulações de montantes) até, no máximo, 2,4m (6 modulações de montantes).

Os painéis com contraventamentos em V também apresentaram contenção de esforços laterais quando inteiramente contraventados. No entanto, diferente do contraventamento em X, as fitas com disposição em V muito inclinadas, ou seja, com ângulos maiores de 60° (cerca de 3 modulações de montantes), não conseguiram ser tão eficientes, como observado na Figura 28.

Figura 28 - Diferentes disposições do contraventamento em V na elevação D

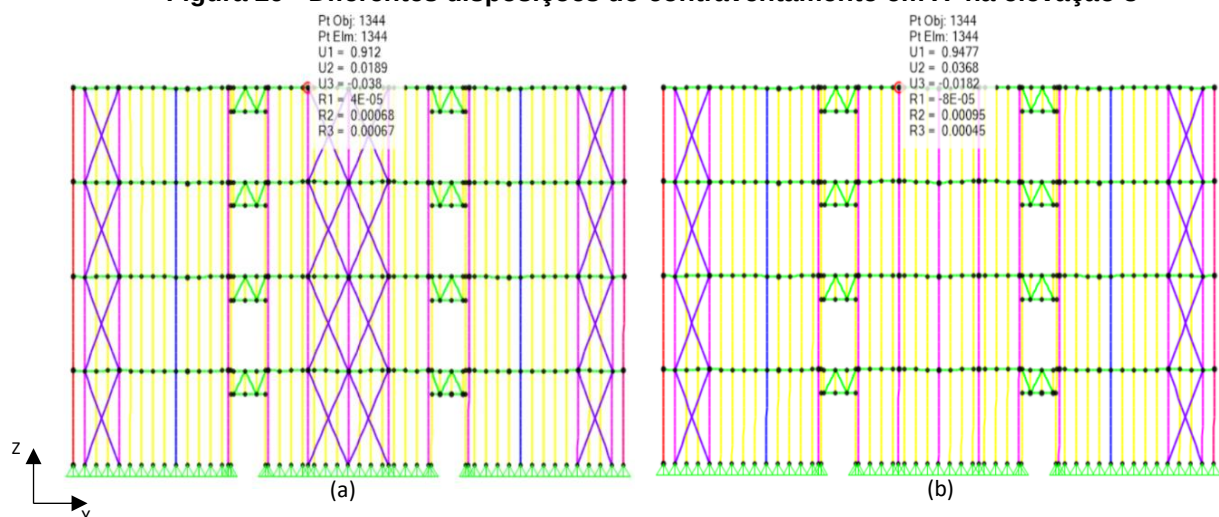


Fonte: Elaboração própria (2019).

Percebe-se que o deslocamento da Figura 28a, em relação ao eixo x (u_1), é bem próximo ao da Figura 28b. Por este motivo, para o modelo com contraventamento em V, definiu-se que cada diagonal das fitas abrangeria, quando possível, no mínimo 1,60m (4 modulações de montantes).

Nos painéis do eixo y, os deslocamentos (u_2) encontrados foram menores do que 0,1cm para todos os modelos, devido à dimensão do prédio neste eixo ser maior se comparada ao eixo x e ao fato de o vento principal ter sido considerado na direção mais desfavorável (eixo x). Além disso, percebeu-se que os contraventamentos em fita não apresentaram uma contribuição significativa para a contenção de esforços horizontais, como mostra a Figura 29.

Figura 29 - Diferentes disposições do contraventamento em X na elevação 3

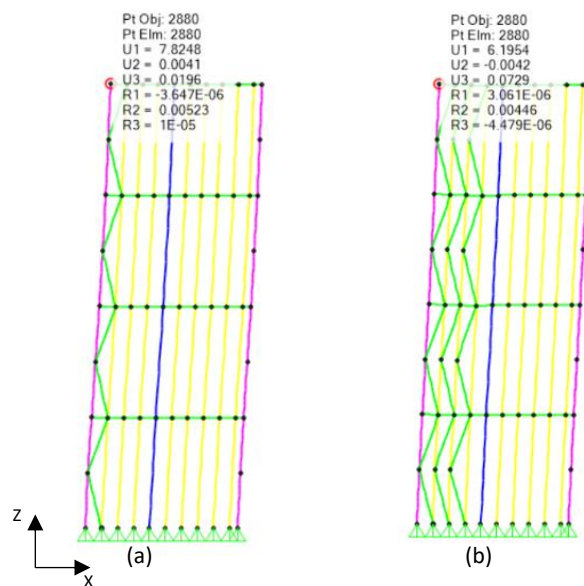


Fonte: Elaboração própria (2019).

Considerando que o vento principal pode, em algum momento da vida útil da edificação, incidir na direção do eixo y, foram colocados contraventamentos nas extremidades de todos os painéis paralelos ao eixo y e nos três modelos.

Foi observado nos contraventamentos em K que, à medida em que se aumentava o número de modulações, o deslocamento da estrutura diminuía, como mostra a Figura 30.

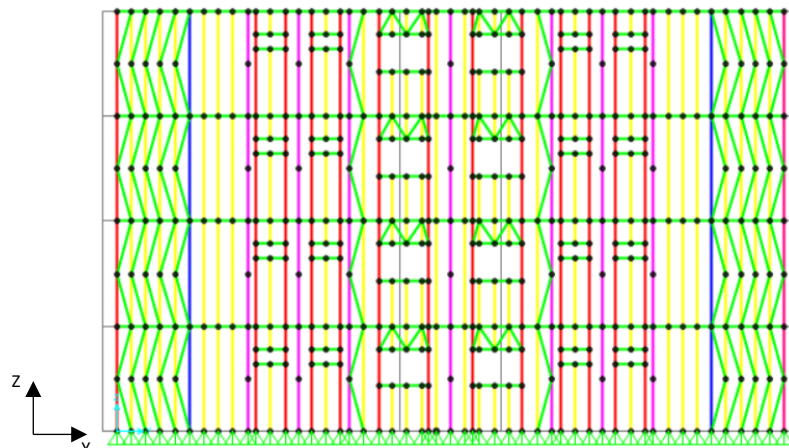
Figura 30 - Diferentes disposições do contraventamento em K na elevação H



Fonte: Elaboração própria (2019).

Para evitar de treliçar o painel inteiro, determinou-se contraventar apenas 3 módulos do montante nos painéis paralelos ao eixo x, conforme Figura 30b. Nos painéis paralelos ao eixo y, a disposição dos contraventamentos foi inserida até o meio do painel, a fim de poder analisar a diferença com os outros contraventamentos, como mostra a Figura 31.

Figura 31- Disposições do contraventamento em K na elevação 1



Fonte: Elaboração própria (2019).

De maneira geral, todos os contraventamentos foram dispostos de forma estratégica, priorizando locais que diminuíssem os deslocamentos horizontais da edificação, mas também posicionados de tal forma que pudessem ser comparados com os outros modelos. As disposições finais dos contraventamentos para cada modelo que serão utilizados neste estudo se encontram no Apêndice C.

3.4.6. Análise dos Modelos

Após a realização das etapas descritas acima, foram obtidos os deslocamentos e os esforços solicitantes, os quais serão apresentados no item 4.

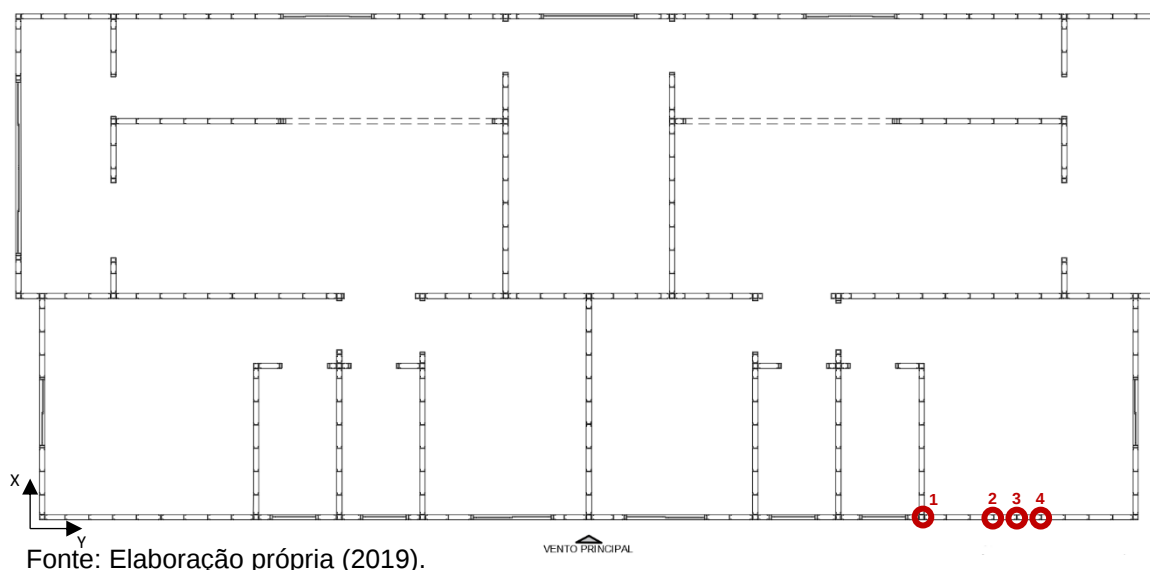
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Todos os contraventamentos foram posicionados de tal forma a minimizar os efeitos do deslocamento da estrutura causado pelas forças horizontais. A combinação utilizada para a análise dos deslocamentos foi a que favoreceu as cargas horizontais. Já para análise dos esforços internos, foi a que favoreceu as cargas gravitacionais.

Nos itens a seguir, serão apresentados os resultados obtidos a partir dos modelos estruturais elaborados pelo autor, sendo denominados da seguinte forma: “modelo X” para o que possui disposição das fitas de contraventamento em X, “modelo V” para o que as disposições das fitas estão em V e, “modelo K” para o contraventamento realizado com perfis U em forma de “K”.

Como em todos os modelos, independente das combinações (ELU ou ELS), os valores encontrados para os deslocamentos no eixo y foram inferiores a 0,1 cm, sendo, por esse motivo, considerado para a análise apenas o eixo x. Na Figura 32 estão indicados os montantes analisados.

Figura 32 - Indicação dos montantes analisados



Os montantes foram selecionados de forma estratégica, a fim de comparação entre os modelos e por sofrerem influência direta do vento. O montante da posição 1 foi escolhido por ser um montante de encontro de painel. Os montantes 2 e 4, por apresentarem os maiores deslocamentos para os contraventamentos em fita e os contraventamentos em K, respectivamente. Já o montante 3, por ser um montante composto localizado no meio do painel perpendicular à ação do vento.

4.1. Classificação da estrutura quanto aos deslocamentos laterais

Os deslocamentos máximos dos montantes estão situados nos painéis perpendiculares à ação principal do vento, representados na Figura 31 pelo ponto 2, para o modelo K, e no ponto 4, para o modelo X e V. Os valores desses deslocamentos estão apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 - Deslocamentos máximos encontrados em cada modelo

Nó A1	Pvto Cobertura		
Modelo Estrutural	1ª Ordem	2ª Ordem	2ª/1ª
X	4,38	4,57	1,04
V	8,29	8,56	1,03
K	7,23	7,50	1,04
Nó B1	3º Pavimento Tipo		
X	4,10	4,28	1,04
V	7,22	7,52	1,04
K	6,13	6,32	1,03
Nó C1	2º Pavimento Tipo		
X	3,32	3,46	1,04
V	5,39	5,65	1,05
K	4,48	4,62	1,03
Nó D1	1º Pavimento Tipo		
X	2,32	2,41	1,04
V	3,22	3,38	1,05
K	2,66	2,72	1,02

Fonte: Elaboração própria (2019).

Na Tabela 18, são apresentados os valores encontrados para os deslocamentos máximos no ponto 1 da Figura 31 em todos os modelos.

Tabela 18 - Deslocamentos máximos encontrados no encontro de painel

Nó A2	Pvto Cobertura		
Modelo Estrutural	1ª Ordem	2ª Ordem	2ª/1ª
X	2,26	2,39	1,06
V	5,84	5,86	1,00
K	6,44	6,62	1,03
Nó B2	3º Pavimento Tipo		
X	1,88	2,00	1,06
V	4,61	4,72	1,02
K	5,02	5,17	1,03
Nó C2	2º Pavimento Tipo		
X	1,35	1,46	1,08
V	3,06	3,22	1,05
K	3,32	3,43	1,03
Nó D2	1º Pavimento Tipo		
X	0,71	0,78	1,10
V	1,38	1,51	1,09
K	1,53	1,58	1,03

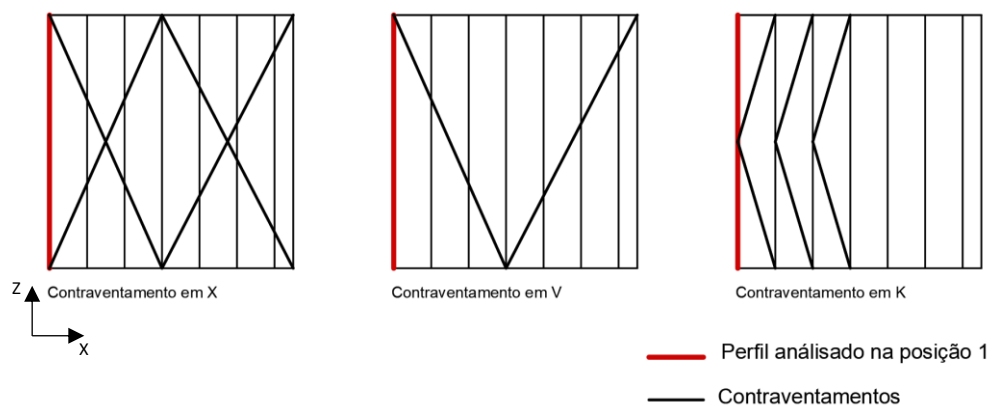
Fonte: Elaboração própria (2019).

De acordo com as Tabelas 17 e 18, a maior razão encontrada é de 1,10 para o contraventamento em X, 1,09 para o contraventamento em V e 1,04 para o contraventamento em K. Portanto, segundo a ABNT NBR 8800:2008, ver Tabela 5, todos os modelos foram classificados como pequena deslocabilidade.

Observa-se que os deslocamentos encontrados na Tabela 17, em todos os modelos, foram maiores do que os da Tabela 18. Isso se deve ao fato de os montantes analisados na segunda tabela serem de um perfil de encontro de painel, enquanto os da Tabela 17 estarem situados em um painel perpendicular à ação principal do vento.

Devido à disposição dos contraventamentos no painel, ver Figura 33, o contraventamento X obteve o menor valor de deslocamento em todos os nós, em ambos os casos. Já o contraventamento em V apresentou o maior deslocamento dentre os valores da Tabela 17, diferente da Tabela 18, em que os maiores deslocamentos foram dados pelo contraventamento em K.

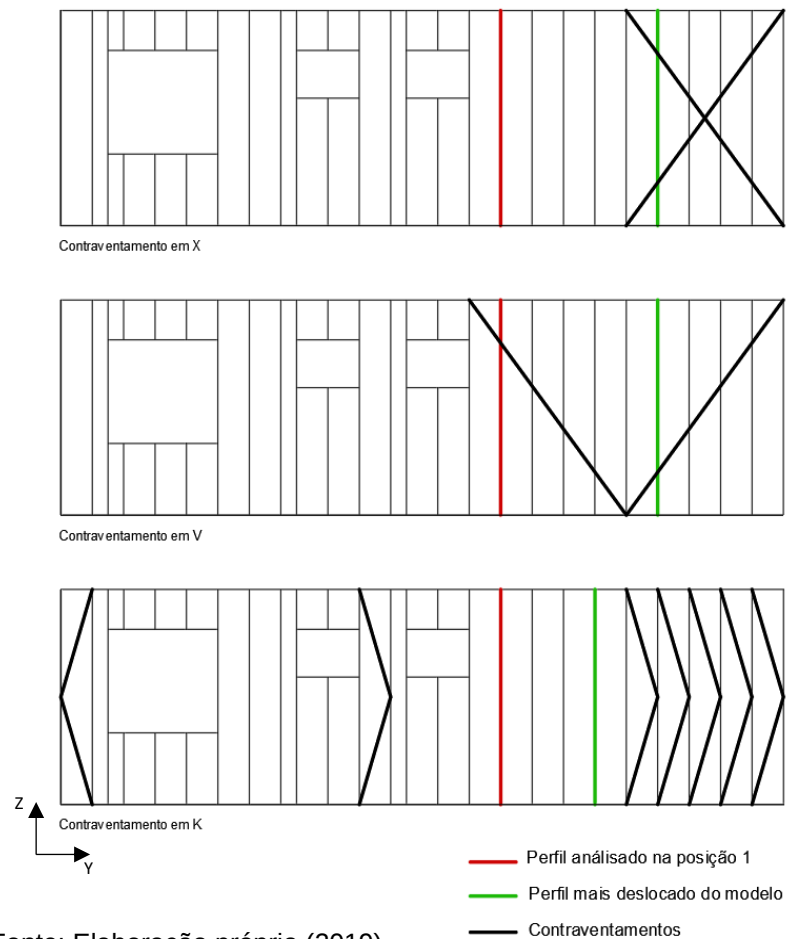
Figura 33 - Painel paralelo a ação do vento (Elevação D)



Fonte: Elaboração própria (2019).

Observa-se que o contraventamento em K forma uma treliça na estrutura, o qual é disposto entre os montantes, que estão alocados a 40 cm um do outro. Assim, apesar do contraventamento absorver esforços horizontais com maior eficiência, seria necessário treliçar boa parte do painel. Este fato pode ser observado na análise do painel de maior deslocamento do montante, sendo comparado com os demais modelos, apresentado na Figura 34.

Figura 34 - Elevação parcial do lado A indicando os perfis da posição 1,2 e 4



Fonte: Elaboração própria (2019).

Como o painel da Figura 34 é perpendicular à ação principal do vento, os contraventamentos em fita acabam não conseguindo absorver os esforços gerados pela ação horizontal, apresentando como maior deslocamento praticamente o montante central do painel. Já os contraventamentos em K conseguem atuar melhor com relação a esses esforços perpendiculares. Percebe-se isso na verificação da posição do montante de maior deslocamento, que passa a ser o montante fora da treliça.

4.1.1. Verificação no Estado Limite de Serviço

Para as estruturas de pequena e média deslocabilidade não há necessidade de considerar as imperfeições geométricas do material (ABNT NBR 8800:2008). Portanto, para a verificação no ELS, foi realizada apenas uma análise de primeira ordem.

Através das combinações realizadas para o Estado Limite de Serviço, indicadas no item 3.4.5.1, a norma prevê as seguintes verificações:

- Deslocamento horizontal do edifício em relação à base;
- Deslocamento horizontal entre pisos;
- Deformações verticais (flechas) das vigas dos pavimentos;

4.1.2. Deslocamento Horizontal do edifício em relação à base

Segundo a ABNT NBR 14762:2010, Tabela 6, o deslocamento máximo do topo dos pilares em relação à base do edifício é calculado pela Equação 14:

$$\delta_{max} = \frac{H}{400} = \frac{11,20 \text{ m}}{400} = 0,028 \text{ m} = 2,80 \text{ cm} \quad (14)$$

Onde:

δ_{max} é o deslocamento máximo do topo do pilar à base

H é a altura total do edifício

Aplicando as combinações apresentadas no item 3.4.5.1, tem-se na posição 4, ver Figura 26, o deslocamento máximo para o contraventamento em X e em V, que são observados na Figura 28 e, na posição 2, o deslocamento máximo para o contraventamento em K, cujos valores são apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 - Deslocamentos máximos por modelo

Tipo de contraventamento	$\delta_{\text{máximo}}$ (cm)
X	0,96
Y	1,8
K	1,67

Fonte: Elaboração própria (2019).

Portanto, para todos os casos, o deslocamento máximo foi inferior ao máximo exigido pela norma. O contraventamento em X apresentou o menor deslocamento, assim como nos valores encontrados para ELU na classificação da estrutura dos modelos no item 4.1. O contraventamento em V e K ficaram com valores bem próximos, sendo que o contraventamento em V apresentou um maior deslocamento.

4.1.3. Deslocamento Horizontal do edifício entre pavimentos

Para o deslocamento horizontal entre dois pisos consecutivos, a ABNT NBR 14762:2010 prevê um deslocamento máximo calculado pela equação 15.

$$\delta_{h,max} = \frac{h}{500} = \frac{2,80\text{ m}}{500} = 0,0056\text{ m} = 0,56\text{ cm} \quad (15)$$

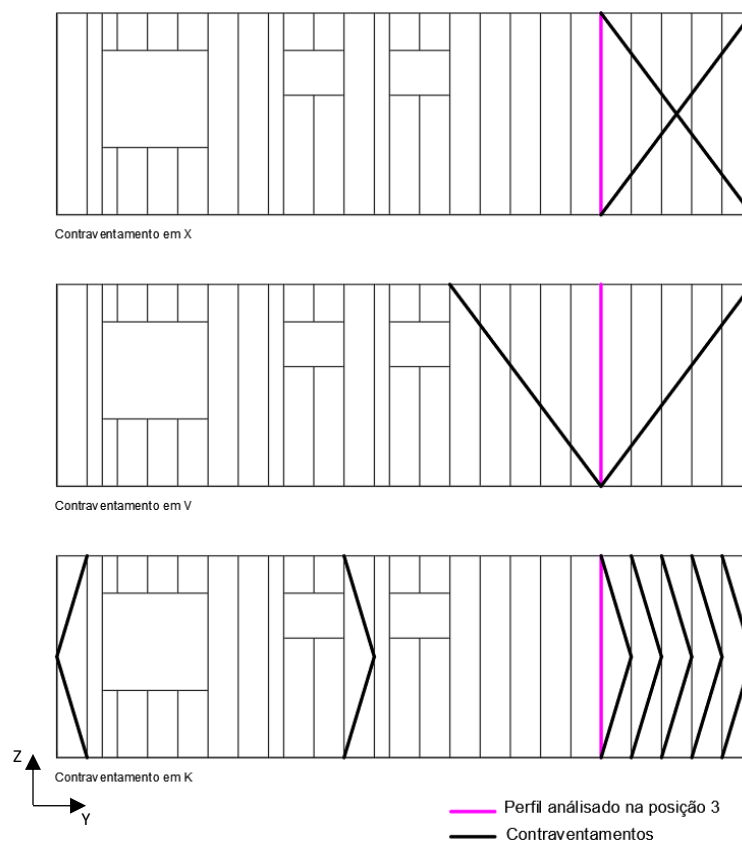
Onde:

$\delta_{h,max}$ é o deslocamento máximo entre dois pisos consecutivos;

h é a altura entre os pavimentos.

O perfil escolhido para a análise do deslocamento máximo entre os pavimentos foi um perfil composto do tipo SEP3, ver Apêndice B, em comum para todos os modelos, conforme Figura 35, a fim de comparar a influência de cada contraventamento.

Figura 35 - Elevação parcial do lado A indicando os perfis da posição 3



Fonte: Elaboração própria (2019).

Aplicando as combinações apresentadas no item 3.4.5.1, tem-se na posição 3, ver Figura 32 e 35, os deslocamentos apresentados na Tabela 20.

Tabela 20 - Deslocamento entre pavimentos do perfil da posição 3

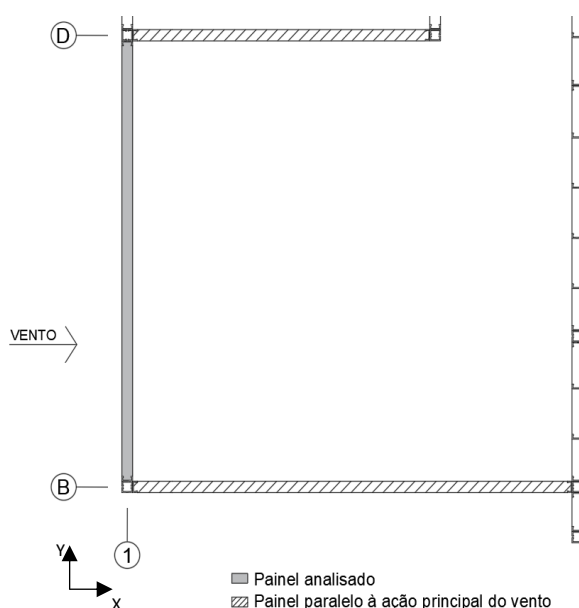
Deslocamento entre pavimentos (cm)	Tipo de Contraventamento		
	X	V	K
$\delta_{(Cobertura-3^{\circ}Tipo)}$	0,07	0,24	0,25
$\delta_{(3^{\circ}Tipo-2^{\circ}Tipo)}$	0,17	0,40	0,37
$\delta_{(2^{\circ}Tipo-1^{\circ}Tipo)}$	0,22	0,47	0,40
$\delta_{(1^{\circ}Tipo-Térreo)}$	0,49	0,67	0,63

Fonte: Elaboração própria (2019).

O deslocamento máximo entre pavimentos para o contraventamento em X foi de 0,40 cm, para o contraventamento V de 0,67cm e para o contraventamento em K 0,63 cm. Como o deslocamento máximo previsto entre pisos consecutivos foi de 0,56 cm, apenas o contraventamento em X ficou dentro dos limites exigidos pela norma, além dos deslocamentos máximos por pavimentos serem os menores encontrados. Os valores dados pelos modelos K e V são semelhantes.

Apesar do contraventamento em K apresentar uma maior eficiência para conter as forças perpendiculares a este painel que o contraventamento em X, conforme analisado no item 4.1, o modelo X, como visto acima, apresentou menor valor de deslocamento. Este resultado provavelmente ocorreu devido à contribuição dos painéis perpendiculares existentes ao analisado, ver Figura 36, que também possuem contraventamentos em X, fazendo com que se consiga absorver melhor esses esforços horizontais.

Figura 36 – Planta Baixa do painel analisado



Fonte: Elaboração própria (2019).

Como o contraventamento em V não é tão eficiente quanto o em K, nos painéis paralelos ao vento principal, o contraventamento em K acaba tornando-se mais eficiente também para os painéis perpendiculares, como mostra os valores encontrados na análise dos deslocamentos entre pavimentos deste item.

4.1.4. Deformações verticais (flechas) das vigas dos pavimentos

Apesar de ter sido realizado o pré-dimensionamento das vigas, a fim de considerar o peso próprio dos perfis, os carregamentos (CP, SC) foram distribuídos e aplicados todos diretamente nos nós dos montantes, conforme explicado no item 3.4.5. Portanto, devido à forma de modelagem das cargas e ao fato deste item não ser o intuito do presente trabalho, não serão verificadas as flechas das vigas.

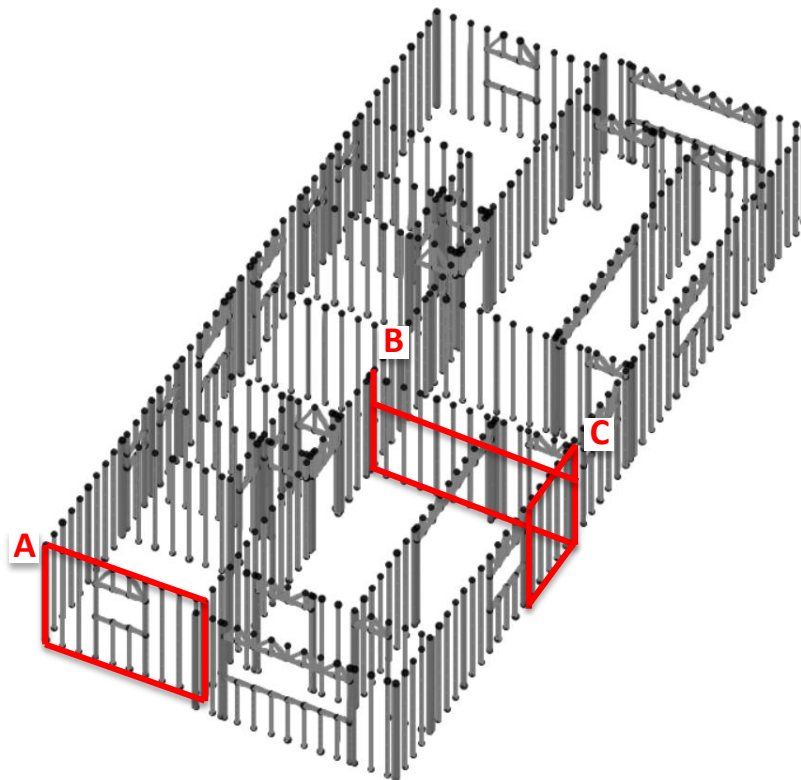
4.2. Verificação para os Estados Limites Últimos

A verificação no ELU é utilizada para o correto dimensionamento da estrutura, com relação às especificações dos perfis. Como a finalidade deste trabalho não é dimensionar a estrutura, mas comparar a influência dos contraventamentos, não será realizada a análise dos esforços internos do perfil, a fim de verificar se a estrutura se enquadra ou não nos limites da norma. Será apenas realizada uma análise comparativa dos esforços solicitantes em pontos estratégicos, a fim de visualizar os efeitos do contraventamento diante das solicitações dos perfis.

4.2.1. Esforços solicitantes

Como não há diferença no comprimento dos perfis, optou-se por analisar o painel A, por ser um painel externo paralelo à ação principal do vento; o painel B, que também é um painel paralelo à ação principal do vento, porém é interno e recebe a carga da escada e da caixa d'água; e o painel C, por ser um painel externo perpendicular à ação principal do vento. Na Figura 37 estão representadas as posições dos painéis.

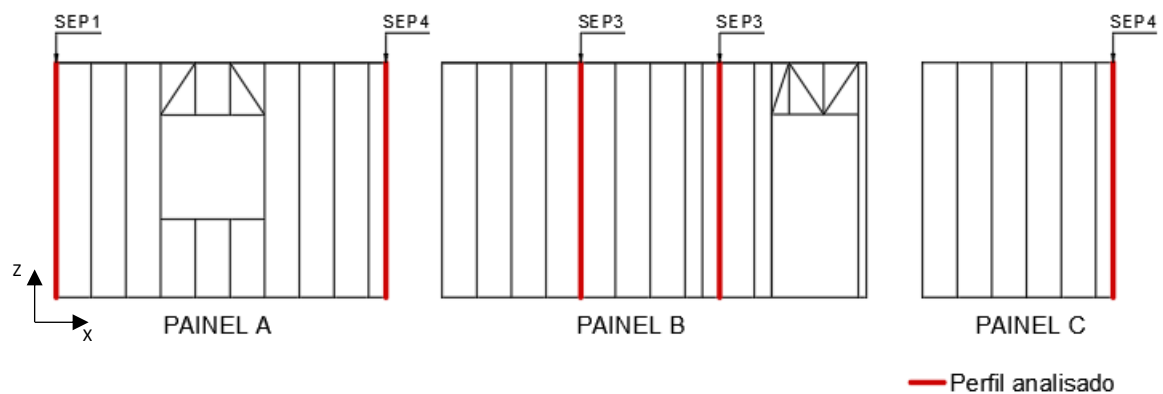
Figura 37 - Localização dos painéis a serem analisados



Fonte: Elaboração própria (2019).

Para a análise dos esforços solicitantes, foram selecionados os perfis do térreo de cada painel, conforme indicado na Figura 38, e foram obtidos os esforços solicitantes considerando as combinações ELU.

Figura 38 - Indicação dos perfis analisados por painel



Fonte: Elaboração própria (2019).

Como a ABNT NBR 8800:2008 prevê que para estruturas de pequena deslocabilidade não é necessário considerar os efeitos de segunda ordem, estes não foram levados em consideração nesta análise.

O resumo dos valores obtidos com as respectivas combinações está apresentado na Tabela 21.

Tabela 21 - Resumo Perfis analisados Contraventamento X

Painel	Perfil de Seção *	Combinação	$N_{c,Rd}^{(1)}$ (kN)	$N_{c,Rd}^{(2)}$ (kN)	$N_{c,Rd}^{(3)}$ (kN)
A	SEP4	1,25PP+1,35CP+1,4V+0,75SC	-46,22	-61,63	-5,62
A	SEP1		14,41	10,08	34,18
B	SEP3a		-14,35	25,12	-53,55
B	SEP3b		-17,69	-34,90	1,84
C	SEP4		-14,18	-13,50	-16,51
A	SEP4	1,25PP+1,35CP+1,5SC+0,84V	-33,57	-42,53	-8,78
A	SEP1		3,49	2,13	16,02
B	SEP3a		-18,03	5,76	-44,15
B	SEP3b		-18,03	-28,30	-6,05
C	SEP4		-21,17	-20,51	-22,77

(1) Contraventamento X

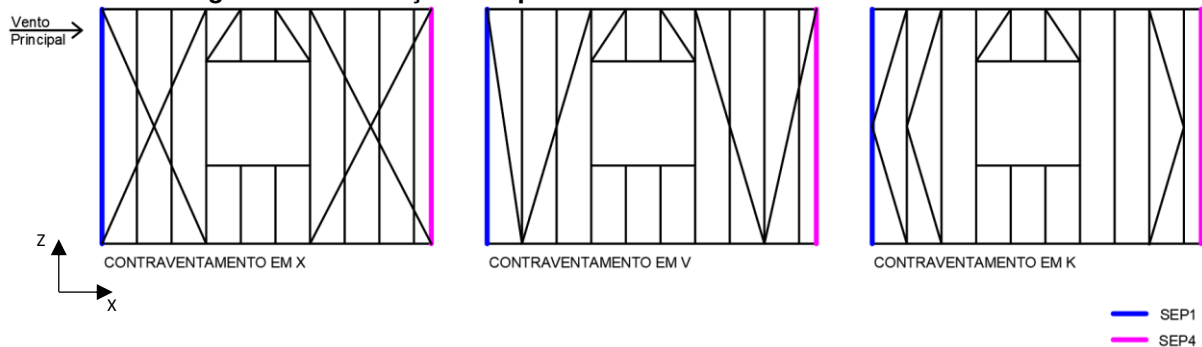
(2) Contraventamento V

(3) Contraventamento em K

Fonte: Elaboração própria (2019).

Observa-se que, para o painel A ver figura 39, o montante SEP4 apresentou o maior valor da força axial de compressão para o modelo com contraventamento em V, sendo o contraventamento em K o que proporcionou o menor valor. Já no montante SEP1, todos os valores máximos encontrados foram de flexão, sendo que, no modelo em K, foi encontrado o maior valor e, tanto o contraventamento em V quanto em X, apresentaram resultados muito semelhantes. Para todos os modelos os maiores valores encontrados foram para a combinação do ELU, na qual a variável principal é o vento.

Figura 39 – Indicação dos perfis analisados no Painel A contraventado



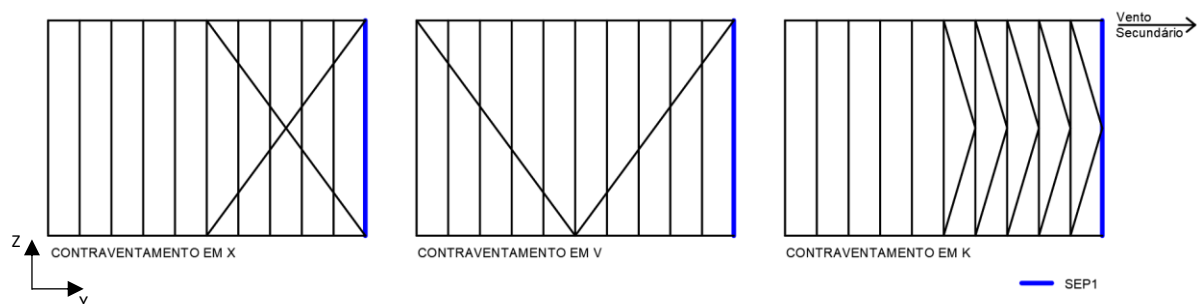
Fonte: Elaboração própria (2019).

O montante SEP4, para o modelo V e X, apresenta aproximadamente 15kN de diferença. Como nos dois casos são utilizados contraventamentos em fita, ambos trabalham da mesma forma, ou seja, a diagonal do contraventamento é tracionada devido à influência das forças horizontais. Como esta diagonal está ligada ao perfil SEP4, isso pode fazer com que este montante tenha um valor de compressão maior, a fim de manter a estabilidade do painel e a eficiência das fitas de contraventamento.

No caso do modelo em K, devido à configuração dos montantes, não foi possível colocar o contraventamento ligado diretamente no SEP4. Por isso, este foi disposto de forma que ficasse o mais próximo possível do encontro de painéis. Como os esforços no sistema LSF são descarregados linearmente montante a montante e o contraventamento não está ligado diretamente ao SEP4, o montante acaba não recebendo os esforços provenientes desse contraventamento.

Diferentemente ocorre no montante SEP1, onde o contraventamento em K está ligado diretamente no montante, tanto no painel paralelo à ação principal do vento, Figura 39, quanto no painel perpendicular, ver Figura 40, fazendo com que neste tipo de contraventamento fosse apresentado o maior valor solicitante.

Figura 40- Painel perpendicular ao painel A contraventado

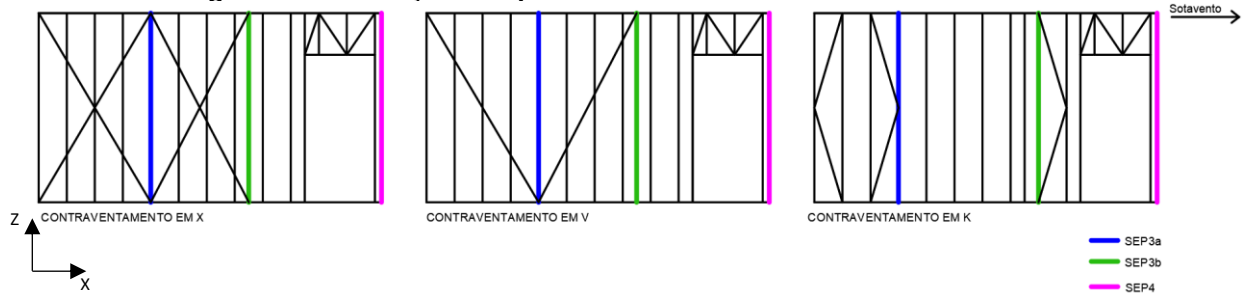


Fonte: Elaboração própria (2019).

Observa-se que quando o painel é perpendicular à ação do vento, o contraventamento em K torna-se mais eficiente, absorvendo melhor os esforços referentes à ação horizontal. Já nos modelo V e X, como no painel A, Figura 39, a diagonal que está conectada ao SEP1 é a contrária a que está sendo tracionada, deixando o SEP1 menos solicitado.

Para o painel B, apresentado na Figura 41, os perfis analisados são do tipo SEP3. A fim de discriminá-los na análise, o montante do meio do painel será denominado de SEP3a e o da extrema SEP3b.

Figura 41 – Indicação dos perfis analisados no Painel B contraventado



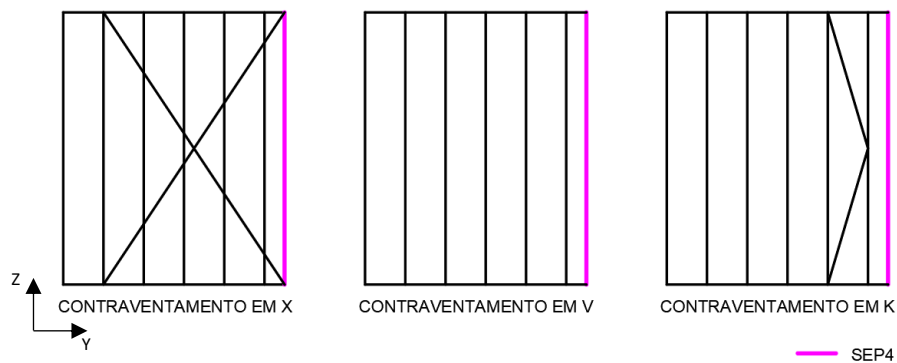
Fonte: Elaboração própria (2019).

O SEP3a apresentou para o modelo X o maior valor solicitante de compressão para a combinação do ELU, considerando a sobrecarga como variável principal. Já para o modelo V e K, a combinação considerando o vento como variável principal, foi a que apresentou a maior solicitação.

O valor mais solicitado do SEP3b é dado pelo contraventamento em V, considerando o vento como variável principal. Para o contraventamento em X, obteve-se o mesmo valor solicitante de compressão tanto para SEP3a quanto para o SEP3b, considerando a sobrecarga como variável principal. Quando a variável principal foi o vento, a diagonal em contato com o SEP3b é mais tracionada que a do SEP3a, devido à proximidade deste da extrema do painel, onde sofre influência direta do sota-vento, tornando este montante mais solicitado.

No modelo em V, o painel C não possui contraventamento, ver Figura 42, pois durante a elaboração do modelo mostrou-se desnecessário um contraventamento neste painel. Apesar do modelo X e K também não apresentarem tanta eficiência, decidiu-se contraventar o painel, a fim de comparação dos esforços.

Figura 42 – Indicação do perfil analisado no Painel C contraventado



Fonte: Elaboração própria (2019).

Todos os modelos obtiveram valores de compressão bem parecidos, sendo o maior esforço solicitante dado pelo contraventamento em K, seguido do contraventamento em X e do contraventamento em V.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a realização das modelagens propostas neste trabalho, foi possível obter conclusões sobre a influência dos contraventamentos na estrutura, as quais serão apresentadas no item 5.1. Além disso, no item 5.2 serão apresentadas sugestões para trabalhos futuros, no intuito de contribuir com a expansão do sistema *Light Steel Framing*.

5.1. Conclusões Gerais

Os estudos realizados no presente trabalho mostraram que no sistema *Light Steel Framing*, por ser um sistema leve, as cargas gravitacionais da estrutura metálica exercem pouca influência, se comparadas às cargas horizontais produzidas pela ação do vento. Para garantir a estabilidade global da estrutura são utilizados contraventamentos, que auxiliam na absorção das ações das cargas horizontais.

Através das modelagens percebeu-se a importância dos contraventamentos em uma estrutura com pequena rigidez à torção nos nós, podendo levar a estrutura se configurar como hipostática.

Na análise dos contraventamentos com disposições em V, K e X, pode-se concluir que os deslocamentos máximos laterais encontrados para os efeitos de 2ª ordem não ultrapassaram 10% da análise linear de 1ª ordem, mostrando ser dispensada a sua consideração para o edifício de 4 pavimentos estudado, conforme ABNT NBR 8800:2008. Sendo assim, foi realizado apenas uma análise de primeira ordem para os três modelos de contraventamento vistos neste trabalho.

Os contraventamentos em fita com disposição em V são mais adequados para conter os deslocamentos nos nós da estrutura causados pelas forças horizontais quando suas diagonais estão posicionadas a ângulos inferiores a 60° em relação às guias. O posicionamento com ângulos superiores ao mencionado demonstrou ser ineficiente para a absorção dos esforços laterais solicitados. Para a geometria do projeto adotado neste estudo, na qual os painéis possuem comprimentos reduzidos no eixo de maior influência das ações do vento (eixo x), o contraventamento em V mostrou-se não ser o mais indicado, pois, além de não ter conseguido absorver os esforços das ações horizontais com eficiência, acabou aumentando os esforços solicitantes nos montantes, nos quais as diagonais estavam conectadas.

Em relação aos contraventamentos em K, por formarem uma treliça, tornaram a estrutura mais rígida que os contraventamentos em fitas, sendo o

contraventamento que melhor respondeu na contenção dos painéis perpendiculares à ação principal do vento. Porém, como seus perfis são dispostos entre a modulação dos montantes, este contraventamento forma um “K” de apenas 40 centímetros de largura. Para conseguir absorver os esforços horizontais com uma maior eficiência precisaria que praticamente todo o painel fosse contraventado, o que tornaria a estrutura inteiramente treliçada. Desta forma, o custo construtivo ficaria elevado, devido à maior quantidade de aço, além de dificultar a execução, perdendo-se, assim, as principais vantagens que oferece o sistema *Light Steel Framing*, podendo tornar a construção inviável. Para os painéis que apresentaram muitas aberturas, no entanto, o contraventamento em K mostrou-se ser o mais indicado para auxiliar na estabilidade global e rigidez do painel, em relação aos contraventamentos em fita.

Nos contraventamentos em X, foi verificado que este modelo proporcionou os menores deslocamentos horizontais, comparados aos contraventamentos em K e em V, além de apresentar as menores solicitações nos montantes nos quais as diagonais foram conectadas. Uma das vantagens que foi observada para o posicionamento das diagonais deste modelo foi a geometria da edificação.

Sendo assim, a partir dos resultados obtidos, conclui-se que, entre os três diferentes tipos de contraventamento, o que apresentou melhor desempenho estrutural para o prédio de 4 pavimentos analisado no presente trabalho foi o contraventamento em fita com disposição em X.

5.2. Desenvolvimentos futuros

O presente trabalho faz parte de uma linha de pesquisa, na qual há muito o que investigar. Devido ao curto prazo para o desenvolvimento deste tema, não foi possível explorar algumas partes importantes do sistema LSF. Sendo assim, abaixo estão listadas algumas sugestões para desenvolvimentos futuros que possam contribuir na expansão desse sistema:

- Análise de cada tipo de contraventamento para edificações com mais de 4 pavimentos;
- Dimensionamento da estrutura, a fim de verificar se os diferentes esforços solicitantes encontrados para cada tipo de contraventamento pode alterar na especificação dos perfis;
- Análise dos contraventamentos, considerando as chapas OSB;

- Elaboração de um modelo estrutural no SAP200 completo, diminuindo as simplificações e modelando todos os elementos da estrutura.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto De Estruturas de Concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014. 255 p.

_____. **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980 Versão Corrigida 2000. 5 p.

_____. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1998 Versão Corrigida 2013. 66 p.

_____. **NBR 6355**: Perfis Estruturais de Aço Formados a Frio – Padronização. Rio de Janeiro, 2012. 36 p.

_____. **NBR 8800**: Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios. Rio de Janeiro, 2008. 237 p.

_____. **NBR 14762**: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro, 2010. 87 p.

_____. **NBR 15253**: Perfis de Aço Formados a Frio, com Revestimento Metálico, para painéis estruturais reticulados em edificações – Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2014. 24 p.

BARROS, V. V. B. **Estruturas em Light Steel Framing: Projeto e Dimensionamento em Softwares 3D**. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

BATISTA, R.C. **Análise Estrutural de uma residência constituída por perfis de aço galvanizados de pequena espessura formados a frio segundo o sistema construtivo – Light Steel Framing (LSF)**. 2011. 34 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

BEVILAQUA, R. **Estudo comparativo do desempenho estrutural de prédios estruturados em perfis formados a frio segundo os sistemas aporricado e “Light Steel Framing”**. 2005. 247 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

CBCA – **LIGHT STEEL FRAMING – Aplicações do Sistema Construtivo**. Arquitetura e Aço. Rio de Janeiro, Set. 2016 n. 47. 40 p.

COSTA, A. A. R. **Estudo da Flambagem Local de Perfis U Enrijecidos em Situação de Incêndio**. 120 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

CRASTO, R. C. M. **Arquitetura e Tecnologia em sistemas construtivos industrializados: Light Steel Framing**. 255 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005.

EN 300. (2006). Oriented Strand Boards (OSB) - Definitions, Classification and Specifications. European Committee for Standardization (CEN), Bruxelas.

FUTURENG. **Origens e História do LSF**. 2003. Disponível em: <<http://www.futureng.pt/origens>>. Acesso em: 21 set. 2018.

FUTURENG. **Placas OSB**. 2015. Disponível em: <<http://www.futureng.pt/osb>> Acesso em: 21 set. 2018.

GRIGOLETTI, Gladimir de Campos. **Dimensionamento de Perfis de Aço Formados a Frio: Método da Resistência Direta versus Método da Largura Efetiva**. XI Semana de Extensão, Pesquisa e Pós-Graduação SEPesq, 2015.

IGLESIA, Socrate Muñoz. **O efeito O-Delta nas estruturas de edifícios**. 2016. Disponível em: < <http://maisengenharia.altoqi.com.br/estrutural/o-efeito-p-delta-nas-estruturas-de-edificios/>> . Acesso em 17 out. 2018.

LEITE, G. C. V. M. **Estudo de Modificação Estrutural de um Edifício de Pequeno Porte para o Sistema Light Steel Framing**. 2014. 145 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

MENDES, H. O. **Procedimento para a Análise e Dimensionamento de Estruturas de Edifícios em Aço Leve**. 2015. 84 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2015.

MONTEIRO, A. C. L. **Análise da Capacidade resistente de painéis Light Steel Frame com foco na modelagem numérica**. 75 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

PRUDÊNCIO, M. V. M. V. **Projeto e Análise comparativa de custos de uma residência unifamiliar utilizando os sistemas construtivos e Light Steel Framing**. 2013. 66 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2013.

REGO, D. J. M. **Estruturas de Edifícios em Light Steel Framing**. 176 p. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2012.

RODRIGUES, Francisco Carlos; CALDAS, Rodrigo Barreto. **Steel Framing: Engenharia**. Manual de Construção em Aço. 2a ed. Rio de Janeiro: CBCA, 2016. 224 p.

SANTIAGO, Alexandre K.; FREITAS, Arlene Maria S.; CRASTO, Renata Cristina M. **Steel Framing: Arquitetura**. Manual de Construção em Aço. 2a ed. Rio de Janeiro: CBCA, 2012. 152 p.

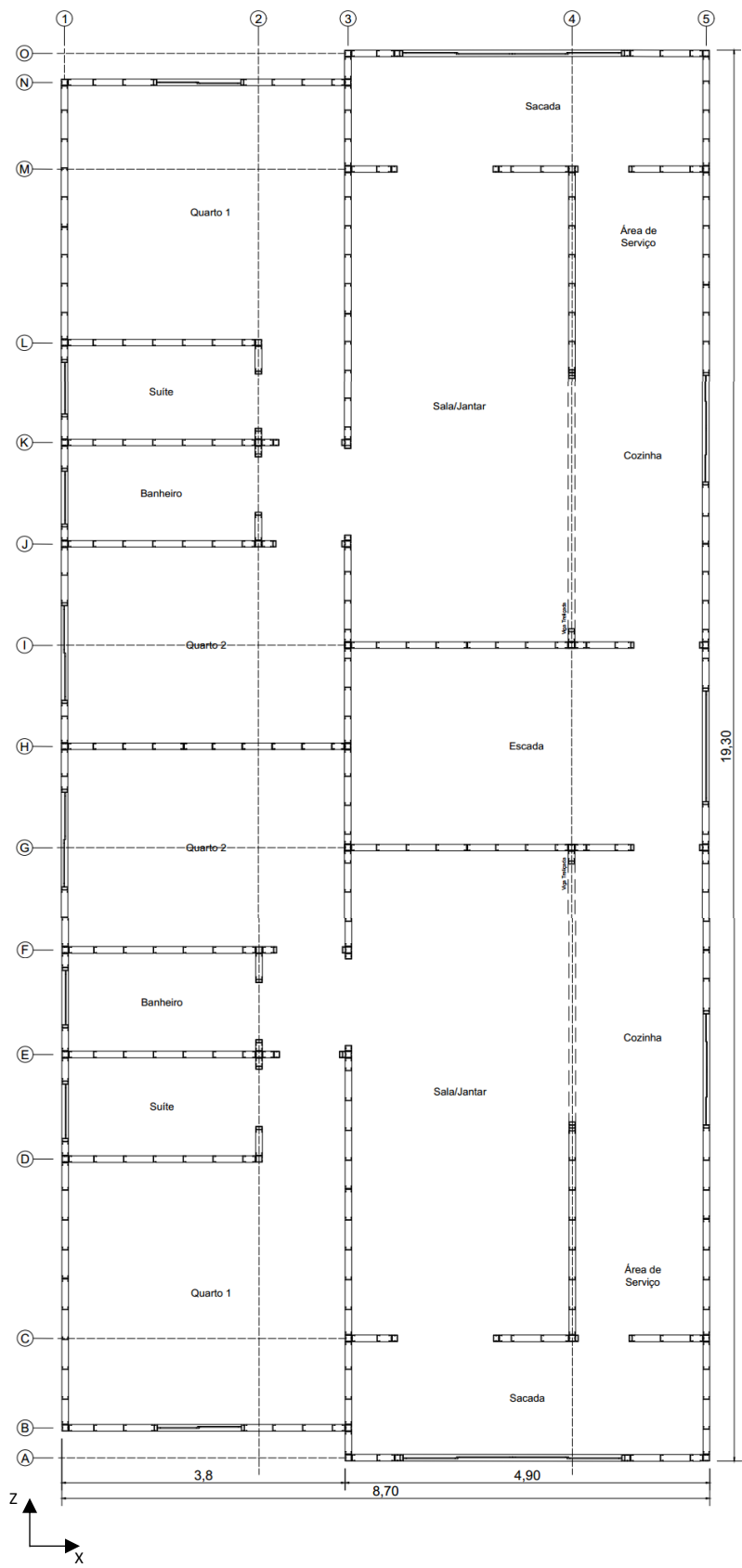
SANTOS, António A. et al. **Manual de Concepção de Estruturas e Edifícios em LSF**. CMM – Associação Portuguesa de Construção Metálica e Mista. Coimbra, 2013, 234 p.

SILVA, Edson Lubas; PIERIN, Igor; SILVA, Valdir Pignatta e. **Estruturas Compostas por Perfis Formados à Frio**: Dimensionamento pelo método das larguras efetivas e aplicação conforme ABNT NBR 14762:2010 e ABNT NBR 6355:2012. 1a ed. Rio de Janeiro: CBCA, 2014. 193 p.

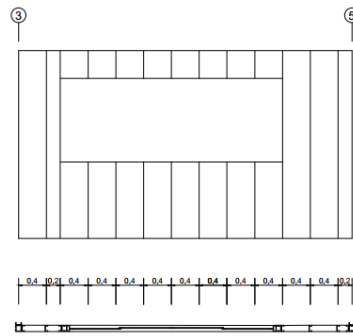
SILVA, Fernando Simões. **Fechamento Externo para Steel Frame**. 2008. Disponível em: <<http://construcaomercado17.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/82/steel-frame-281984-1.aspx>>. Acesso em: 08 nov. 2018.

VILLELA, Sabrina Moreira. **Determinação das Propriedades Mecânicas das Placas de OSB e do Comportamento da Ligação entre as Placas OSB e o Reticulado do Sistema Light Steel Framing**. 2015. 170 p. Dissertação (Mestre em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

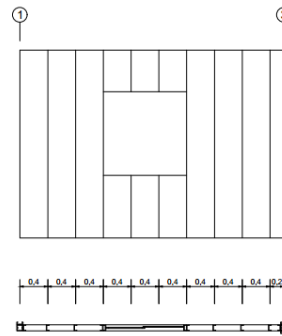
APÊNDICE A
PROJETO ADAPTADO PARA O SISTEMA *LIGHT STEEL FRAMING*
A.1. Planta baixa do pavimento tipo



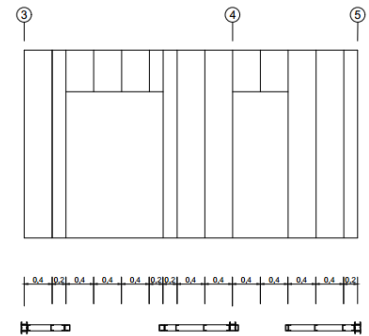
A.2. Elevações



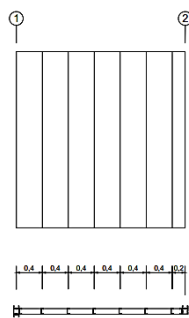
ELEVAÇÃO A/O



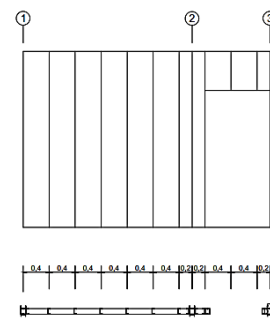
ELEVAÇÃO B/N



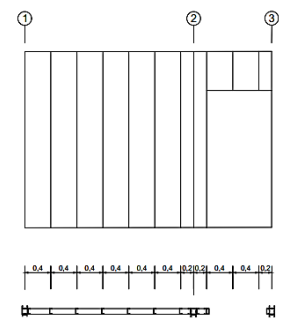
ELEVAÇÃO C/M



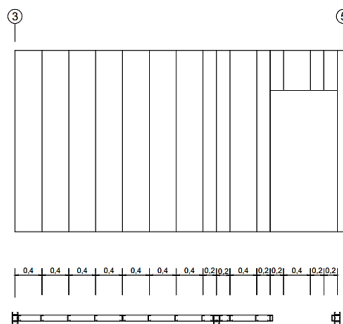
ELEVAÇÃO D/L



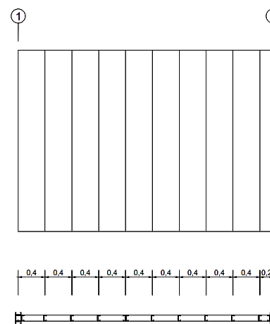
ELEVAÇÃO E/K



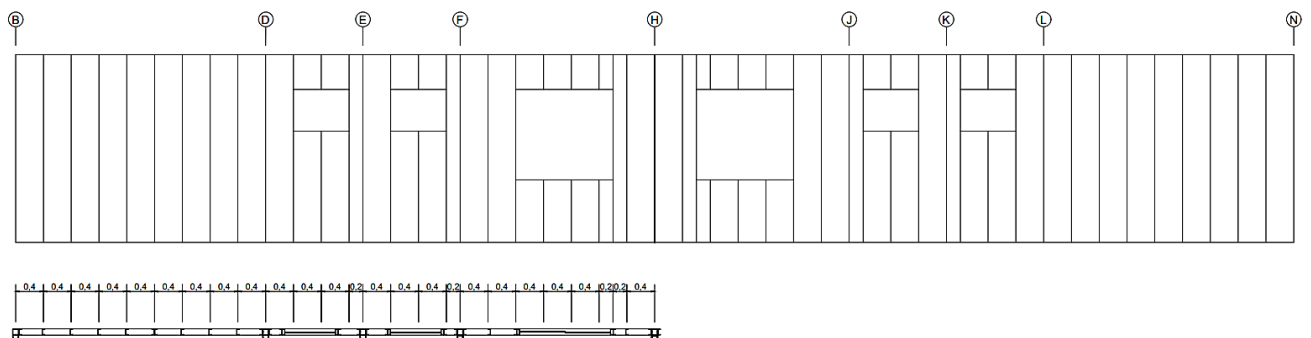
ELEVAÇÃO F/J



ELEVAÇÃO G/I



ELEVAÇÃO H



ELEVAÇÃO 1

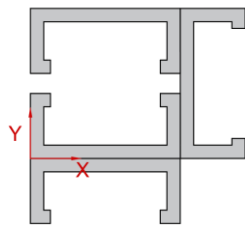
APÊNDICE B

PROPRIEDADE DOS PERFIS COMPOSTOS

Através da ferramenta “*Section Designer*” disponibilizada pelo SAP2000, foi possível desenhar a geometrias dos perfis e determinar as propriedades para cada perfil composto.

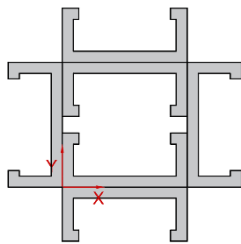
B.1. Perfis de encontro de painéis

Seção de Encontro Painéis Tipo 1 (SEP1): 4x Ue 90x40x12x0,95



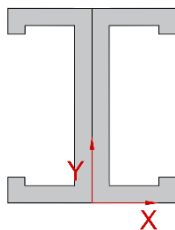
$$\begin{aligned} A &= 9,31 \text{ cm}^2 \\ I_x &= 152,21 \text{ cm}^4 \\ I_y &= 155,05 \text{ cm}^4 \\ x_{cg} &= 5,96 \text{ cm} \\ y_{cg} &= 3,04 \text{ cm} \end{aligned}$$

Seção de Encontro Painéis Tipo 2 (SEP2): 6x Ue 90x40x12x0,95



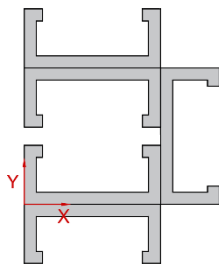
$$\begin{aligned} A &= 13,96 \text{ cm}^2 \\ I_x &= 286,33 \text{ cm}^4 \\ I_y &= 289,18 \text{ cm}^4 \\ x_{cg} &= 4,50 \text{ cm} \\ y_{cg} &= 4,50 \text{ cm} \end{aligned}$$

Seção de Encontro Painéis Tipo 3 (SEP3): 2x Ue 90x40x12x0,95



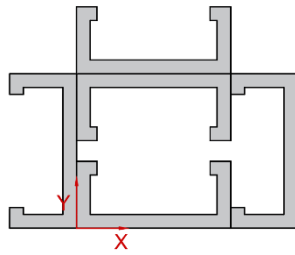
$$\begin{aligned} A &= 4,65 \text{ cm}^2 \\ I_x &= 60,39 \text{ cm}^4 \\ I_y &= 18,73 \text{ cm}^4 \\ x_{cg} &= 0 \text{ cm} \\ y_{cg} &= 4,50 \text{ cm} \end{aligned}$$

Seção de Encontro Painéis Tipo 4 (SEP4): 5x Ue 90x40x12x0,95



$$\begin{aligned} A &= 11,64 \text{ cm}^2 \\ I_x &= 256,14 \text{ cm}^4 \\ I_y &= 189,19 \text{ cm}^4 \\ x_{cg} &= 5,66 \text{ cm} \\ y_{cg} &= 4,50 \text{ cm} \end{aligned}$$

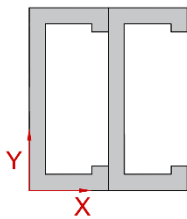
Seção de Encontro Painéis Tipo 5 (SEP5): 5x Ue 90x40x12x0,95



$$\begin{aligned} A &= 11,64 \text{ cm}^2 \\ I_x &= 188,60 \text{ cm}^4 \\ I_y &= 186,60 \text{ cm}^4 \\ x_{cg} &= 4,77 \text{ cm} \\ y_{cg} &= 5,66 \text{ cm} \end{aligned}$$

B.2. Perfil composto para as aberturas nos painéis

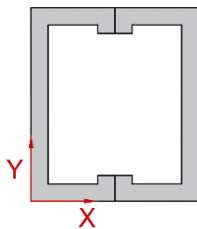
2x Ue 90x40x12x0,95



$$\begin{aligned} A &= 4,65 \text{ cm}^2 \\ I_x &= 60,39 \text{ cm}^4 \\ I_y &= 29,19 \text{ cm}^4 \\ x_{cg} &= 3,32 \text{ cm} \\ y_{cg} &= 4,50 \text{ cm} \end{aligned}$$

B.3. Perfil composto para as Guias/Vigas

2x Ue 90x40x12x0,95



$$\begin{aligned} A &= 4,65 \text{ cm}^2 \\ I_x &= 60,39 \text{ cm}^4 \\ I_y &= 43,92 \text{ cm}^4 \\ x_{cg} &= 4,00 \text{ cm} \\ y_{cg} &= 4,50 \text{ cm} \end{aligned}$$

APÊNDICE C
CONTRAVENTAMENTO NOS MODELOS

Abaixo estão apresentados somente as elevações que possuem os painéis contraventado para cada modelo.

C.1. Contraventamento em X

Figura C. 1 - Elevação 1 do Contraventamento em X

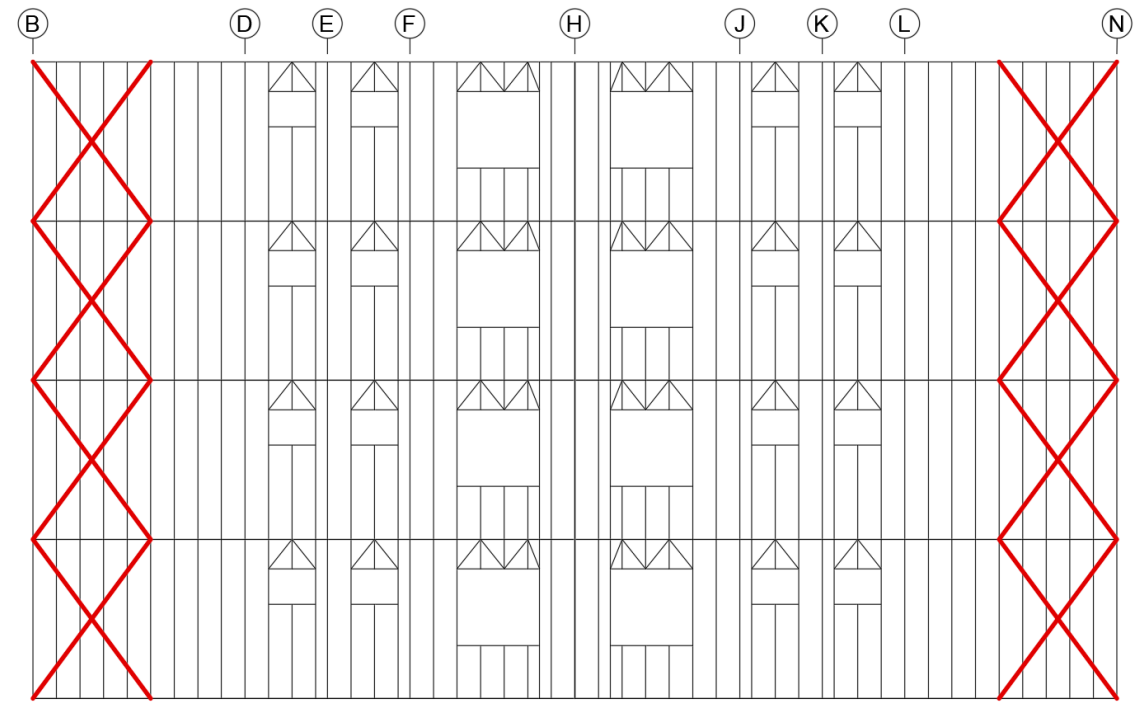


Figura C. 2 - Elevação 3 do Contraventamento X

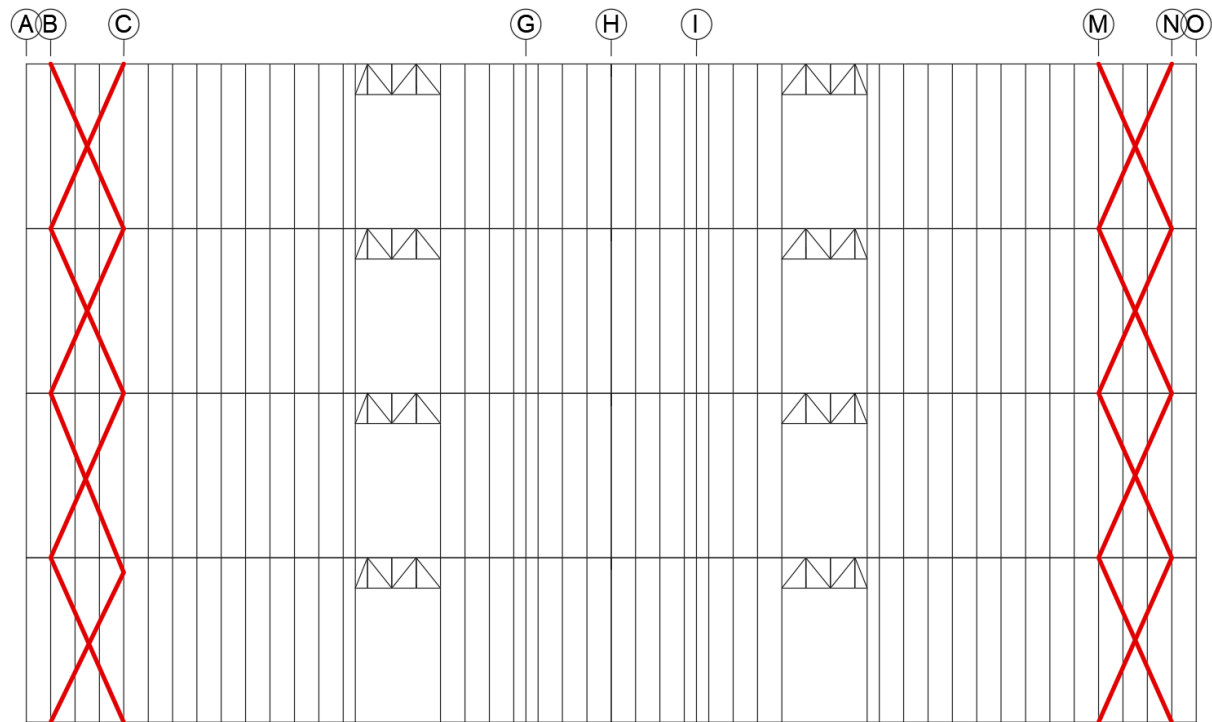


Figura C. 3- Elevação 4 do Contraventamento X

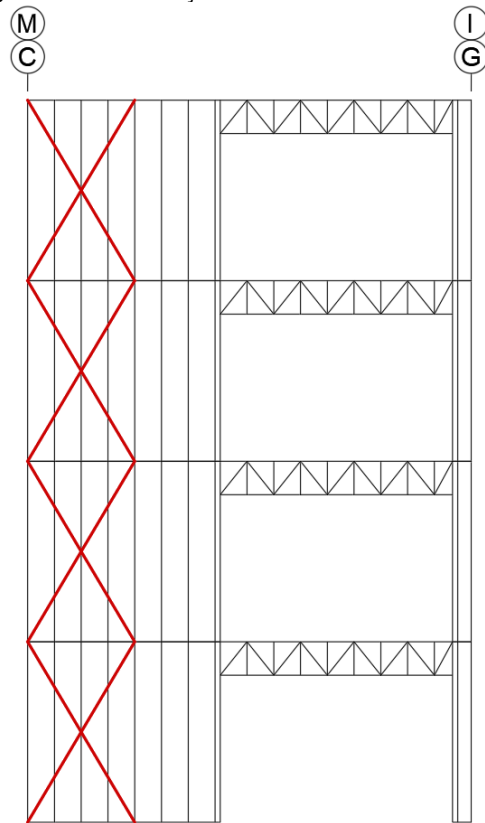


Figura C. 4 - Elevação 5 do Contraventamento X

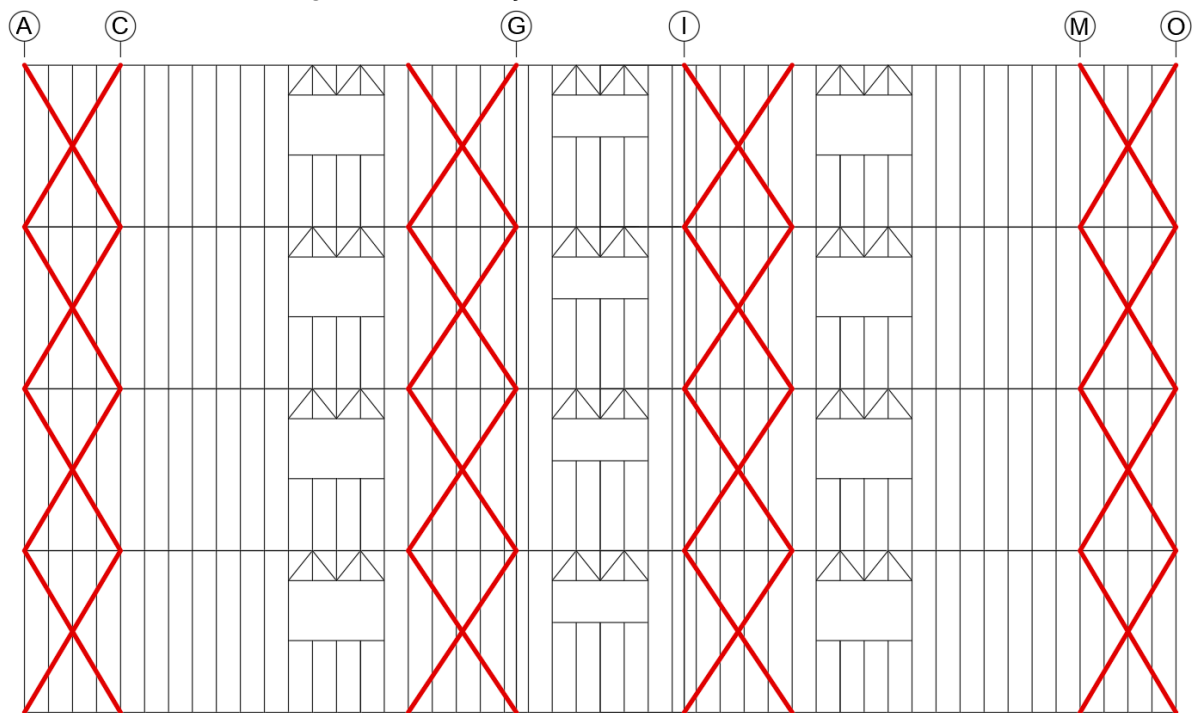


Figura C. 5 - (a) Elevação B/N, (b) Elevação D/L e (c) Elevação E/K do Contraventamento X

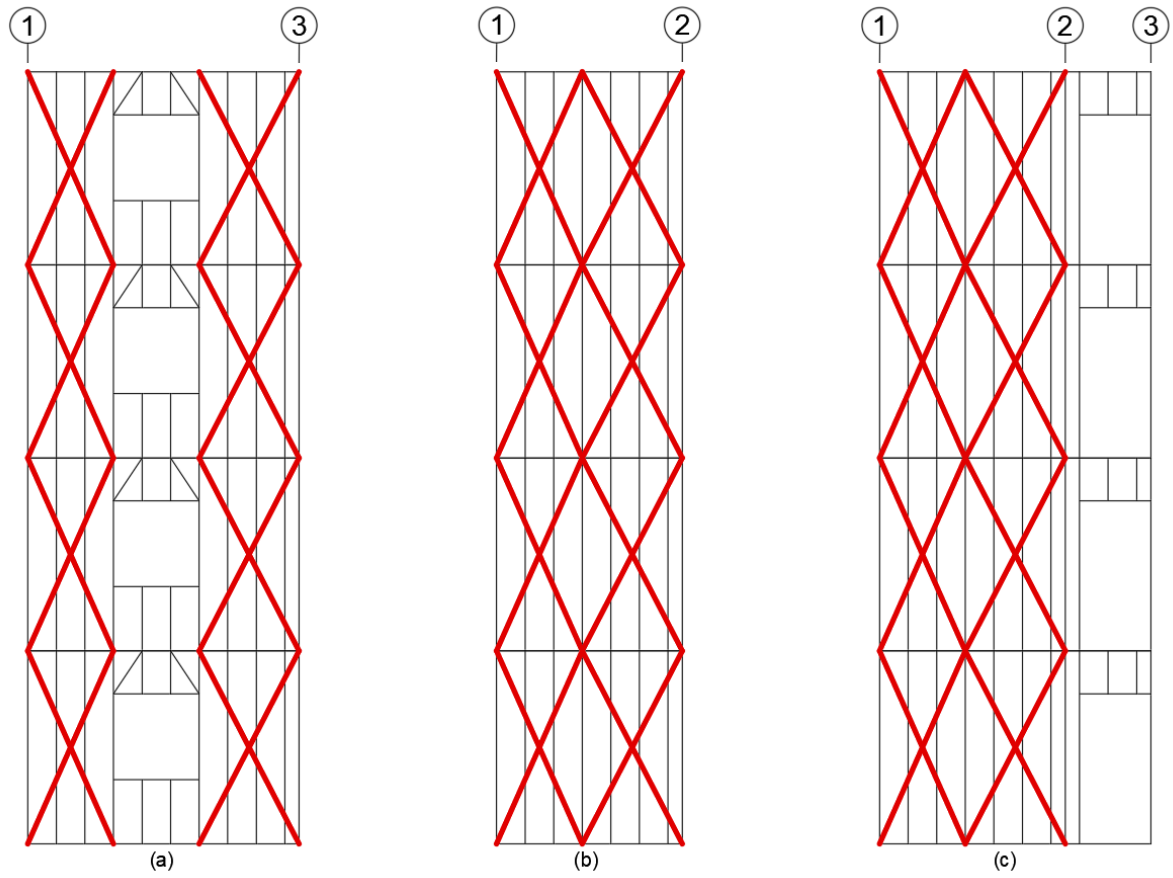
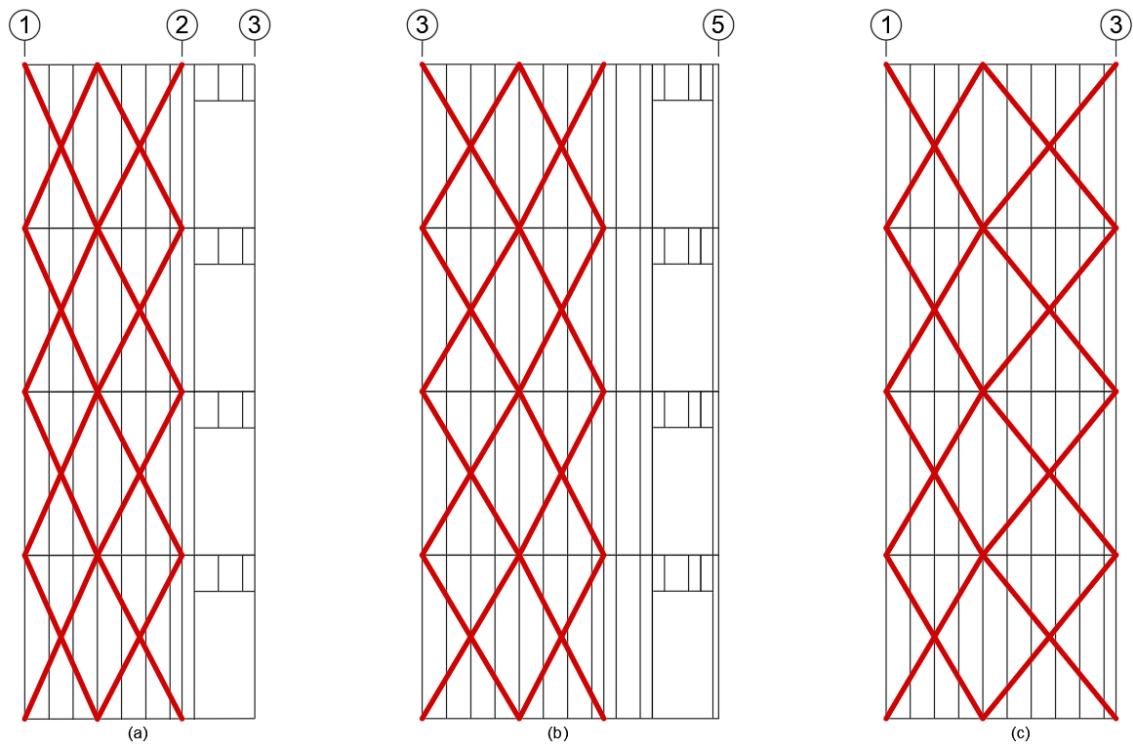


Figura C. 6- (a) Elevação F/J, (b) Elevação G/I e (c) Elevação H do Contraventamento X



C.2. Contraventamento em V

Figura C. 7 - Elevação 1 do Contraventamento em V

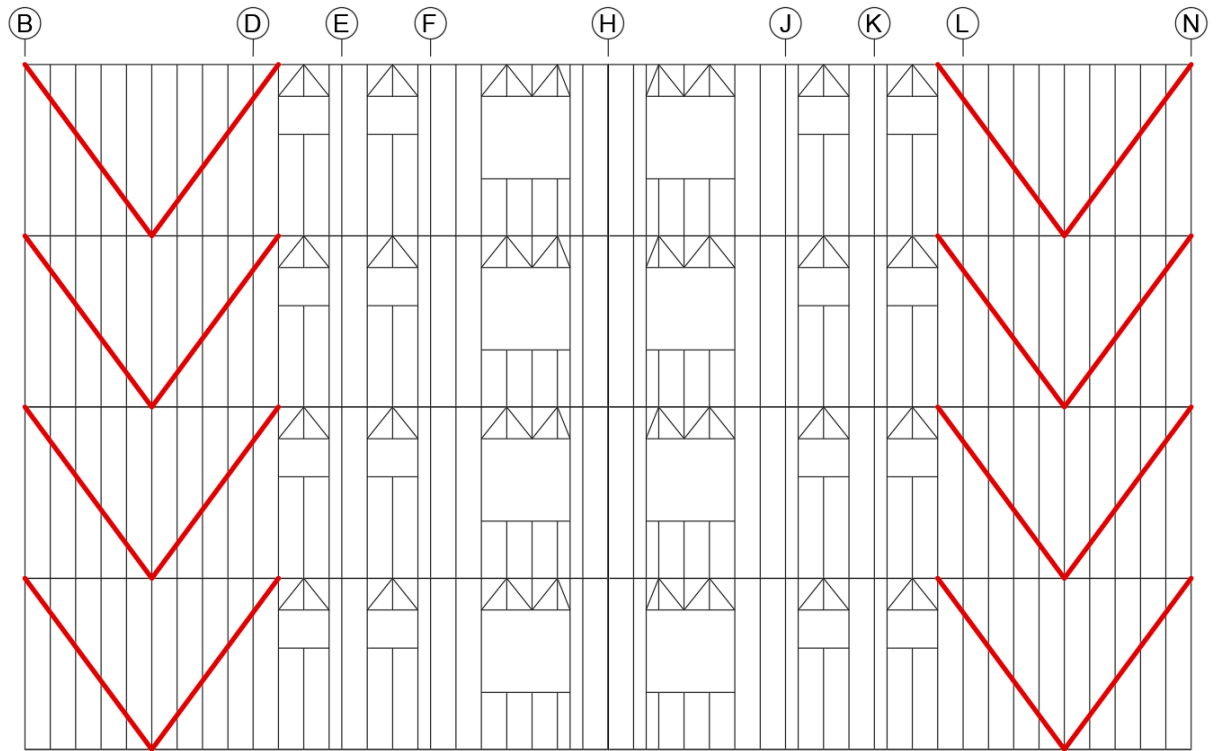


Figura C. 8 - Elevação 3 do Contraventamento V

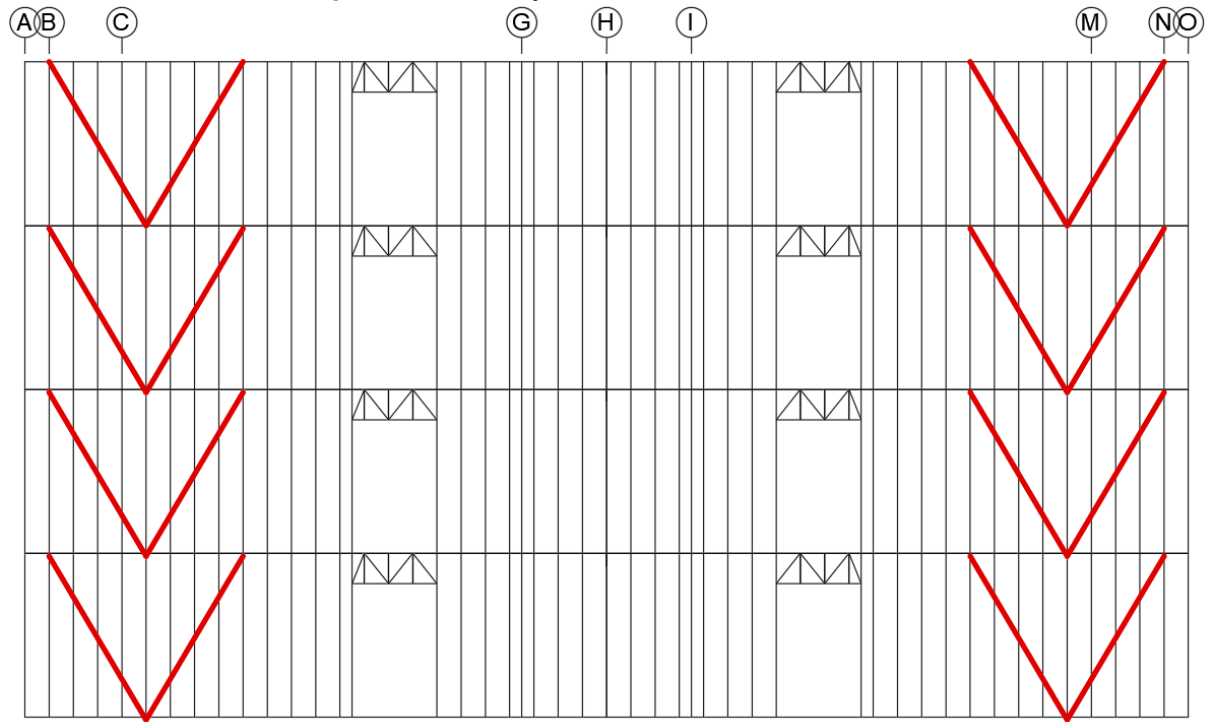


Figura C. 9 - Elevação 5 do Contraventamento V

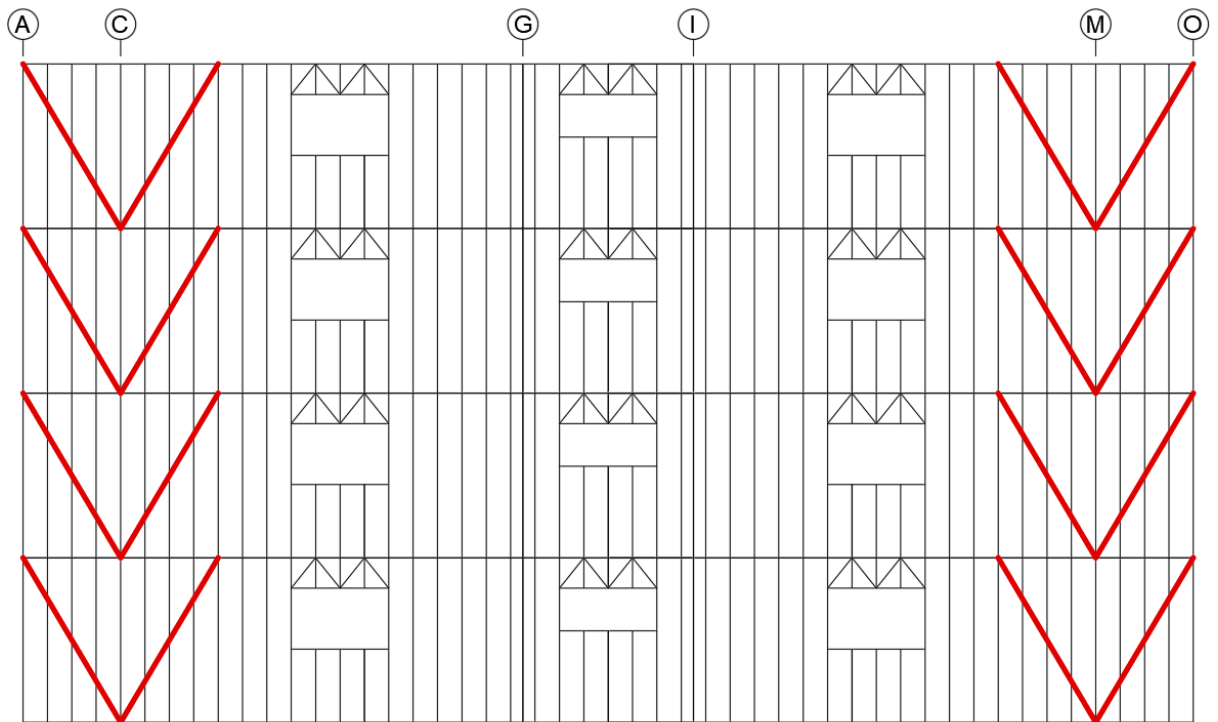


Figura C. 10 - (a) Elevação B/N, (b) Elevação D/L e (c) Elevação E/K do Contraventamento V

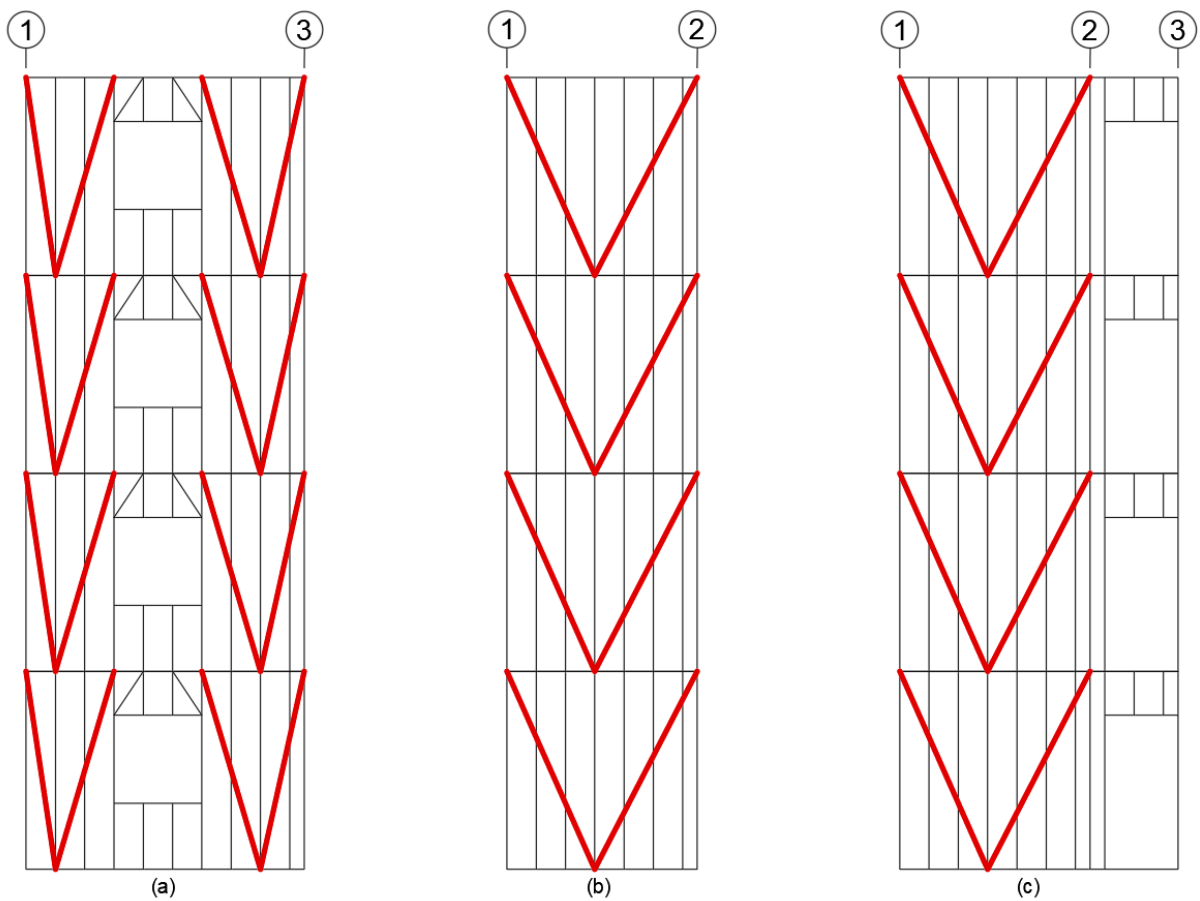
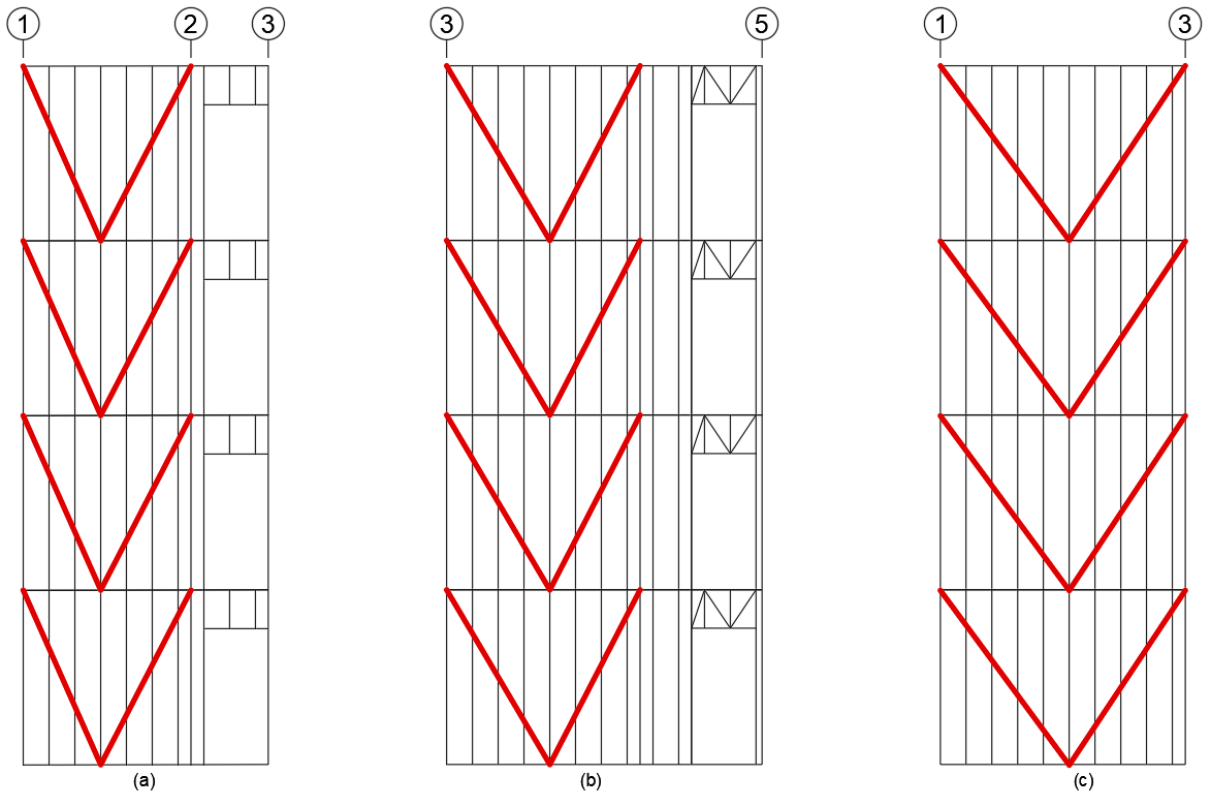


Figura C. 11- (a) Elevação F/J, (b) Elevação G/I e (c) Elevação H do Contraventamento V



C.3. Contraventamento em K

Figura C. 12 - Elevação 1 do Contraventamento em K

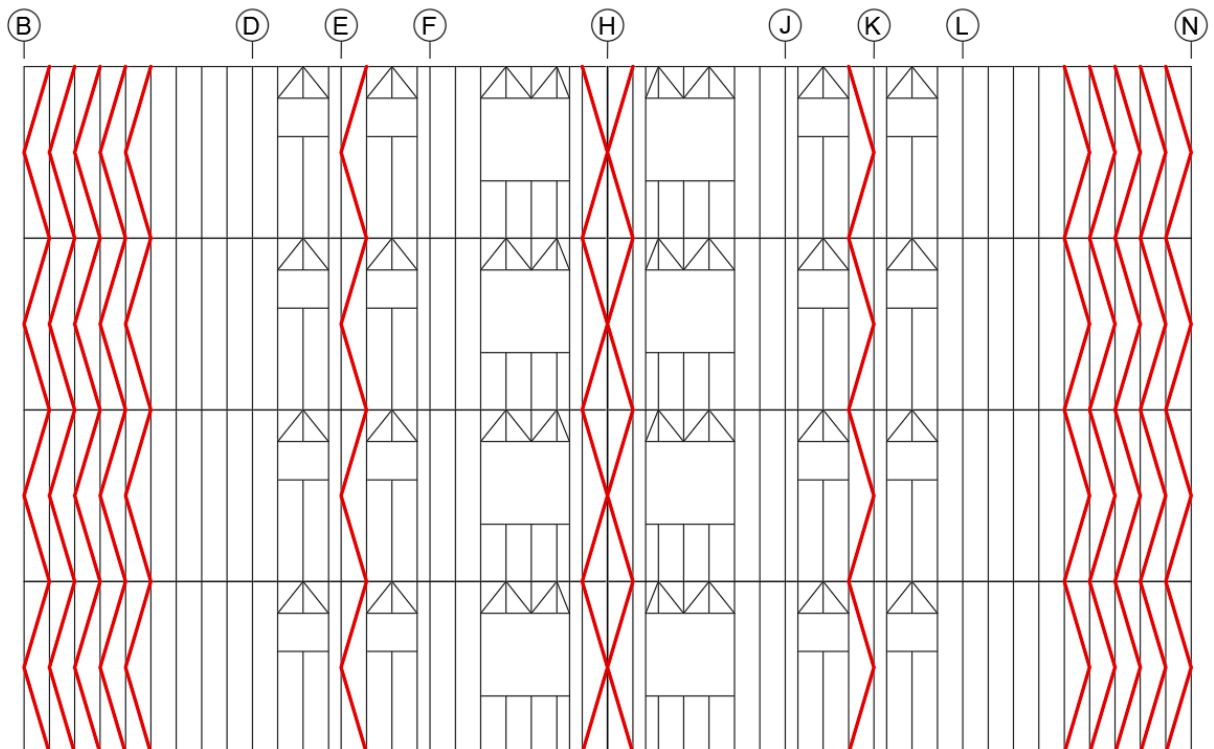


Figura C. 13 - Elevação 3 do Contraventamento K

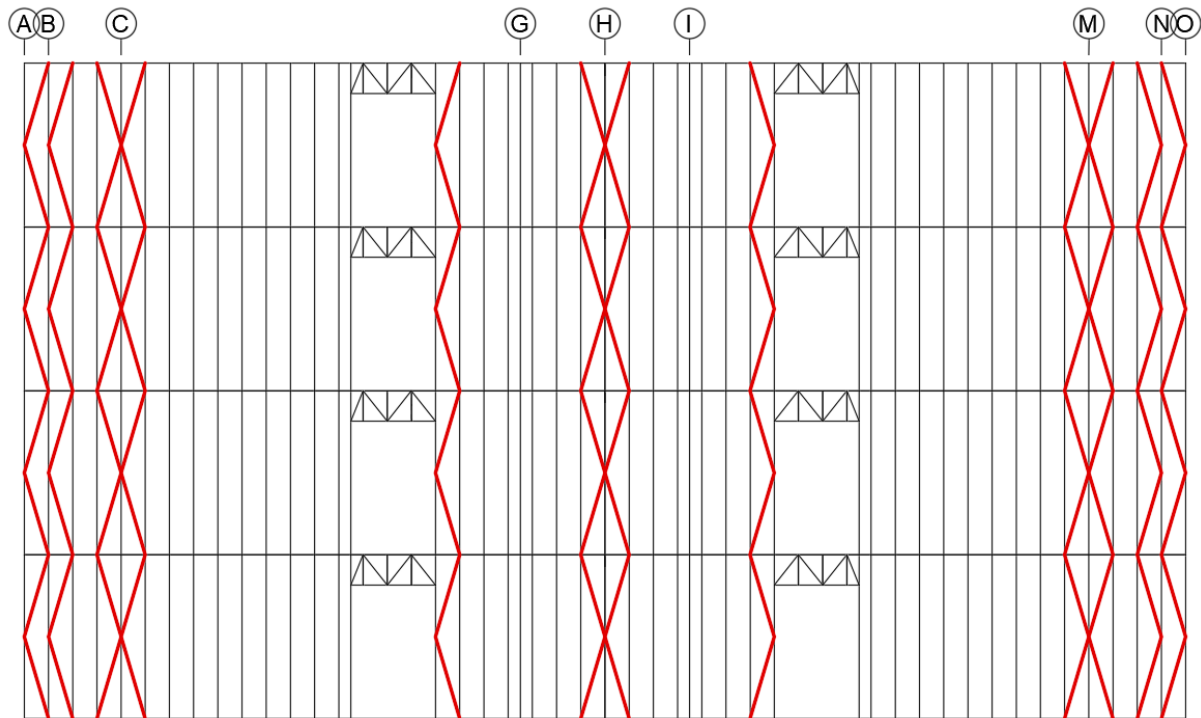


Figura C. 14- Elevação 4 do Contraventamento K

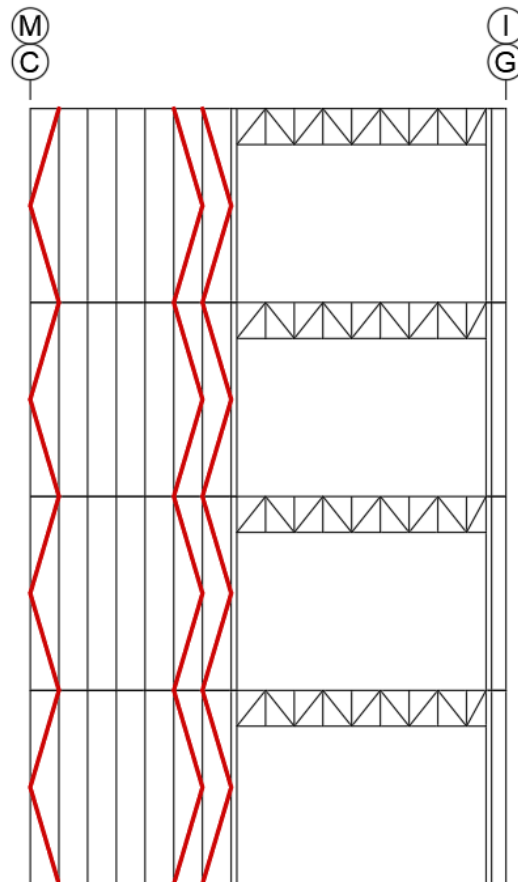


Figura C. 15 - Elevação 5 do Contraventamento K

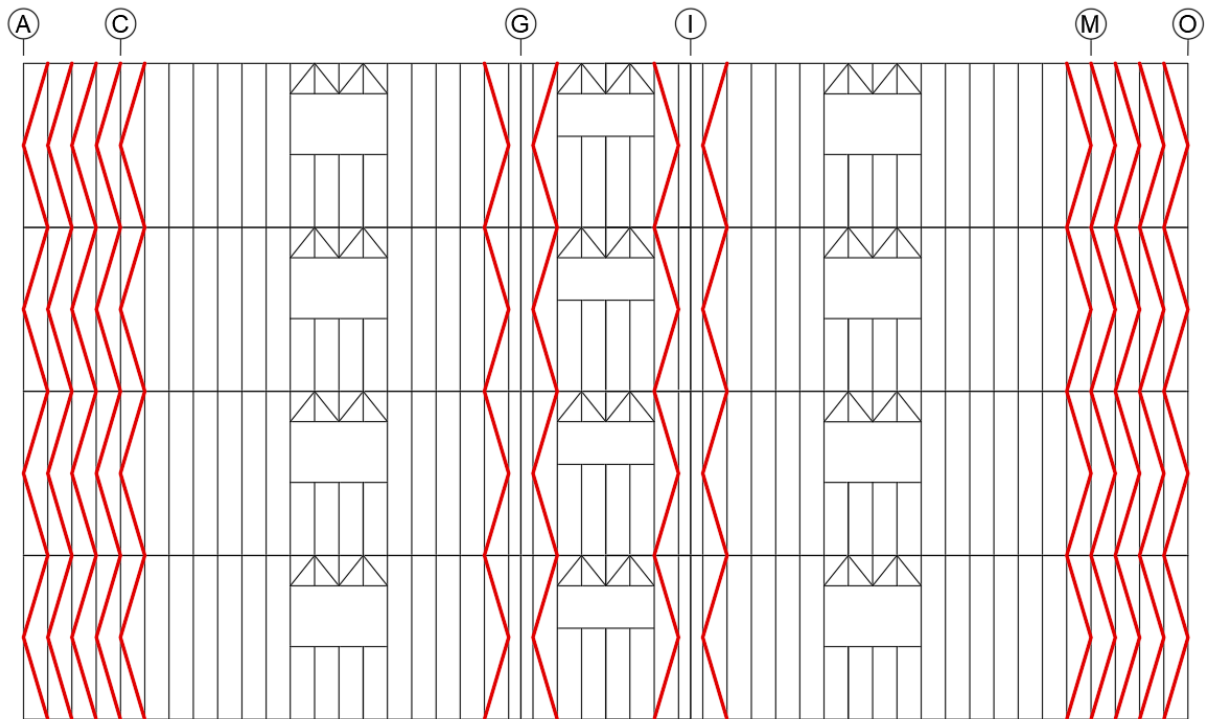


Figura C. 16 - (a) Elevação A/O, (b) Elevação B/N e (c) Elevação C/M do Contraventamento K

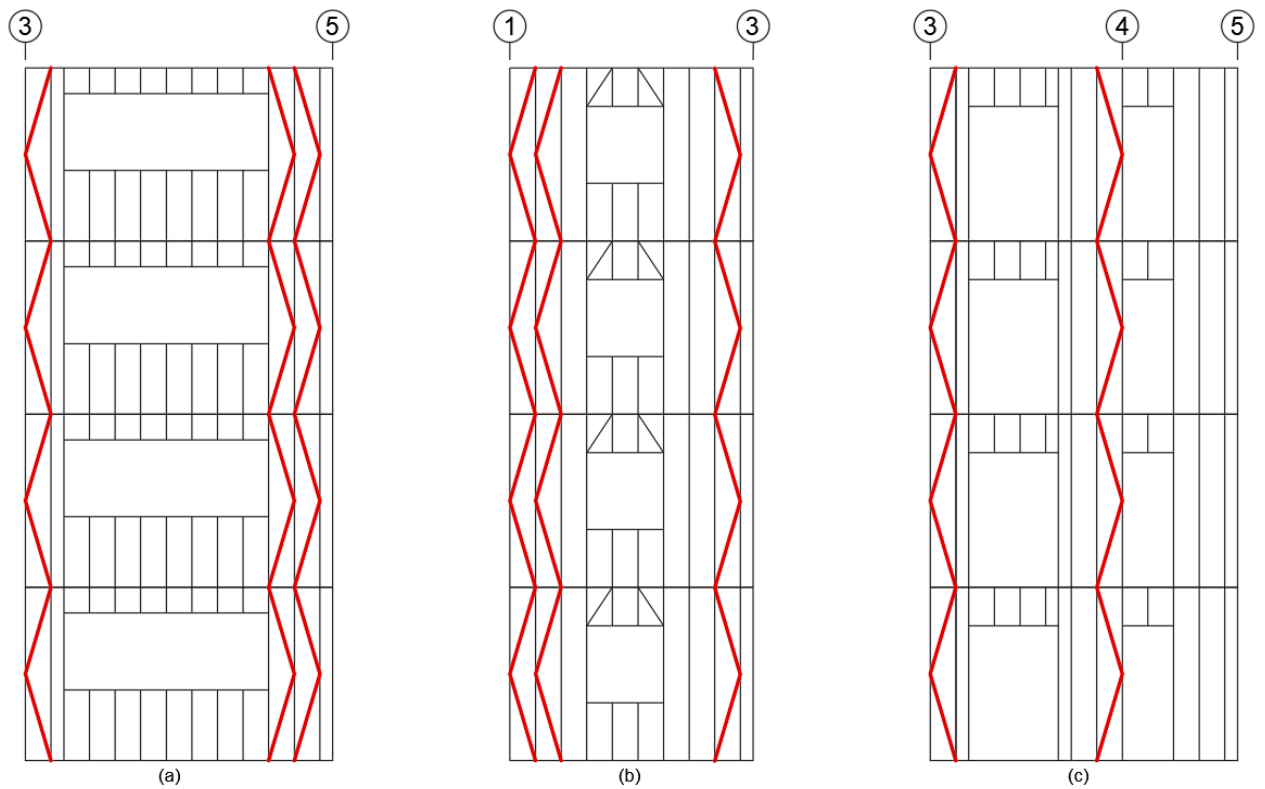
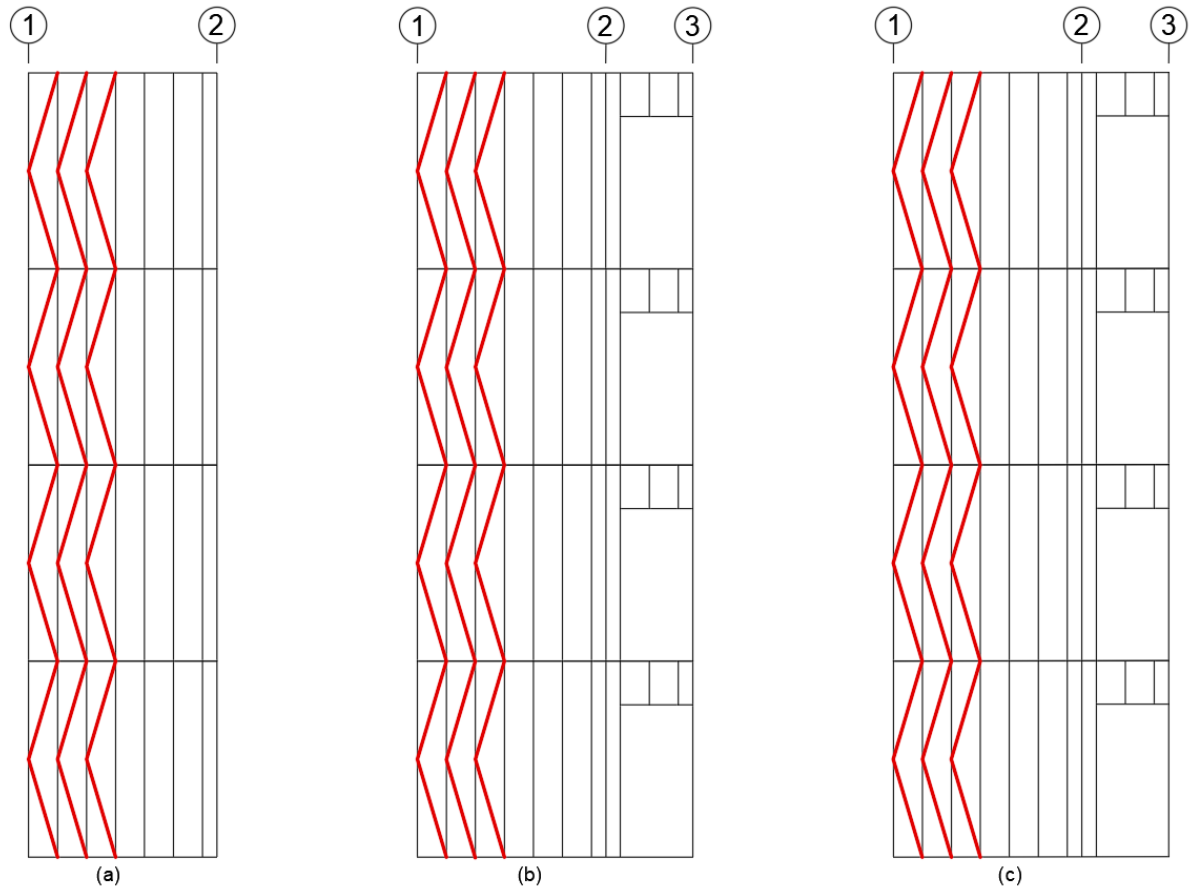


Figura C. 17- (a) Elevação D/L, (b) Elevação E/K e (c) Elevação F/L do Contraventamento K

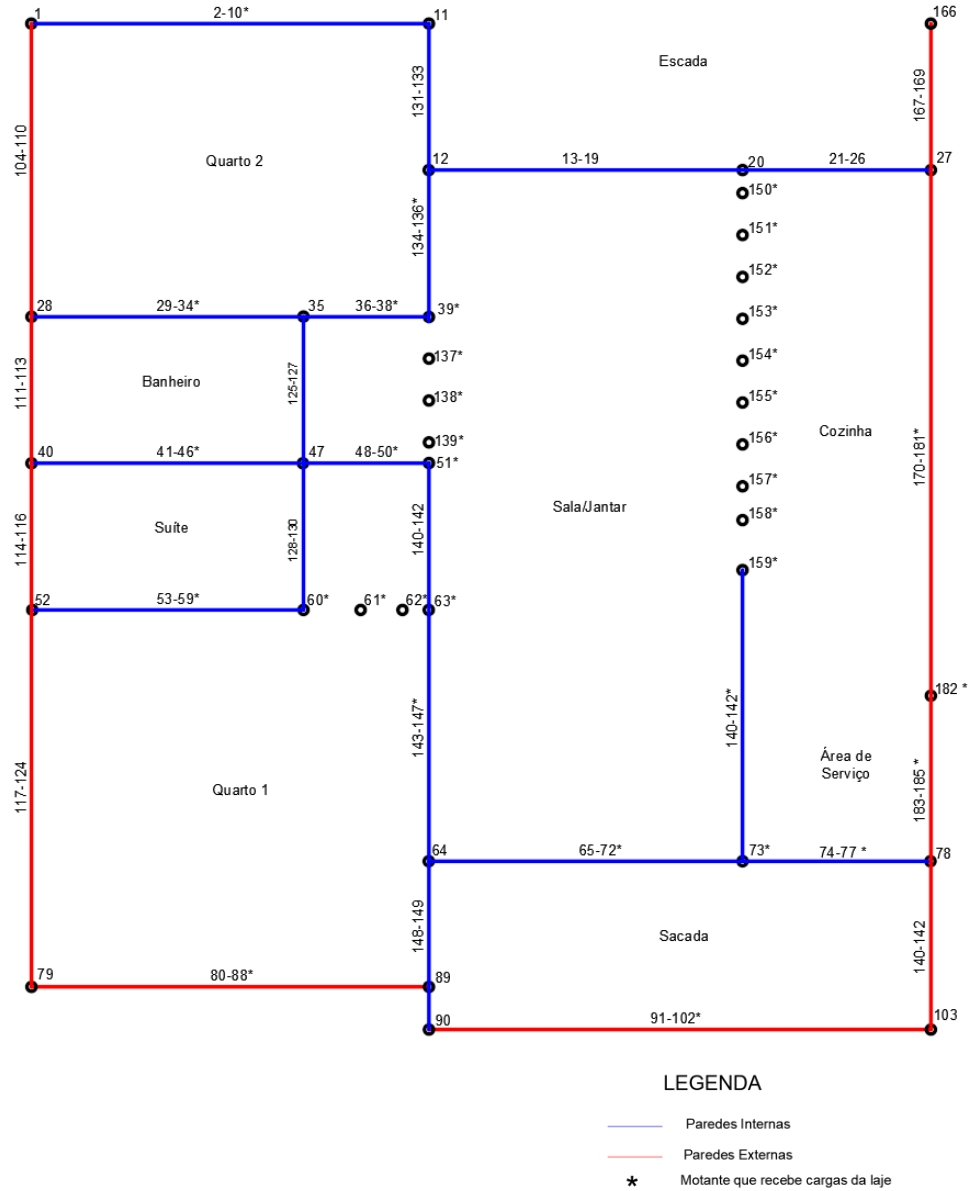


APÊNDICE D

CARREGAMENTO POR NÓS

D.1 Mapeamento dos Pontos

Figura D. 1 - Mapeamento dos nós



D.2 Planilhas

Tabela E. 1 - Carregamentos dos Pavimentos Tipo e Cobertura/nó

Carregamentos Nós Pavimento Tipo								Carregamentos Nós Cobertura							
ref	CP1 (kN)	CP2 (kN)	CP	SC1 (kN)	SC2 (kN)	SC3 (kN)	SC	ref	CP1 (kN)	CP2 (kN)	CP	SC1 (kN)	SC2 (kN)	SC3 (kN)	SC
1	-	0,10	0,10	-	-	-	0,00	1	-	-	-	-	-	-	-
2-10	0,90	0,11	1,01	1,68	-	-	1,68	2-10	0,56	-	0,56	0,56	-	-	0,56
11	-	0,17	0,17	-	-	0,40	0,40	11	-	0,17	0,17	-	1,23	-	1,23
12	-	0,17	0,17	-	-	0,40	0,40	12	-	0,17	0,17	-	1,23	-	1,23
13-19	0,48	0,11	0,59	0,90	-	0,40	1,30	13-19	0,30	0,11	0,41	0,30	1,23	-	1,53
20	-	0,11	0,11	-	-	0,40	0,40	20	-	0,11	0,11	-	1,23	-	1,23
21-26	0,48	0,11	0,59	0,90	-	0,40	1,30	21-26	0,30	0,11	0,41	0,30	1,23	-	1,53
27	-	0,14	0,14	-	-	-	0,00	27	-	0,05	0,05	-	-	-	-
28	-	0,10	0,10	-	-	-	0,00	28	-	-	-	-	-	-	-
29-34	0,67	0,11	0,78	1,26	-	-	1,26	29-34	0,42	-	0,42	0,42	-	-	0,42
35	-	0,17	0,17	-	-	-	0,00	35	-	-	-	-	-	-	-
36-38	0,67	0,11	0,78	1,26	-	-	1,26	36-38	0,42	-	0,42	0,42	-	-	0,42
39	0,48	0,17	0,65	0,90	-	-	0,90	39	0,30	-	0,30	0,30	-	-	0,30
40	-	0,10	0,10	-	-	-	0,00	40	-	-	-	-	-	-	-
41-46	0,45	0,11	0,56	0,84	-	-	0,84	41-46	0,28	-	0,28	0,28	-	-	0,28
47	-	0,22	0,22	-	-	-	0,00	47	-	-	-	-	-	-	-
48-50	0,45	0,11	0,56	0,84	-	-	0,84	48-50	0,28	-	0,28	0,28	-	-	0,28
51	-	0,11	0,11	-	-	-	0,00	51	-	-	-	-	-	-	-
52	-	0,10	0,10	-	-	-	0,00	52	-	-	-	-	-	-	-
53-58	0,80	0,11	0,91	1,50	-	-	1,50	53-58	0,50	-	0,50	0,50	-	-	0,50
59	-	0,11	0,11	-	-	-	0,00	59	-	-	-	-	-	-	-
60-62	0,80	-	0,80	1,50	-	-	1,50	60-62	0,50	-	0,50	0,50	-	-	0,50
63	0,48	0,11	0,59	0,90	-	-	0,90	63	0,30	-	0,30	0,30	-	-	0,30
64	-	0,17	0,17	-	-	-	0,00	64	-	-	-	-	-	-	-
65-72	0,26	0,11	0,37	0,48	-	-	0,48	65-72	0,16	-	0,16	0,16	-	-	0,16
73	-	0,17	0,17	-	-	-	0,00	73	-	-	-	-	-	-	-
74-77	0,26	0,11	0,37	0,48	-	-	0,48	74-77	0,16	-	0,16	0,16	-	-	0,16
78	-	0,10	0,10	-	-	-	0,00	78	-	-	-	-	-	-	-
79	-	0,05	0,05	-	-	-	0,00	79	-	-	-	-	-	-	-
90-88	0,58	0,05	0,62	1,08	-	-	1,08	90-88	0,36	-	0,36	0,36	-	-	0,36
89	-	0,10	0,10	-	-	-	0,00	89	-	-	-	-	-	-	-
90	-	0,05	0,05	-	-	-	0,00	90	-	-	-	-	-	-	-
91-102	0,26	0,05	0,30	0,48	-	-	0,48	91-102	0,16	-	0,16	0,16	-	-	0,16
103	-	0,05	0,05	-	-	-	0,00	103	-	-	-	-	-	-	-
104-124	-	0,05	0,05	-	-	-	0,00	104-124	-	-	-	-	-	-	-
125-130	-	0,11	0,11	-	-	-	0,00	125-130	-	-	-	-	-	-	-
131-133	-	0,11	0,11	-	-	0,40	0,40	131-133	-	0,11	0,11	-	1,23	-	1,23
134-136	0,48	0,11	0,59	0,90	-	-	0,90	134-136	0,30	-	0,30	0,30	-	-	0,30
137-139	0,48	-	0,48	0,90	-	-	0,90	137-139	0,30	-	0,30	0,30	-	-	0,30
140-147	0,48	0,11	0,59	0,90	-	-	0,90	140-147	0,30	-	0,30	0,30	-	-	0,30
148-149	-	0,11	0,11	-	-	-	0,00	148-149	-	-	-	-	-	-	-
150-158	0,77	-	0,77	1,44	-	-	1,44	150-158	0,48	-	0,48	0,48	-	-	0,48
159-161	0,77	0,11	0,88	1,44	-	-	1,44	159-161	0,48	-	0,48	0,48	-	-	0,48
162-165	0,77	0,11	0,88	1,92	-	-	1,92	162-165	0,48	-	0,48	0,48	-	-	0,48
166-169	-	0,05	0,05	-	-	0,40	0,40	166-169	-	0,048	0,05	-	1,23	-	1,23
168-179	0,29	0,10	0,39	0,54	-	-	0,54	168-179	0,18	-	0,18	0,18	-	-	0,18
170-181	0,29	0,10	0,39	0,72	-	-	0,72	170-181	0,18	-	0,18	0,18	-	-	0,18
182-185	-	0,05	0,05	-	-	-	0,00	182-185	-	-	-	-	-	-	-

LEGENDA		
CP1	0,32 kN/m	Lage pvto Tipo
	0,20 kN/m	Lage pvto Cobertura
CP2	0,12 kN/m	Paredes Externas
	0,28 kN/m	Paredes Internas
SC1	0,80 kN/m	Área de Serviço
	0,60 kN/m	Outros Comôdos
SC2	3,08 Kn/m	Caixa d'água
SC3	1,00 Kn/m	Escada

ANEXO A

GRÁFICOS UTILIZADOS NO PRÉ-DIMENSIONAMENTO

Abaixo estão os gráficos utilizados no pré-dimensionamento. Todos foram disponibilizados por Caldas e Rodrigues (2016) no “Manual do aço *Steel Framing*: Engenharia”.

A.1. Vigas

Para as vigas que são submetidas à flexão simples os gráficos são dados pelos pares $q_{sd} \times L$, onde L é o vão entre apoios, para flexão em relação ao eixo x , ou seja $L = L_x$.

Gráfico A.1 – Perfil Ue 90x40x12, $L_z=L_y=L_x/2$

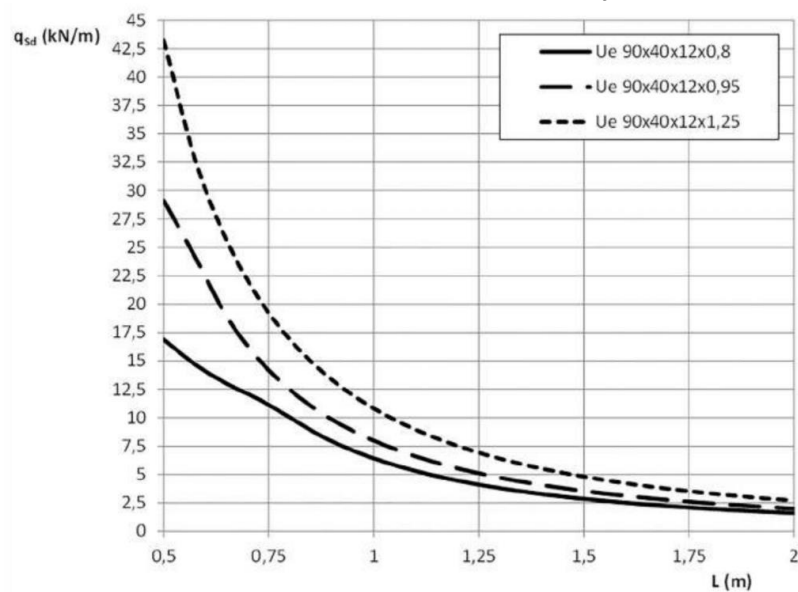


Gráfico A.2 – Perfil Ue 140x40x12, $L_z=L_y=L_x/2$

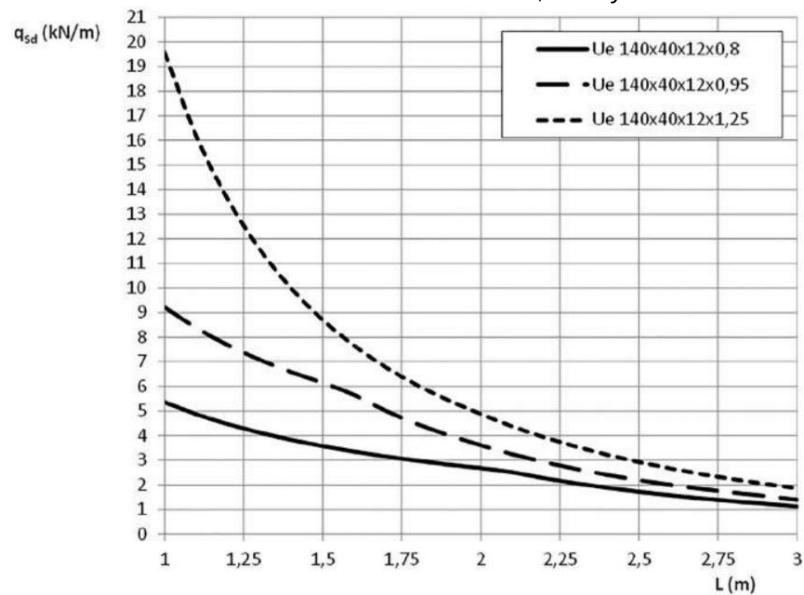
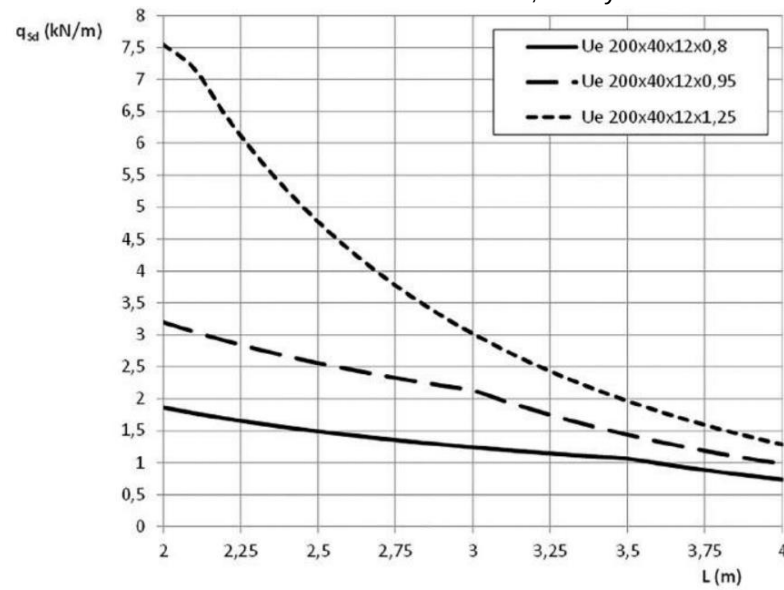


Gráfico A.3 – Perfil Ue 200x40x12, $L_z=L_y=L_x/2$ 

A.2. Montantes

Para os montantes submetidos à flexo-compressão os gráficos são dados pelos pares q_{sd} x N_{sd} , onde N_{sd} é o valor da máxima força axial de compressão solicitante de cálculo que pode ser aplicada na barra e, o valor de q_{sd} o valor da máxima força horizontal solicitante de cálculo.

Gráfico A.4 – Perfil Ue 90x40x12x1,25, $L_z=L_y=L_x/3$ 