
***Light Steel Framing* — Sistemas construtivos
estruturados em perfis leves de aço formados
a frio, com fechamentos em chapas delgadas
Parte 2: Projeto estrutural**

*Light Steel Framing — Construction systems structured in light cold-forming
steel profiles, with closures on slender plates
Part 2: Structural design*

ICS 77.140.70; 91.040.30

ISBN 978-85-07-09103-5



ASSOCIAÇÃO
BRASILEIRA
DE NORMAS
TÉCNICAS

Número de referência
ABNT NBR 16970-2:2022
24 páginas



© ABNT 2022

Todos os direitos reservados. A menos que especificado de outro modo, nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida ou utilizada por qualquer meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia e microfilme, sem permissão por escrito da ABNT.

ABNT
Av. Treze de Maio, 13 - 28º andar
20031-901 - Rio de Janeiro - RJ
Tel.: + 55 21 3974-2300
Fax + 55 21 3974-2348
abnt@abnt.org.br
www.abnt.org.br

Sumário

Página

Prefácio	V
1 Escopo	1
2 Referências normativas	1
3 Termos e definições	2
4 Princípios de projeto	7
4.1 Generalidades	7
4.2 Excentricidades toleradas	9
4.3 Estrutura de cobertura	10
4.4 Conceituação da estrutura LSF para cobertura	11
4.5 Requisitos do projeto	12
4.6 Avaliação de conformidade do projeto	12
4.7 Memorial de cálculo	13
4.8 Desenhos do projeto	13
4.9 Análise e dimensionamento da estrutura e seus elementos	13
5 Materiais	14
5.1 Generalidades	14
5.2 Aços estruturais	14
5.3 Parafusos autobrocantes e autoatarraxantes	14
5.4 Barras e suas ligações	14
5.5 Ligações entre barras	14
6 Ancoragens da estrutura nas fundações	15
6.1 Generalidades	15
6.2 Ancoragens com adesivos químicos	15
6.3 Ancoragem mecânica	15
7 Resistência e rigidez das contenções	15
7.1 Generalidades	15
7.2 Montantes	16
7.3 Vigas	17
8 Deslocamentos máximos	17
8.1 Generalidades	17
8.2 Valores máximos	17
8.3 Deslocamentos horizontais e estabilidade lateral	19
9 Vibrações em pisos	19
9.1 Requisitos gerais	19
9.2 Avaliação simplificada para o caminhar de pessoas	19
9.3 Critérios de aceitabilidade	23

Figuras

Figura 1 – Painel reticulado e seus componentes	2
Figura 2 – Entrepiso e seus componentes estruturais	2

Figura 3 – Bloqueador.....	3
Figura 4 – Detalhes para verga e barras de composição	4
Figura 5 – Detalhes da laje seca	4
Figura 6 – Detalhes estruturais do piso	5
Figura 7 – Contenção lateral	5
Figura 8 – Detalhe esquemático de contenção lateral de um entrepiso.....	6
Figura 9 – Detalhes de composição do entrepiso.....	7
Figura 10 – Visão geral do sistema LSF e seus componentes	8
Figura 11 – Conceito <i>in-line framing</i> : estrutura alinhada do topo à base.....	9
Figura 12 – Tolerância de excentricidade entre a viga e o montante	10
Figura 13 – Tolerância de excentricidade entre a viga e o montante com enrijecedor de alma externo à viga	10
Figura 14 – Desenho de formas das coberturas	11
Figura 15 – Esquema da estrutura dos elementos estruturais da cobertura	12
Figura 16 – Esquema dos elementos estruturais da cobertura	12
Figura 17 – Esquemas de contenção em colunas e vigas	16
Figura 18 – Deslocamentos verticais a serem considerados	18
Figura 19 – Modos de vibração do piso	20
Figura 20 – Determinação das variáveis para o cálculo da massa modal.....	22
Tabelas	
Tabela 1 – Aços para perfis de estruturas LSF.....	14
Tabela 2 – Parafusos autobrocantes e autoatarraxantes para uso em estruturas LSF.....	14
Tabela 3 – Deslocamentos máximos	18
Tabela 4 – Cálculo dos deslocamentos do piso.....	20
Tabela 5 – Componentes da razão de amortecimento crítico	23
Tabela 6 – Critérios de aceitabilidade.....	23

Prefácio

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o Foro Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB), dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS) e das Comissões de Estudo Especiais (ABNT/CEE), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas pelas partes interessadas no tema objeto da normalização.

Os Documentos Técnicos ABNT são elaborados conforme as regras da ABNT Diretiva 2.

A ABNT chama a atenção para que, apesar de ter sido solicitada manifestação sobre eventuais direitos de patentes durante a Consulta Nacional, estes podem ocorrer e devem ser comunicados à ABNT a qualquer momento (Lei nº 9.279, de 14 de maio de 1996).

Os Documentos Técnicos ABNT, assim como as Normas Internacionais (ISO e IEC), são voluntários e não incluem requisitos contratuais, legais ou estatutários. Os Documentos Técnicos ABNT não substituem Leis, Decretos ou Regulamentos, aos quais os usuários devem atender, tendo precedência sobre qualquer Documento Técnico ABNT.

Ressalta-se que os Documentos Técnicos ABNT podem ser objeto de citação em Regulamentos Técnicos. Nestes casos, os órgãos responsáveis pelos Regulamentos Técnicos podem determinar as datas para exigência dos requisitos de quaisquer Documentos Técnicos ABNT.

A ABNT NBR 16970-2 foi elaborada no Comitê Brasileiro da Construção Civil (ABNT/CB-002), pela Comissão de Estudo de Sistemas Construtivos *Light Steel Frame* (CE-002:125.004). O Projeto circulou em Consulta Nacional conforme Edital nº 01, de 27.01.2022 a 02.03.2022.

O Escopo em inglês da ABNT NBR 16970-2 é o seguinte:

Scope

This Standard establishes the general requirements for the design and design of steel structures that integrate the construction system light steel framing, based on the method of the states-limits specified in ABNT NBR 14762.

NOTE The light steel framing structures are constituted by metal-coated steel bars, which form the reticulated panels intended for walls with structural function, and by bars that form the floors and roofs of the buildings.

Light Steel Framing — Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço formados a frio, com fechamentos em chapas delgadas

Parte 2: Projeto estrutural

1 Escopo

Esta Norma estabelece os requisitos gerais para projeto e dimensionamento das estruturas de aço que integram o sistema construtivo *light steel framing*, com base no método dos estados-limites especificados na ABNT NBR 14762.

NOTA As estruturas *light steel framing* são constituídas por barras de aço com revestimento metálico, que formam os painéis reticulados destinados às paredes com função estrutural, e por barras que formam os entrelagos e telhados das edificações.

2 Referências normativas

Os documentos relacionados a seguir são indispensáveis à aplicação deste documento. Para referências datadas, aplicam-se somente as edições citadas. Para referências não datadas, aplicam-se as edições mais recentes do referido documento (incluindo emendas).

ABNT NBR 7008-3, *Chapas e bobinas de aço revestidas com zinco ou liga de zinco-ferro pelo processo contínuo de imersão a quente – Parte 3: Aços estruturais*

ABNT NBR 7013, *Chapas e bobinas de aço revestidas pelo processo contínuo de imersão a quente – Requisitos gerais*

ABNT NBR 8800, *Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios*

ABNT NBR 14762:2010, *Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio*

ABNT NBR 14964, *Produtos planos de aço zincados pelo processo contínuo de eletrodeposição – Requisitos gerais*

ABNT NBR 15578, *Bobinas e chapas de aço revestidas com liga 55 % alumínio – Zinco pelo processo contínuo de imersão a quente – Especificação*

ABNT NBR 15253, *Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis estruturais reticulados em edificações – Requisitos gerais*

ISO 1478, *Tapping screws threads*

ISO 10666, *Drilling screws with tapping screw thread – Mechanical and functional properties*

3 Termos e definições

Para os efeitos deste documento, aplicam-se os seguintes termos e definições.

3.1

painel reticulado

sistema estrutural plano constituído por perfis ligados entre si, podendo ou não estar associado a placas de vedação (ver Figuras 1 e 2)

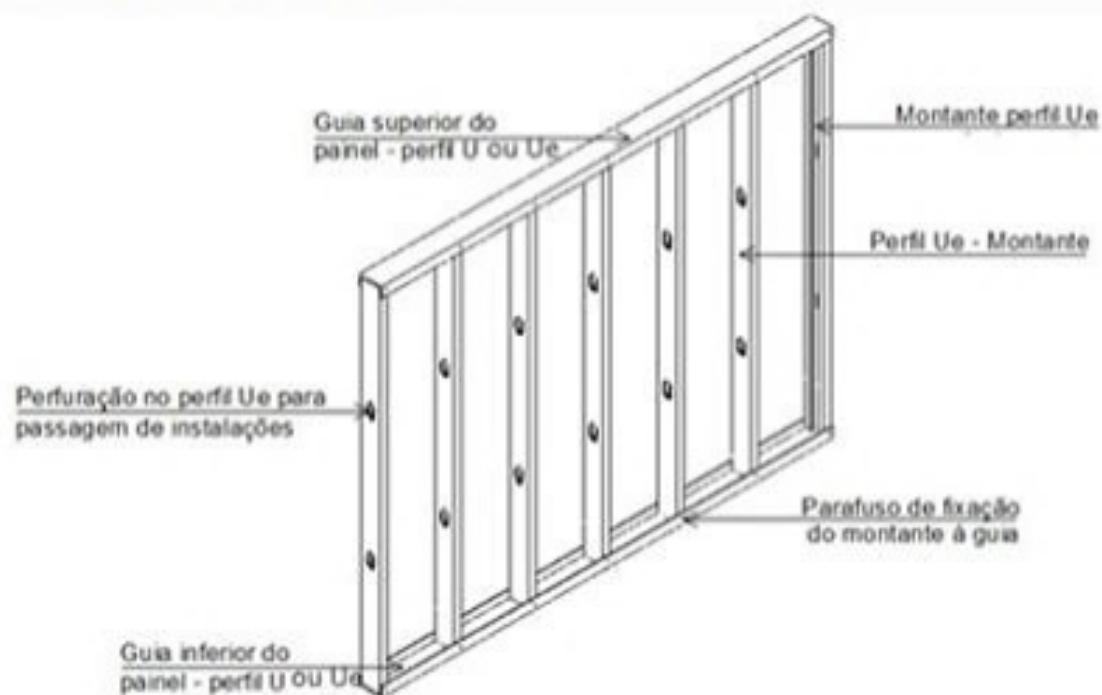


Figura 1 – Painel reticulado e seus componentes

3.2

entrepiso

conjunto de construção compreendido entre o nível do forro e o piso do pavimento imediatamente superior (ver Figura 2)

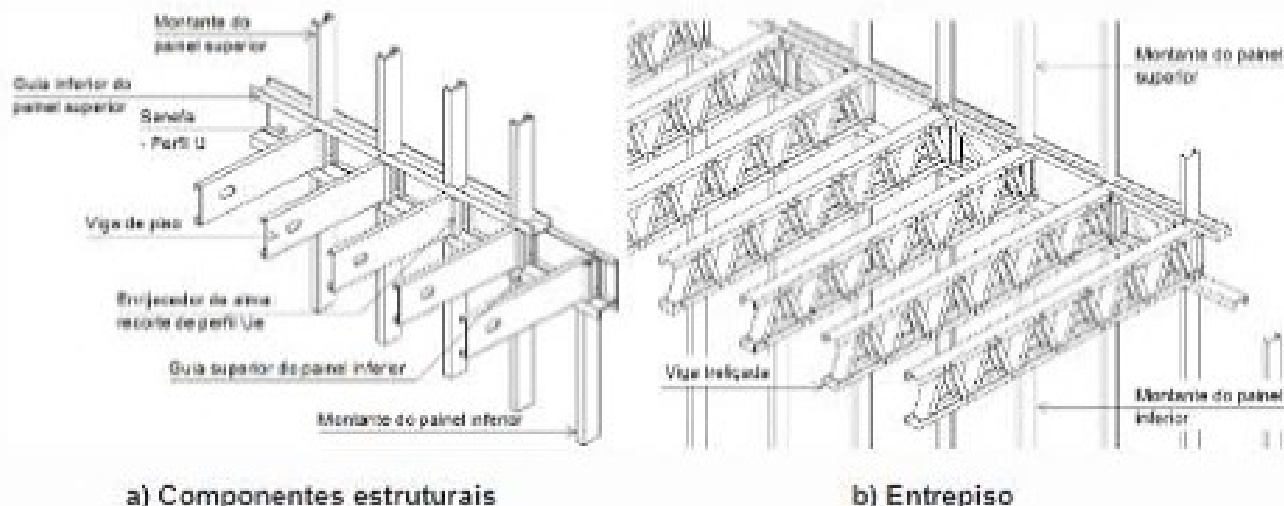


Figura 2 – Entrepiso e seus componentes estruturais

3.3
bloqueador
 perfil de aço, normalmente utilizado na horizontal, para contenção lateral dos componentes estruturais (ver Figura 3)

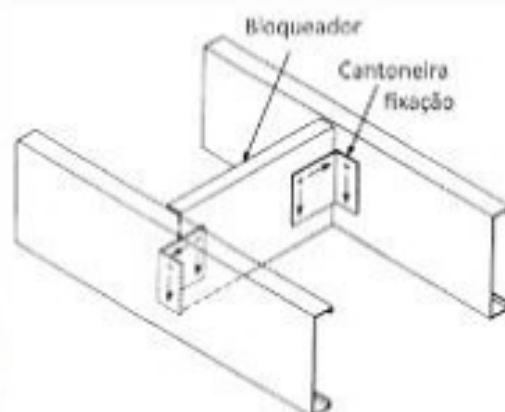


Figura 3 – Bloqueador

3.4
enrijecedor de alma
 componente para reforço de alma da viga (ver Figuras 5 e 6)

3.5
guia
 perfil aplicado na base e no topo de painéis para compor a orientação dos painéis (ver Figuras 1, 2, 4, 5 e 6)

3.6
montante
 perfil utilizado verticalmente na composição de painéis, sujeito a esforços solicitantes devido às ações gravitacionais, à ação do vento e ao sismo (ver Figuras 1, 2, 4, 5 e 6)

3.7
sanefa
 perfil de fechamento das extremidades das vigas de piso e de telhado (ver Figuras 6 e 9)

3.8
verga
 viga para transição de forças situada ou posicionada na parte superior de abertura (ver Figura 4)

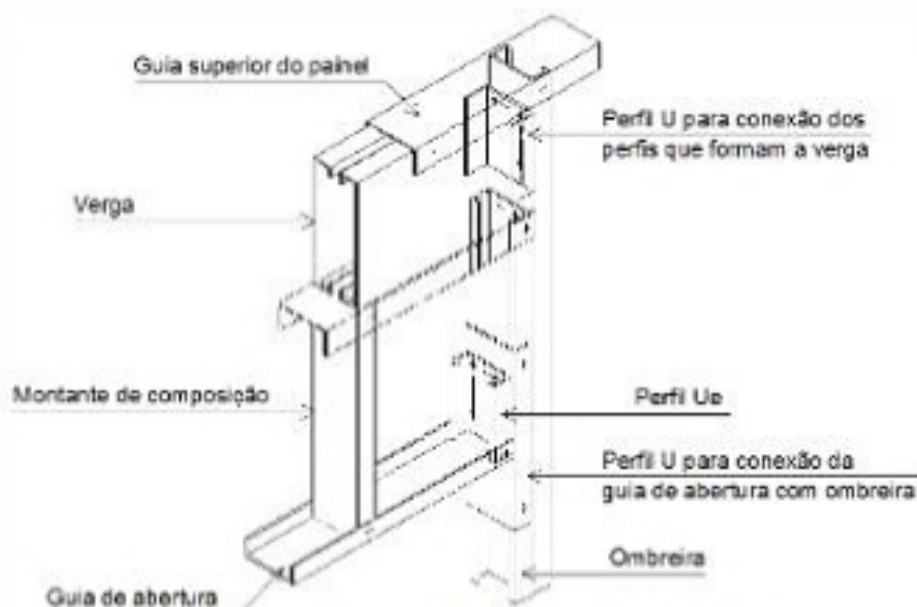


Figura 4 – Detalhes para verga e barras de composição

3.9

fita

elemento de aço utilizado para contenção lateral de perfis (vigas e montantes) e painéis (ver 3.10)

3.10

laje seca

elemento utilizado no sistema de piso do sistema construtivo *light steel framing* (LSF), composto por componentes estruturais e base de piso (ver Figura 5)

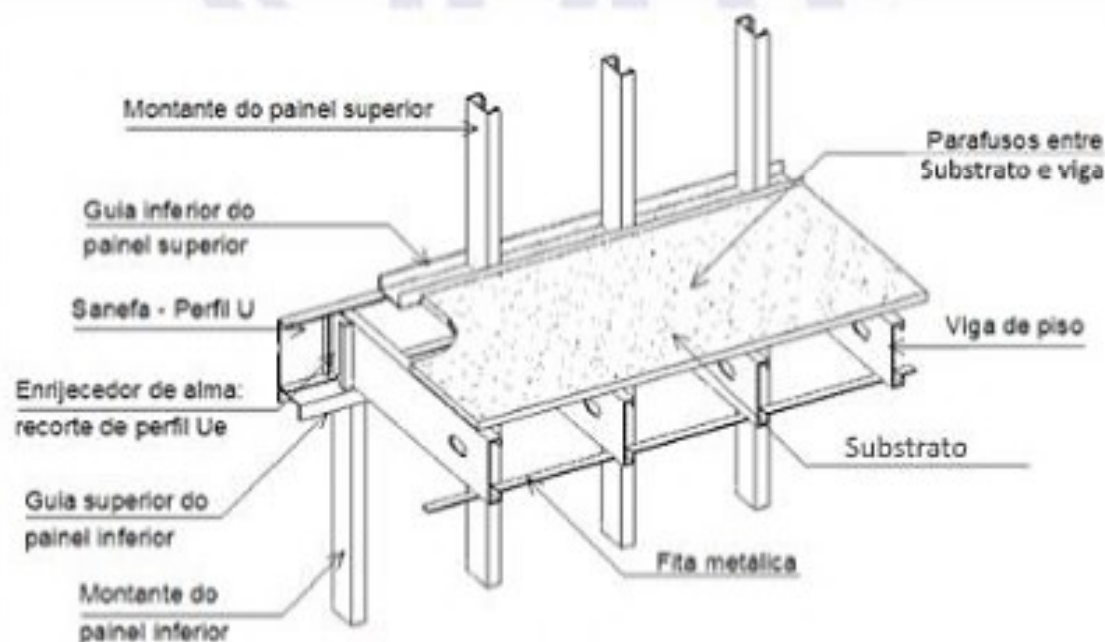


Figura 5 – Detalhes da laje seca

3.11

laje úmida

elemento utilizado no sistema de piso do sistema construtivo LSF, composto por elementos e componentes estruturais (ver Figura 6)

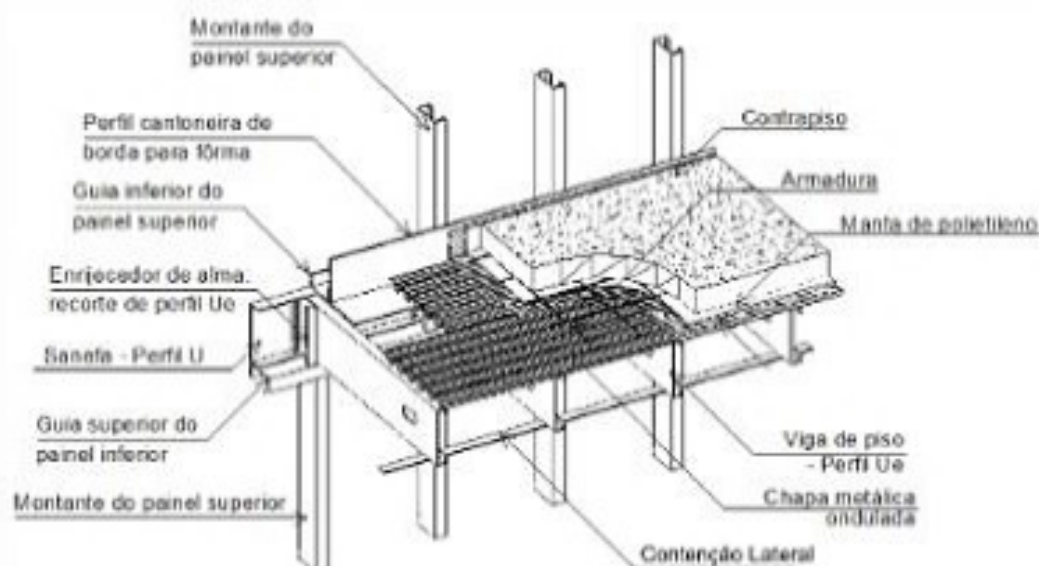
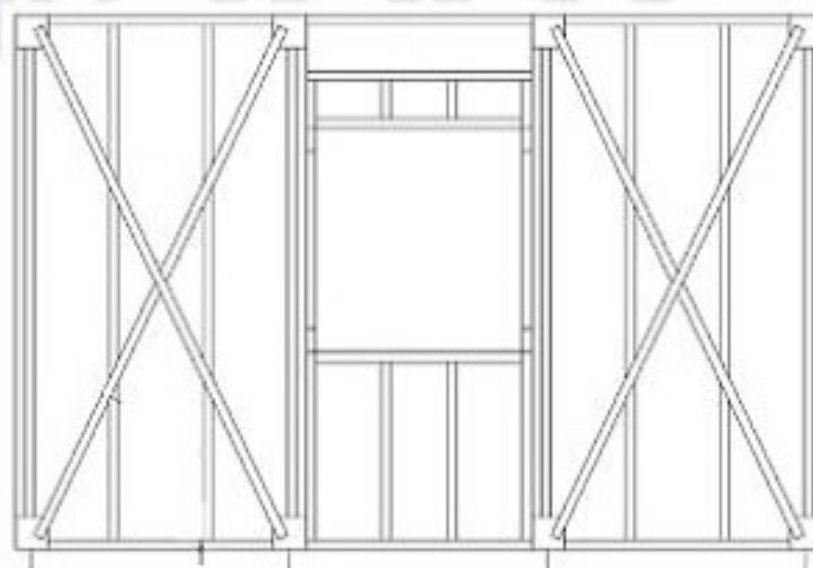


Figura 6 – Detalhes estruturais do piso

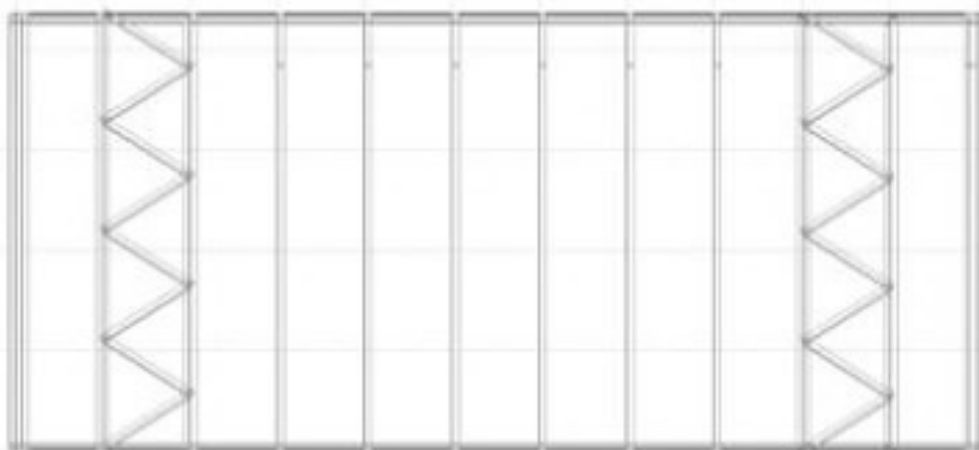
3.12 contenção lateral

componente aplicado para restringir ou reduzir os deslocamentos e a distorção do painel, por meio de treliças verticais com perfis no sistema de encaixes estampados (ver ABNT NBR 15253 e Figura 7)



a) detalhe de contenção lateral de painel com fita

Figura 7 – Contenção lateral (continua)



b) contenção lateral de painel por meio de treliças verticais

Figura 7 (conclusão)

3.13
contenção horizontal por meio de fitas
 sistema de contenção por meio de fitas para constituir efeito do tipo diafragma para entrepiso
 (ver exemplos nas Figuras 8 e 9)

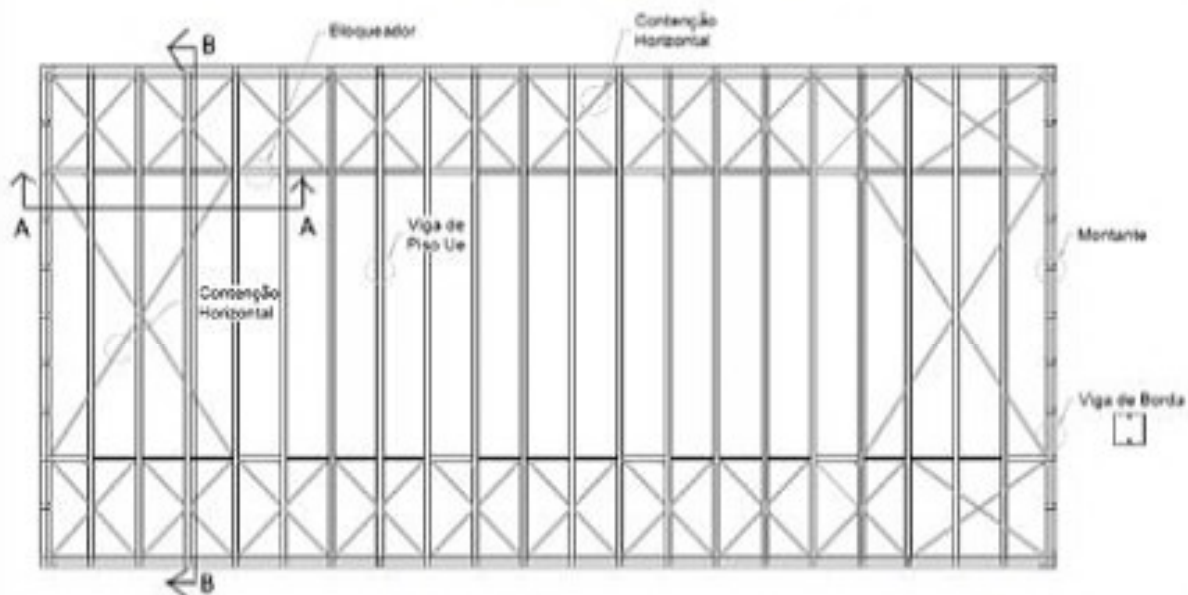


Figura 8 – Detalhe esquemático de contenção lateral de um entrepiso

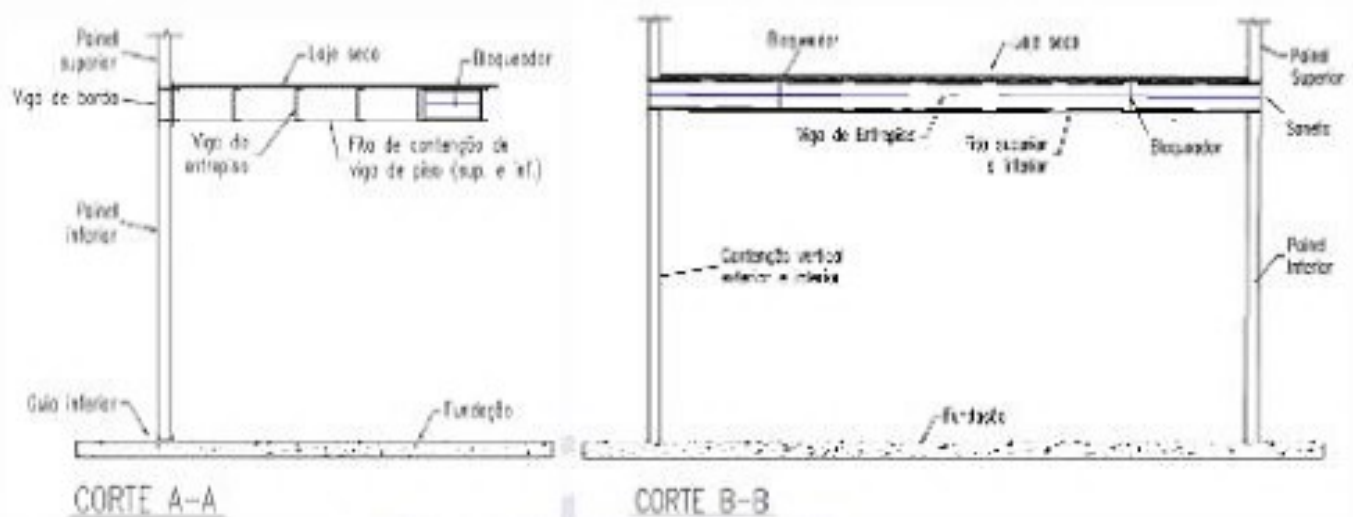


Figura 9 – Detalhes de composição do entrepiso

4 Princípios de projeto

4.1 Generalidades

A estrutura do sistema construtivo *light steel framing* é caracterizada por ser constituída por perfis ou barras esbeltas de aço revestido, dispostos em uma modulação submúltipla das dimensões das placas que fazem o fechamento da estrutura, formando painéis que têm comportamento estrutural. Estes painéis, então, são submetidos às ações gravitacionais, à ação do vento e à ação de sismos, quando for o caso.

Uma importante característica desse sistema é que os montantes dos painéis do pavimento superior devem estar alinhados com os montantes dos painéis do pavimento inferior, com as vigas de entressos e com a estrutura do telhado (o que define o termo *in-line framing*; ver Figuras 10 e 11). Elementos não estruturais não podem comprometer a continuidade da estrutura, para poder assegurar a estabilidade e a vida útil do sistema.

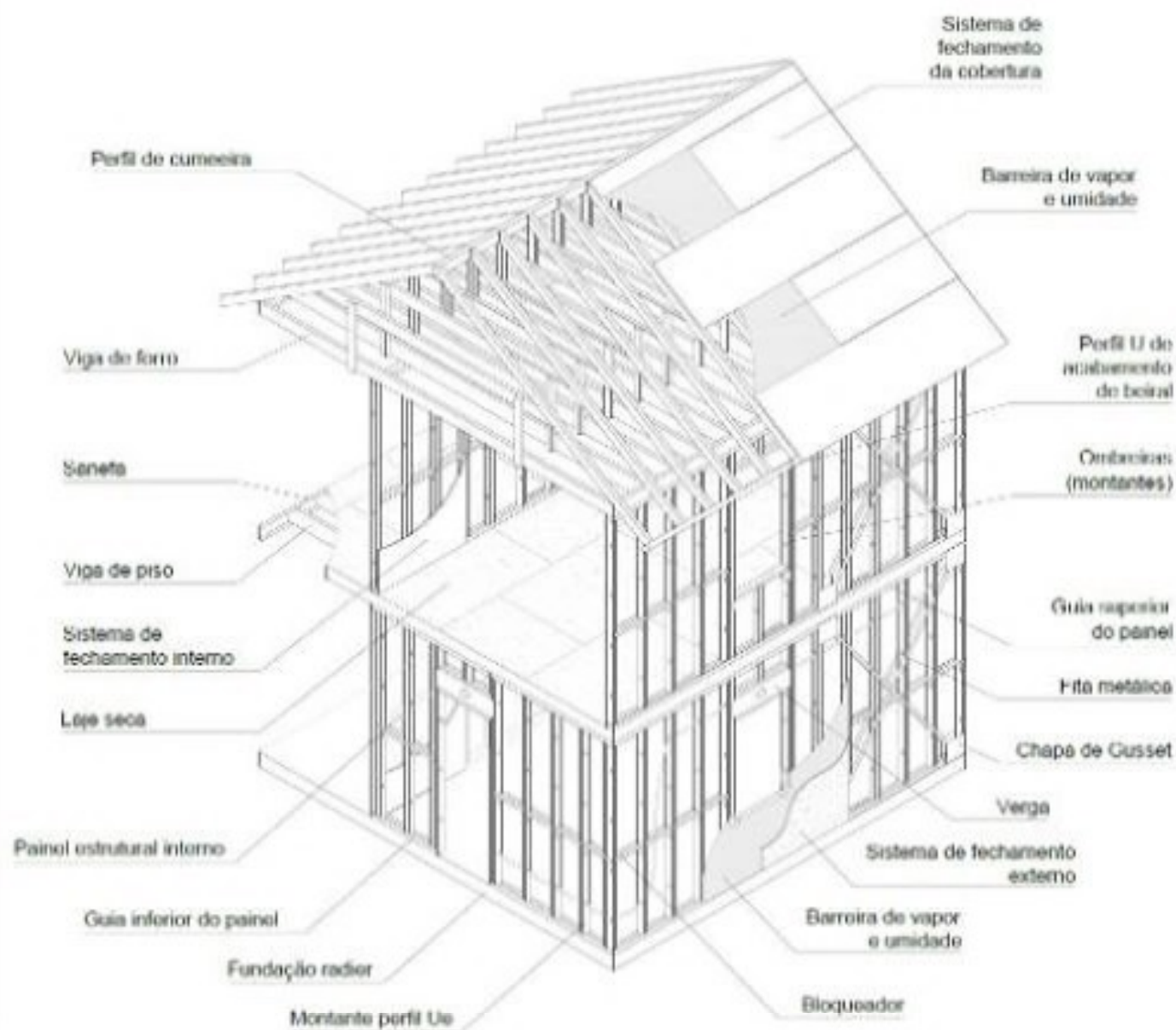


Figura 10 – Visão geral do sistema LSF e seus componentes

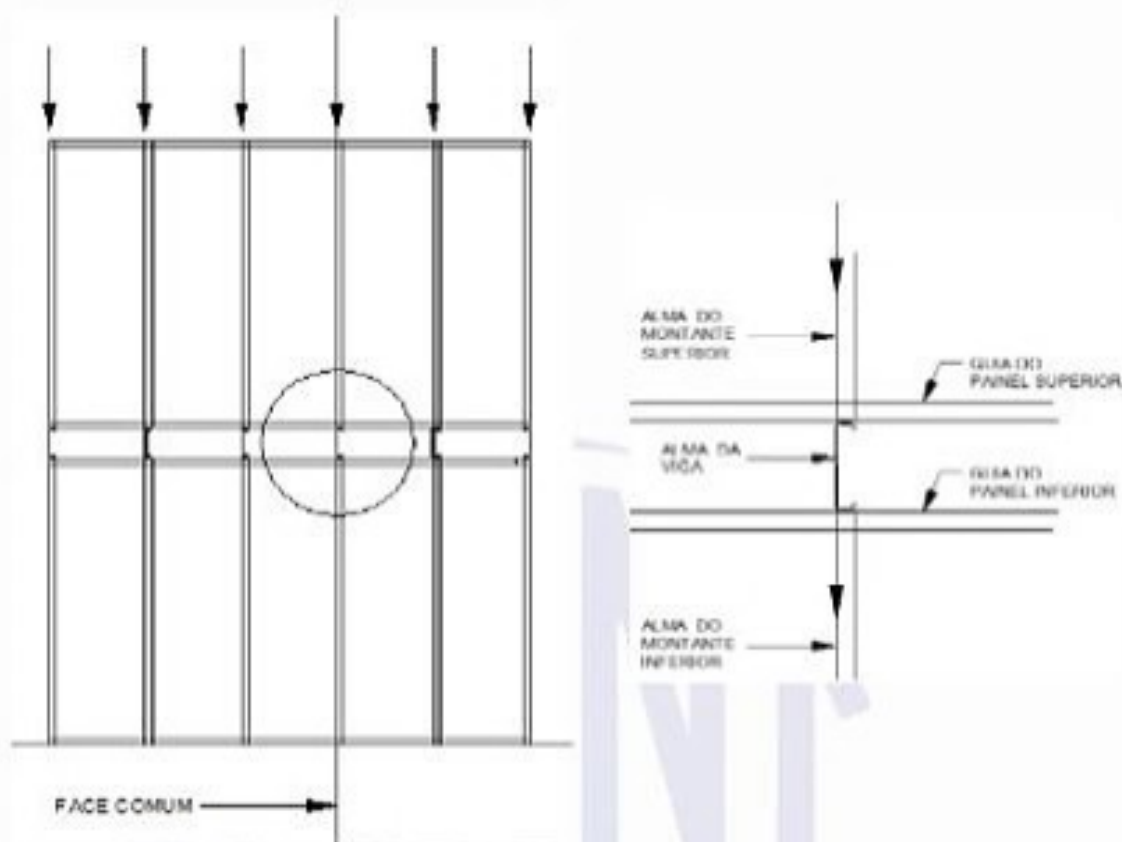


Figura 11 – Conceito *in-line framing*: estrutura alinhada do topo à base

4.2 Excentricidades toleradas

Não podem ocorrer desalinhamentos entre perfis que estejam em uma mesma prumada, a menos que haja vigas de transição entre os perfis. Os perfis em uma mesma prumada devem estar orientados para a mesma direção (ver Figuras 12 e 13).

São toleradas pequenas excentricidades, surgidas na fase construtiva, conforme descrito a seguir:

- a) caso o enrijecedor de alma seja interno à viga: a excentricidade máxima entre o eixo da alma da viga e da alma do montante não pode exceder 20 mm;
- b) caso o enrijecedor de alma seja externo à viga:
 - a excentricidade máxima entre os eixos da alma da viga e da alma do montante deve ser de 20 mm;
 - a excentricidade máxima entre a alma da viga e o montante deve ser de 3 mm.

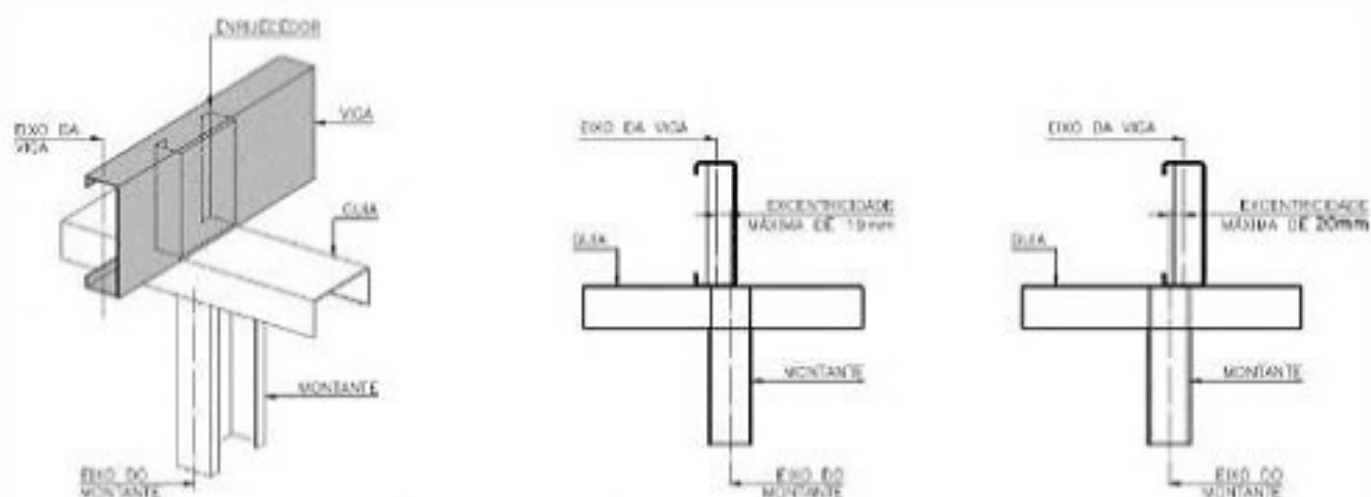


Figura 12 – Tolerância de excentricidade entre a viga e o montante

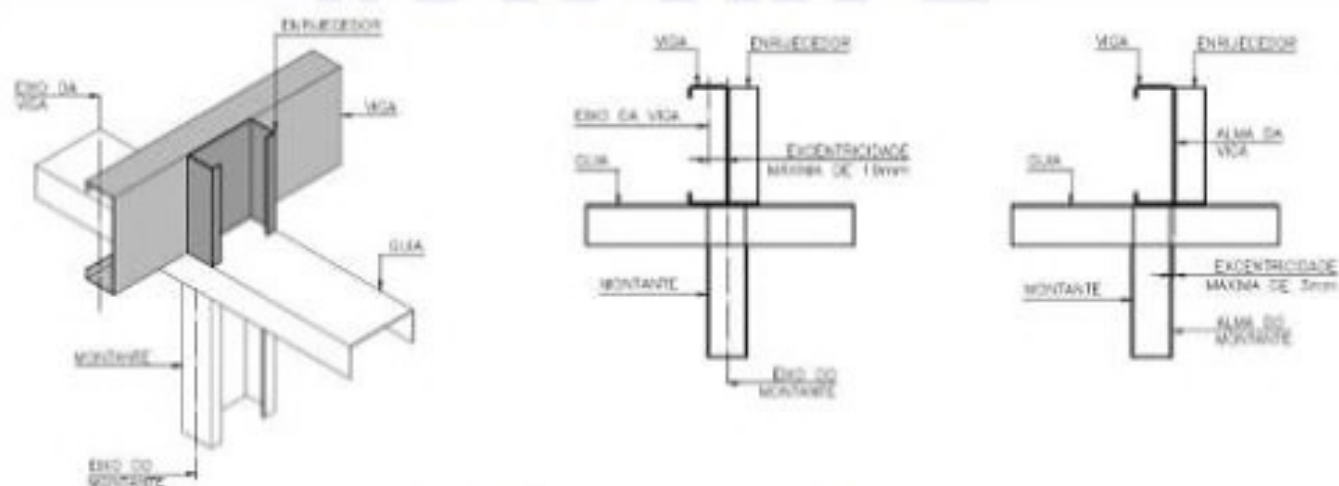
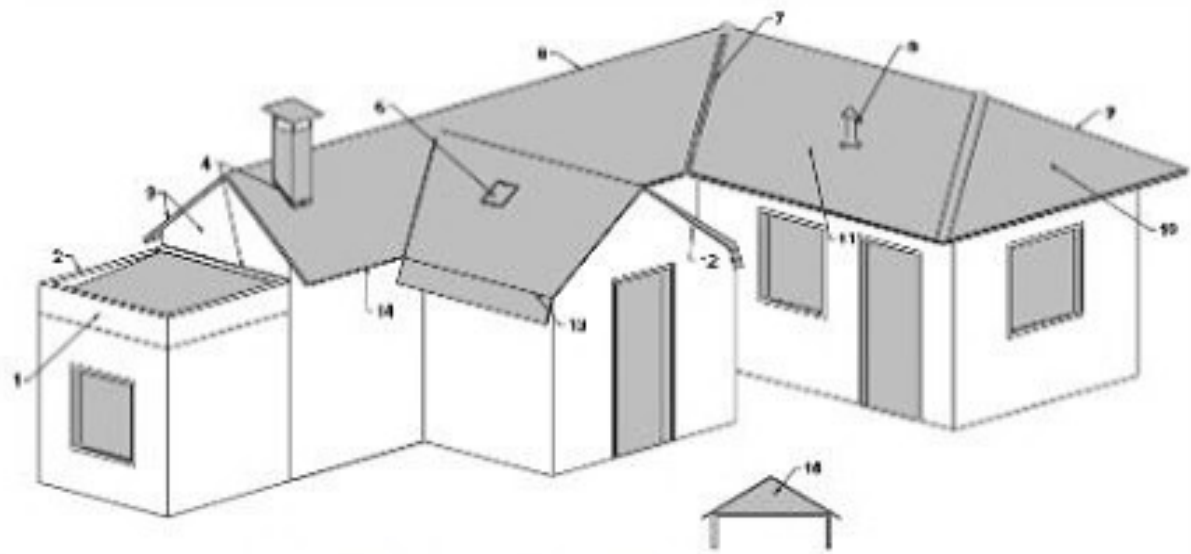


Figura 13 – Tolerância de excentricidade entre a viga e o montante com enrijecedor de alma externo à viga

4.3 Estrutura de cobertura

A Figura 14 apresenta a estrutura de cobertura.



Legenda

- 1 platibanda
- 2 cobre-muro
- 3 empena
- 4 rufo
- 5 claraboia
- 6 cumeeira
- 7 rincão/água furtada
- 8 ventilação de esgoto
- 9 espigão
- 10 tacanica,
- 11 água-mestra
- 12 tabeira
- 13 quebra
- 14 beiral
- 15 oitão

Figura 14 – Desenho de formas das coberturas

4.4 Conceituação da estrutura LSF para cobertura

Os elementos das coberturas para sua conceituação são apresentados nas Figuras 15 e 16.

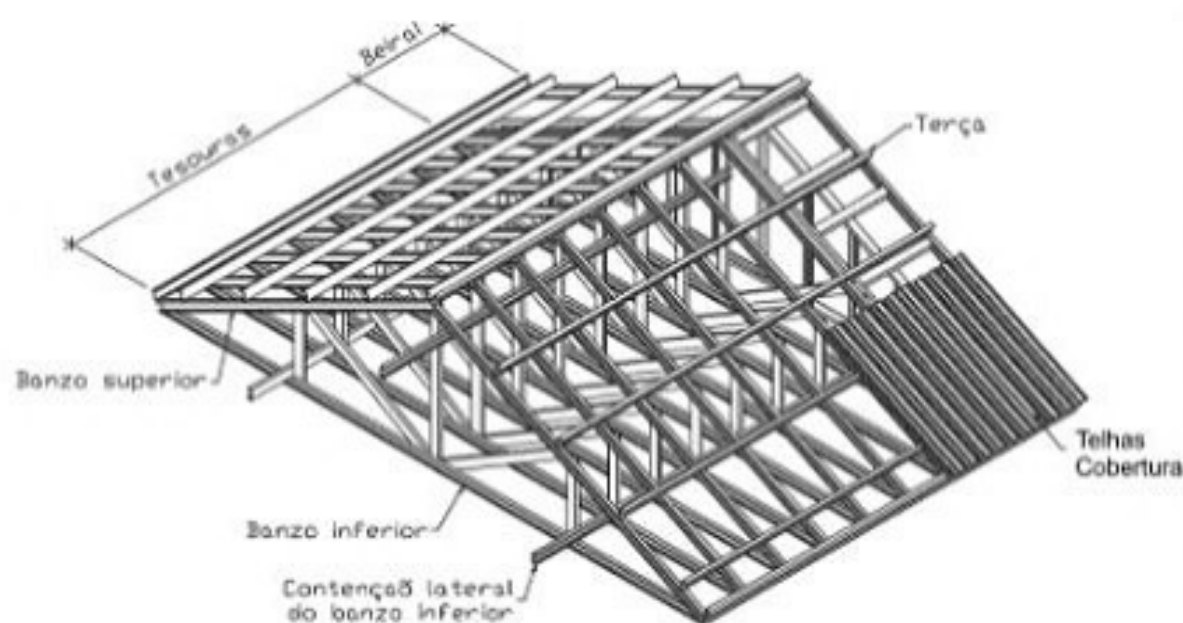


Figura 15 – Esquema da estrutura dos elementos estruturais da cobertura

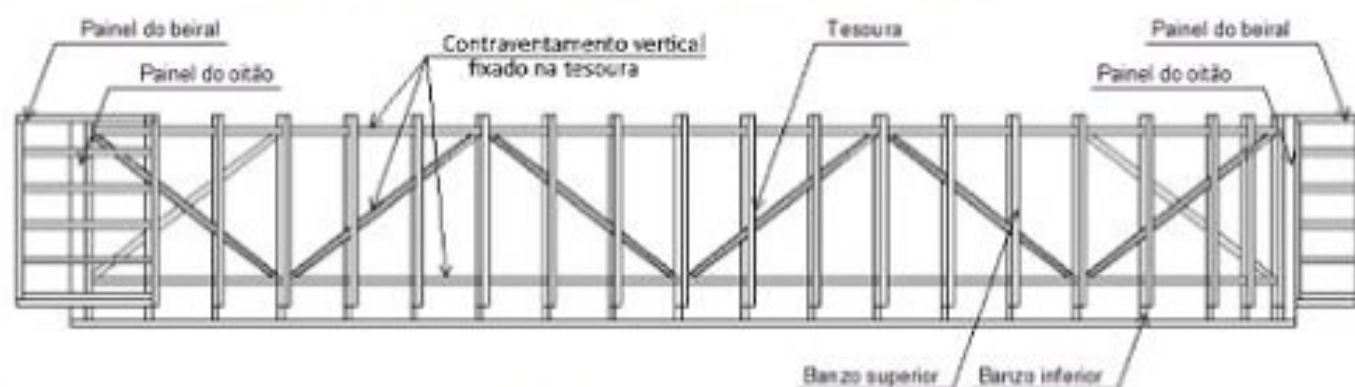


Figura 16 – Esquema dos elementos estruturais da cobertura

4.5 Requisitos do projeto

O projeto é o conjunto de especificações, cálculos estruturais, desenhos de projeto, de fabricação e de montagem dos componentes de aço.

As estruturas abrangidas por esta Norma devem ser concebidas, calculadas e detalhadas de modo a atender aos requisitos de construtibilidade, segurança e utilização. Independentemente do tipo de análise utilizado, devem ser atendidas todas as combinações de ações suscetíveis de ocorrer durante a construção e a utilização, respeitados os estados-limites últimos e os estados-limites de serviço requeridos pela ABNT NBR 14762.

NOTA Recomenda-se considerar no projeto os aspectos de inspeção, economia, durabilidade e estética.

4.6 Avaliação de conformidade do projeto

A avaliação de conformidade do projeto deve ser realizada por profissional habilitado, independente do projetista, quando requerida e contratada pelo contratante, e registrada em documento específico, que deve acompanhar a documentação do projeto. Esta avaliação deve ser realizada antes da fase de construção.

4.7 Memorial de cálculo

O memorial de cálculo deve conter no mínimo o seguinte:

- a) descrição do arranjo global tridimensional da estrutura;
- b) propriedades dos materiais
- c) ações e condições de carregamento admitidas;
- d) esquemas adotados na análise dos elementos estruturais e identificação de suas peças;
- e) análise estrutural;
- f) dimensionamento e detalhamento esquemático das peças estruturais;
- g) dimensionamento e detalhamento esquemático das emendas, uniões e ligações;
- h) programa computacional usado e sua versão, e se foram usadas planilhas de cálculo ou programas não comerciais.

4.8 Desenhos do projeto

Nos desenhos estruturais devem constar, de modo destacado, os tipos de aço a serem utilizados.

Os componentes estruturais devem ter a mesma identificação nos desenhos e no memorial de cálculo.

Os desenhos do projeto devem conter no mínimo o seguinte:

- a) locação dos apoios dos painéis da base com indicação das ações para o projeto de fundação, preferencialmente separados por estados de ações;
- b) plantas baixas de cada pavimento, com desenhos de implantação de vigas de cada entrepiso;
- c) vista superior do telhado com identificação da estrutura principal (tesouras ou vigas) e da estrutura secundária (terçamento e contraventamento);
- d) vistas laterais e/ou cortes da estrutura e detalhes de fechamento;
- e) desenho dos painéis que formam cada pavimento, apresentando cada um de seus componentes;
- f) detalhes das ligações calculadas da ancoragem da estrutura na fundação, ligação entre as peças identificando os parafusos, diâmetro e número de parafusos e respectivos afastamentos entre eles;
- g) emendas e reforços de perfis e nós típicos das treliças.

4.9 Análise e dimensionamento da estrutura e seus elementos

A análise e o dimensionamento devem ser realizados conforme as ABNT NBR 14762 e ABNT NBR 8800.

5 Materiais

5.1 Generalidades

Devem ser utilizados aços estruturais e materiais de ligação conforme 5.2 e 5.3.

5.2 Aços estruturais

A Tabela 1 apresenta alguns dos aços mais usados com suas respectivas resistências ao escoamento e ruptura. Mais informações para os aços estruturais são dadas nas ABNT NBR 14762 e ABNT NBR 15253.

Tabela 1 – Aços para perfis de estruturas LSF

Especificação	Grau	f_y MPa	f_u MPa
ABNT NBR 7008-3, ABNT NBR 7013, ABNT NBR 14964, ABNT NBR 15578 e ABNT NBR 15253 Chapas finas e bobinas finas com revestimento metálico	ZAR 230	230	310
	ZAR 250	250	400 – 560
	ZAR 280	280	450
	ZAR 320	320	485
	ZAR 345	340	400
	ZAR 400	400	450

Os perfis da estrutura devem ter espessura nominal mínima de 0,80 mm, exceto as ripas, que devem ter espessura nominal mínima de 0,65 mm.

5.3 Parafusos autobrocantes e autoatarraxantes

A Tabela 2 fornece os valores mínimos de resistência ao escoamento e resistência à ruptura de parafusos.

Tabela 2 – Parafusos autobrocantes e autoatarraxantes para uso em estruturas LSF

Especificação	f_{yb} MPa	f_{ub} MPa	Diâmetro d_b mm	Comprimento mm
ISO 1478	318 a 340	392 a 401	$4,2 \leq d_b \leq 4,8$	13 para $\Phi = 4,2$
ISO 10666	318 a 340	392 a 401	$4,2 \leq d_b \leq 4,8$	19 para $\Phi = 4,8$

5.4 Barras e suas ligações

A estrutura do sistema construtivo *light steel framing* é constituída por perfis de aço galvanizados formados a frio. As verificações de resistência destes perfis são especificadas na ABNT NBR 14762.

5.5 Ligações entre barras

As ligações entre barras devem ser projetadas conforme a ABNT NBR 14762:2010, 10.5.

Para o cálculo de ligações com o uso de parafusos autoatarraxantes, são necessários os valores das forças F_{ss}, R_k e F_{ts}, R_k , especificadas seus valores na ABNT NBR 14762, de acordo com o fornecido pelo fabricante ou por ensaio, acompanhados do coeficiente de ponderação da resistência.

6 Ancoragens da estrutura nas fundações

6.1 Generalidades

Para a fixação da estrutura na fundação devem ser usadas barras de ancoragem, denominadas chumbadores. Os chumbadores devem ser ancorados na fundação por meio de aderência química ou aderência mecânica.

6.2 Ancoragens com adesivos químicos

O fabricante deve informar as resistências de cada conjunto ancoragem-adesivo-concreto, sendo necessária a comprovação por meio de ensaios.

6.3 Ancoragem mecânica

Deve ser prevista a utilização de ancoragem por meio de parafusos fixados diretamente no concreto. O fabricante deve informar as resistências de cada conjunto chumbador-concreto, sendo necessária a comprovação por meio de ensaios.

7 Resistência e rigidez das contenções

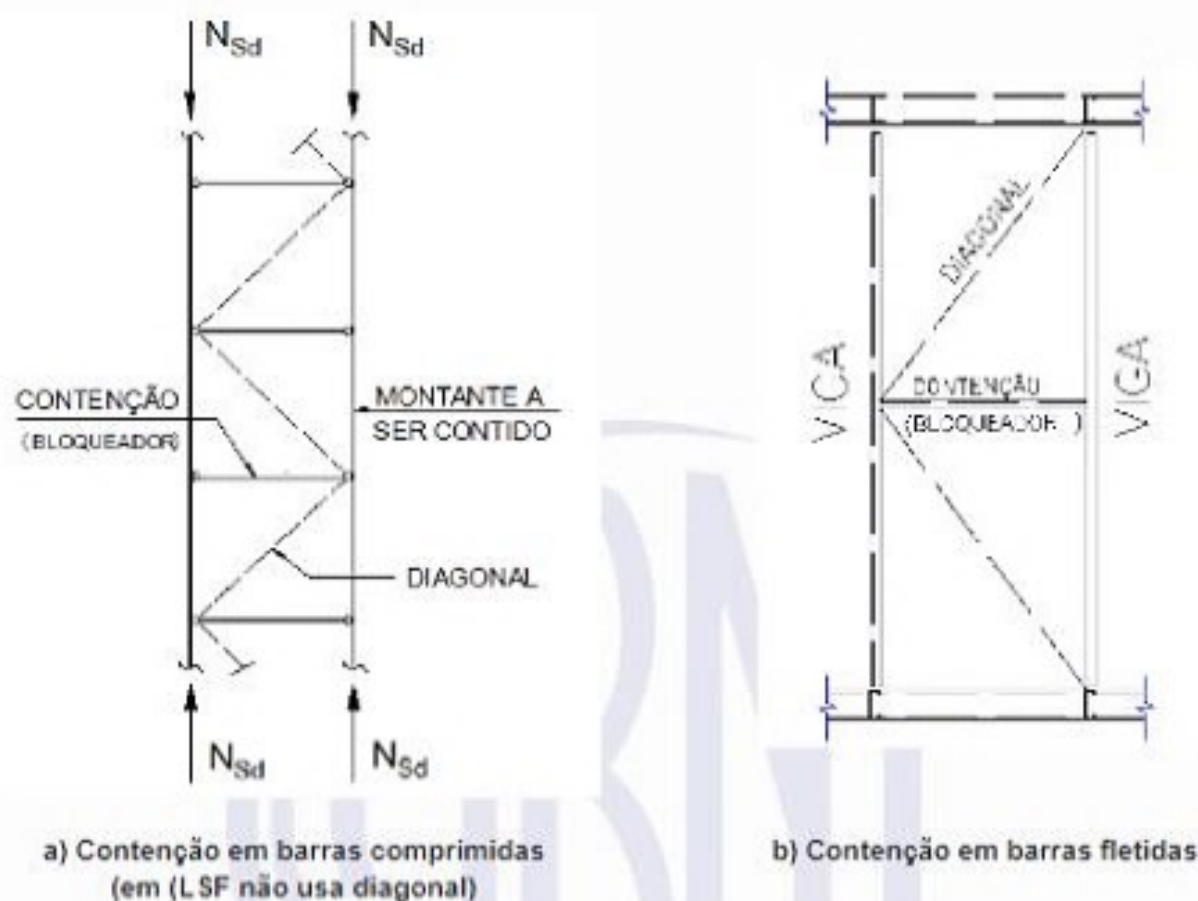
7.1 Generalidades

Os requisitos desta subseção relacionam-se aos esforços resistentes de cálculo e às rigidezes mínimas de cálculo que as contenções laterais de montantes ou outros elementos comprimidos e de vigas devem ter para que sejam efetivos, de modo que essas barras possam ser calculadas considerando o comprimento destravado igual à distância entre os pontos nos quais as contenções estejam presentes.

As contenções devem ser colocadas perpendiculares ao elemento a ser contido. Os esforços (força ou momento) e a rigidez (força por unidade de deslocamento ou momento por unidade de rotação) de contenções inclinadas ou diagonais devem ser ajustados para o ângulo de inclinação.

A avaliação da rigidez fornecida pelas contenções deve incluir suas dimensões e propriedades geométricas, bem como a verificação dos efeitos das ligações e os detalhes de ancoragem.

A resistência e a rigidez fornecidas pela análise de estabilidade da contenção não podem ser menores que os limites requeridos. Ver detalhes das contenções na Figura 17.



Legenda

N_{Sd} ação axial de cálculo

Figura 17 – Esquemas de contenção em colunas e vigas

7.2 Montantes

Os montantes podem ser contidos em pontos intermediários, ao longo de seu comprimento, por contenções relativas ou nodais.

A força resistente de cálculo e a rigidez necessárias das contenções relativas são calculadas pelas equações a seguir:

$$F_{br} = 0,004N_{Sd}$$

$$S_{br} = \frac{2\gamma_r N_{Sd}}{L_{bc}}$$

onde

γ_r é um coeficiente de ponderação da rigidez, igual a 1,35;

N_{Sd} é a força axial de compressão solicitante de cálculo no montante;

L_{bc} é a distância entre as contenções, conforme a ABNT NBR 8800.

7.3 Vigas

As contenções de uma viga devem impedir o deslocamento relativo das mesas superior e inferior. A estabilidade lateral das vigas deve ser proporcionada por contenção que impeça o deslocamento lateral (contenção de translação), a torção (contenção de torção) ou uma combinação entre os dois movimentos.

As contenções de translação devem ser fixadas próximas da mesa comprimida. Adicionalmente, nas vigas em balanço, uma contenção na extremidade sem apoio deve ser fixada próxima da mesa tracionada. As contenções de translação devem ser fixadas próximas a ambas as mesas, quando situadas nas vizinhanças de um ponto de inflexão nas vigas sujeitas à curvatura reversa.

A força resistente e a rigidez de cálculo necessárias das contenções de translação relativas são calculadas pelas equações a seguir:

$$F_{br} = 0,008 \frac{M_{Sd} C_d}{h_o}$$

$$S_{br} = \frac{4 \gamma_r M_{Sd} C_d}{L_{bb} h_o}$$

onde

γ_r é um coeficiente de ponderação da rigidez, igual a 1,35;

M_{Sd} é o momento fletor solicitante de cálculo;

h_o é a distância entre os centros geométricos das mesas;

C_d é um coeficiente igual a 1,00, exceto para a contenção situada nas vizinhanças do ponto de inflexão, em barras sujeitas à flexão com curvatura reversa, quando deve ser considerado igual a 2,00;

L_{bb} é a distância entre as contenções (comprimento destravado).

8 Deslocamentos máximos

8.1 Generalidades

Os deslocamentos máximos apresentam os valores máximos requeridos para situações usuais nas construções. Esses deslocamentos devem ser entendidos como valores práticos a serem utilizados para verificação do estado-limite de serviço de deslocamentos excessivos da estrutura.

8.2 Valores máximos

Os valores máximos para os deslocamentos verticais (flechas) e horizontais são dados na Tabela 3. No caso dos deslocamentos verticais, estes valores têm como referência uma viga simplesmente apoiada, mostrada na Figura 18, na qual δ_o é a contraflecha da viga, δ_1 é o deslocamento devido às ações permanentes e δ_2 é o deslocamento devido às ações variáveis. $\delta_{máx}$ é o deslocamento máximo da viga no estágio final de carregamento, levando-se em conta a contraflecha.



Figura 18 – Deslocamentos verticais a serem considerados

Tabela 3 – Deslocamentos máximos

Descrição	δ^a
Travessas de fechamento	$L/180^b$
	$L/120^{c, d}$
Terças de cobertura ^g	$L/180^e$
	$L/120^{f, i}$
Vigas de cobertura ^g	$L/250^h$
Sistema de piso	$L/350^h$
Vigas que suportam pilares ou painéis de parede	$L/500^h$
Edifícios:	
— Deslocamento horizontal do topo dos pilares ou painéis de parede em relação à base	$H/400$
— Deslocamento horizontal relativo entre dois pisos consecutivos	$h/500^j$
— Deslocamento horizontal, no meio do painel, em relação às extremidades	$h/300$
^a L é o vão teórico entre os apoios ou o dobro do comprimento teórico do balanço, H é a altura total do pilar (distância do topo à base) ou a distância do nível da viga de rolamento à base, h é a altura do andar (distância entre os centros das vigas de dois pisos consecutivos ou entre os centros das vigas e a base, no caso do primeiro andar).	
^b Deslocamento paralelo ao plano do fechamento (entre linhas de tirantes, caso estes existam).	
^c Deslocamento perpendicular ao plano do 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 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 pode exceder 15 mm.	
ⁱ Considerar combinações raras de serviço.	
^j Levantar em conta apenas o deslocamento provocado pelas forças cortantes no andar considerado, desprezando-se os deslocamentos de corpo rígido provocados pelas deformações axiais dos pilares e vigas.	

No cálculo dos deslocamentos verticais a serem comparados com os valores máximos dados na Tabela 3, pode-se deduzir o valor da contraflecha da viga até o limite do valor da flecha proveniente das ações permanentes (δ_1 da Figura 18).

Em cada situação, o responsável técnico pelo projeto deve decidir qual(is) deslocamento(s), dado(s) esquematicamente na Figura 18, deve(m) ser comparado(s) com os valores máximos da Tabela 3 e quais os carregamentos (ou parte desses) devem ser considerados no cálculo, levando-se em conta a sequência de construção.

8.3 Deslocamentos horizontais e estabilidade lateral

Recomenda-se que as edificações de *light steel framing* sejam analisadas por métodos de segunda ordem rigorosa, isto é, que a relação entre os deslocamentos de segunda e primeira ordens não excedam 1,1, conforme a classificação estabelecida na ABNT NBR 8800.

9 Vibrações em pisos

9.1 Requisitos gerais

As estruturas de pisos com pouca massa e amortecimento reduzido podem estar sujeitos a vibrações que causem desconforto durante as atividades humanas normais ou que causem prejuízo ao funcionamento de equipamentos. Esta Seção trata dos princípios básicos necessários para realizar análises dinâmicas de estruturas de pisos que suportam lajes secas ou úmidas, submetidos a ações induzidas por pessoas ou multidões. Outros tipos de vibração não são considerados.

As equações de 9.2 referem-se a um método simplificado para avaliação da resposta de pisos, com geometria regular e carregamento que possa ser considerado uniformemente distribuído à excitação provocada pelo caminhar de pessoas.

Em pisos com geometria e carregamentos mais complexos ou sujeitos a outros tipos de excitação, como, excitações rítmicas oriundas de atividades aeróbicas, é necessária uma avaliação mais precisa, conforme 9.2.

Em 9.2 são apresentados critérios de aceitabilidade da resposta da estrutura em relação ao conforto dos usuários, em função da ocupação do piso.

Para esse estado-limite de serviço, devem-se utilizar as combinações frequentes de serviço, conforme a ABNT NBR 8800. Porém, no caso específico de análise de vibrações decorrentes do caminhar de pessoas, devem-se tomar os fatores de redução ψ_1 e ψ_2 iguais a 0,1. Em alguns casos, esses valores devem ser considerados iguais a zero, como no caso de áreas de circulação de público de centros comerciais, de aeroportos, rodoviárias e assemelhados.

Para evitar que a estrutura de piso entre em ressonância com o primeiro harmônico do caminhar de pessoas, sua frequência natural não pode ser inferior a 3 Hz. Em pisos com frequências naturais inferiores a 3 Hz, a critério do responsável técnico pelo projeto, deve-se demonstrar, por meio de uma avaliação precisa, que a resposta da estrutura do piso, mesmo em ressonância com o primeiro harmônico do caminhar de pessoas, não ultrapassa os valores apresentados em 9.3.

9.2 Avaliação simplificada para o caminhar de pessoas

O procedimento simplificado, válido para pisos com frequência fundamental entre 3 Hz e 9 Hz, compreende as seguintes etapas:

- a) avaliação da frequência fundamental,
- b) avaliação da massa modal do piso;

- c) obtenção da resposta, com base na avaliação da razão de amortecimento crítico do piso apresentada na Tabela 4;
- d) comparação com os critérios de aceitabilidade.

Em pisos com geometria regular e carregamento uniformemente distribuído, compreendendo laje sobre grelhas (vigas secundárias, suportadas por vigas principais), dois modos de vibração devem ser avaliados: o modo das vigas secundárias e o modo das vigas principais, conforme a Figura 19. No primeiro modo, formam-se linhas nodais sobre as vigas principais, de forma que as vigas secundárias vibrem como simplesmente apoiadas. No segundo modo, as vigas principais vibram simplesmente apoiadas nos pilares e as vigas secundárias vibram como se fossem engastadas nos apoios. Para cada modo, a frequência fundamental f_0 , em hertz, pode ser calculada pela seguinte equação:

$$f_0 = \frac{18}{\sqrt{\delta}}$$

onde δ é deslocamento vertical total máximo do piso, expresso em milímetros (mm), calculado de acordo com a Tabela 4.

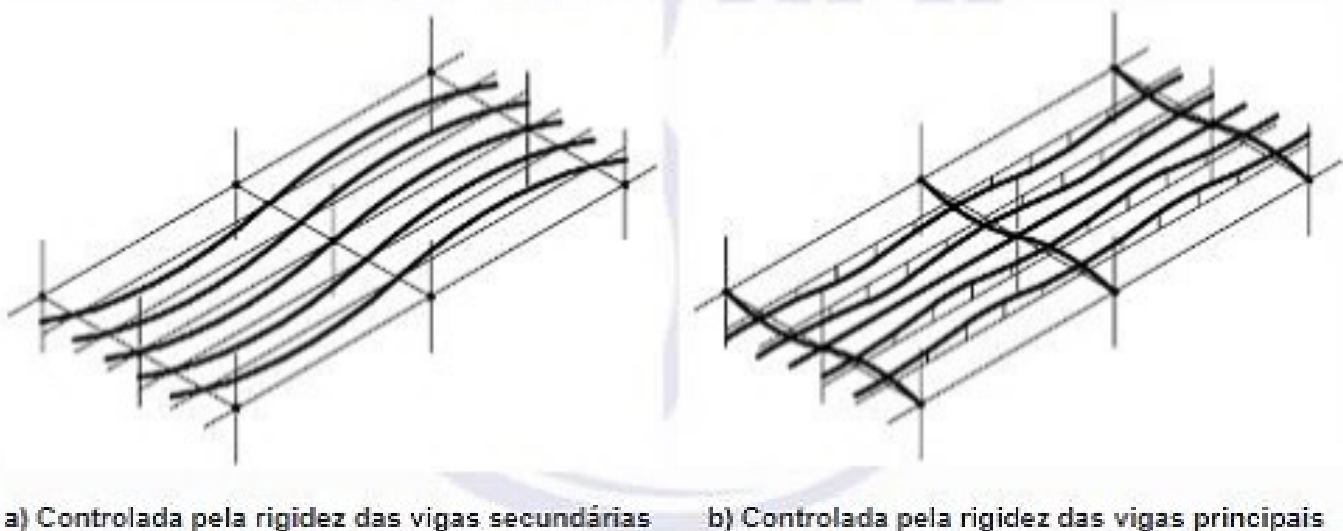
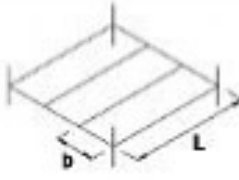


Figura 19 – Modos de vibração do piso

Tabela 4 – Cálculo dos deslocamentos do piso (continua)

Arranjo das lajes do piso	Modo de vibração das vigas secundárias	Modo primário de vibração das vigas principais
	$\delta = \frac{mgb}{384E} \left(\frac{5L^4}{l_b} + \frac{b^3}{l_s} \right)$	
	$\delta = \frac{mgb}{384E} \left(\frac{5L^4}{l_b} + \frac{b^3}{l_s} \right)$	$\delta = \frac{mgb}{384E} \left(\frac{64b^3L}{l_p} + \frac{L^4}{l_b} + \frac{b^3}{l_s} \right)$

Tabela 4 (conclusão)

Arranjo das lajes do piso	Modo de vibração das vigas secundárias	Modo primário de vibração das vigas principais
	$\delta = \frac{mgb}{384E} \left(\frac{5L^4}{I_b} + \frac{b^3}{I_s} \right)$	$\delta = \frac{mgb}{384E} \left(\frac{368b^3L}{I_p} + \frac{L^4}{I_b} + \frac{b^3}{I_s} \right)$
Legenda <i>m</i> é a massa uniformemente distribuída sobre o piso, expressa em quilogramas por metro quadrado (kg/m ²) <i>g</i> é a aceleração da gravidade <i>E</i> é o módulo de elasticidade do aço <i>I_b</i> é o momento de inércia da viga secundária, com <i>b_{ef}</i> igual a <i>L_p</i> /4 ou <i>b</i> , o que for menor <i>I_p</i> é o momento de inércia da viga principal, com <i>b_{ef}</i> igual a <i>L_p</i> /4 ou <i>L_b</i> , o que for menor <i>I_s</i> é o momento de inércia por unidade de largura de piso		

A massa modal do piso pode ser avaliada a partir de uma área efetiva de participação do piso, calculada pela seguinte equação:

$$M = mL_{ef}S$$

onde

m é a massa uniformemente distribuída sobre o piso, expressa em quilogramas por metro quadrado (kg/m²);

L_{ef} e *S* são o comprimento efetivo e a largura efetiva do piso, dados, respectivamente, por:

$$L_{ef} = 1,09(1,10)^{n_b-1} \left(\frac{EI_b}{mbf_0^2} \right)^{0,25} \leq n_b L_b$$

$$S = \eta(1,15)^{n_p-1} \left(\frac{EI_s}{mf_0^2} \right)^{0,25} \leq n_p L_p$$

onde

n_b e *n_p* são o número de espaçamentos das vigas secundárias e a quantidade de vãos das vigas secundárias, respectivamente (ver Figura 19);

η é um fator que considera a influência da frequência do piso na resposta dinâmica.

Para frequência menor que 5 Hz, *η* é igual a 0, para frequências entre 5 Hz e 6 Hz, $\eta = 0,21 f_0 - 0,55$; para frequência superior a 6 Hz, *η* é igual a 0,71.

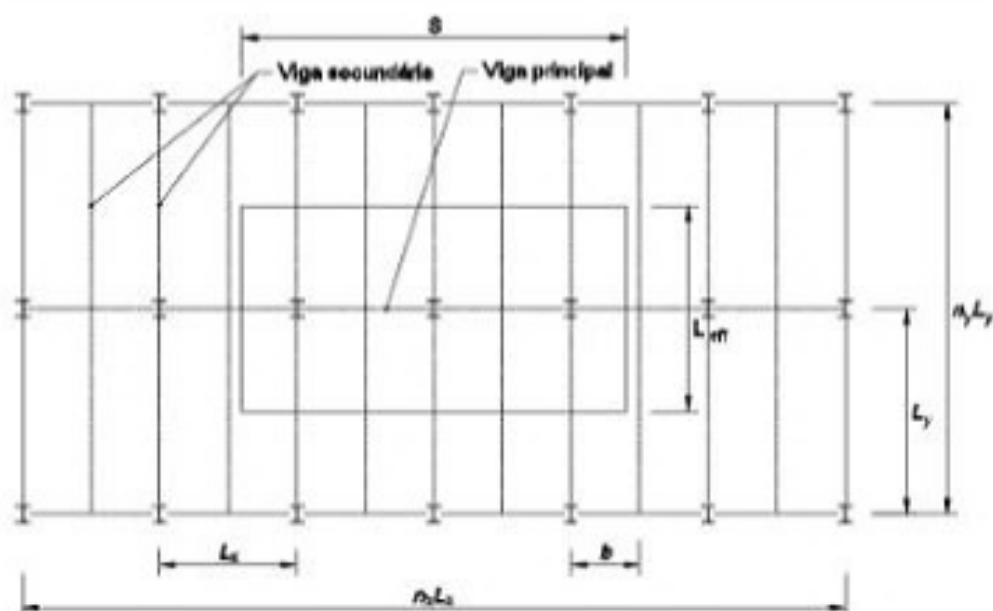


Figura 20 – Determinação das variáveis para o cálculo da massa modal

A resposta da estrutura pode ser avaliada com base na aceleração de pico a_p ou no valor eficaz da aceleração ponderada, isto é, a raiz da média quadrática da aceleração ponderada, $a_{w,rms}$, a critério do responsável técnico pelo projeto.

A aceleração de pico pode ser calculada pela seguinte equação:

$$a_p = 0,415 \frac{P_0 e^{-0,35f_0}}{2M\beta}$$

O valor eficaz da aceleração ponderada pode ser calculado pela seguinte equação:

$$a_{w,rms} = 0,5 \frac{0,1P_0}{2\sqrt{2}M\beta} W$$

onde

P_0 é o peso de uma pessoa, considerado igual a 750 N;

f_0 é a frequência fundamental do piso, expressa em hertz (Hz);

M é a massa modal do piso, expressa em quilogramas (kg);

β é a razão de amortecimento crítico do piso, obtida pela soma dos componentes apropriados da Tabela 5;

W é o fator de ponderação da aceleração (adimensional), em função da frequência fundamental, que deve ser considerado igual a 1,0, para frequência igual ou superior a 5 Hz, e igual a $f_0/5$, para frequência inferior a 5 Hz.

A aceitação da estrutura deve ser avaliada em função do tipo de resposta obtida. Se a resposta for em termos da aceleração de pico, seu valor deve ser diretamente comparado com os limites de aceleração de pico, isto é, a aceleração calculada deve ser igual ou inferior aos limites, conforme a ocupação do piso, apresentados na Tabela 6. Se a resposta for em termos do valor eficaz, deve-se

obter inicialmente o fator de resposta, R , que deve ser igual ou inferior aos limites apresentados na Tabela 6, em função da ocupação do piso. O fator de resposta deve ser calculado pela seguinte equação:

$$R = \frac{a_{w,rms}}{0,005}$$

Tabela 5 – Componentes da razão de amortecimento crítico

Componente	Razão de amortecimento crítico
Sistema estrutural	0,010
Forros e instalações suspensos no piso	0,010
Escritórios convencionais	0,010
Escritórios corporativos ^a	0,005
Área de circulação de público de centros comerciais (<i>mall</i>), de aeroportos, de rodoviárias e assemelhados	0,000
Centros comerciais e lojas em geral	0,010
Residências, hotéis e hospitais ^b	0,010
Paredes divisórias	0,020 a 0,050 ^c
^a Andar corrido, com pouco uso de papel. ^b Salas de atendimento e de internação. ^c Depende da quantidade e da localização; quanto maior a quantidade e mais próximas ao centro do piso, maior é o amortecimento.	

9.3 Critérios de aceitabilidade

A estrutura do piso deve ser considerada adequada ao estado-limite de conforto dos usuários relativamente ao caminhar de pessoas se a resposta da estrutura, medida em termos da aceleração de pico ou do valor eficaz da aceleração, for igual ou inferior aos limites apresentados na Tabela 6, em função da ocupação do piso.

Tabela 6 – Critérios de aceitabilidade (continua)

Ocupação	Aceleração de pico-limite m/s ²	Fator de resposta-limite
Escritórios	0,050	8
Escolas ^a	0,050	8
Área de circulação de público de centros comerciais (<i>mall</i>), de aeroportos, de rodoviárias e assemelhados	0,150	24
Centros comerciais e lojas em geral	0,050	8
Residências e hotéis	0,050	8
Hospitais – salas de atendimento, internação e apartamentos	0,025 a 0,050 ^b	4 a 8 ^b

Tabela 6 (conclusão)

Ocupação	Aceração de pico-limite m/s ²	Fator de resposta-limite
Hospitais – salas de cirurgia e laboratórios ^c	0,006 a 0,012 ^d	1 a 2 ^d

^a Salas de aula e áreas comuns.

^b A ser avaliado conforme a sensibilidade dos pacientes. Em locais onde são internados pacientes cuja condição ou tratamento conduz a uma maior sensibilidade a movimentos, utilizar o menor valor-limite.

^c Salas de cirurgia e laboratórios convencionais. Em outras situações, como centros cirúrgicos especializados ou com equipamentos eletrônicos sensíveis e laboratórios de alta precisão.

^d A ser avaliado conforme o tipo de cirurgia e exames. Em salas de cirurgia e laboratórios onde são realizados procedimentos que requerem maior precisão, utilizar o menor valor-limite