NORMA BRASILEIRA

ABNT NBR 15524-2

Primeira edição
01.10.2007

Válida a partir de
01.11.2007

Sistemas de armazenagem
Parte 2: Diretrizes para o uso de estruturas tipo porta-paletes seletivos

Storage systems
Part 2: Selective pallet racks

Palavras-chave: Armazenagem. Sistema. Porta-palete seletivo.
Descriptors: Storage. System. Selective pallet rack.

ICS 53.080

ISBN 978-85-07-00743-2

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS

Número de referência
ABNT NBR 15524-2:2007
72 páginas

©ABNT 2007

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

© ABNT 2007
Todos os direitos reservados. A menos que especificado de outro modo, nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida ou por qualquer meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia e microfilme, sem permissão por escrito pela ABNT.

Sede da ABNT
Av.Treze de Maio, 13 - 28º andar
20031-901 - Rio de Janeiro - RJ
Tel.: + 55 21 3974-2300
Fax: + 55 21 2220-1762
abnt@abnt.org.br
www.abnt.org.br

Impresso no Brasil

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

Sumário

Página

Prefácio vi

1 Escopo 1

2 Referências normativas 1

3 Materiais 2
3.1 Aços com qualificação estrutural 2
3.2 Aços sem qualificação estrutural 2
3.3 Elementos de fixação 2
3.3.1 Parafusos 2
3.3.2 Chumbadores 2
3.4 Eletrodos, arames e fluxos para soldagem 2

4 Tratamento superficial 3
4.1 Pintura 3
4.2 Galvanização 3
4.3 Proteção contra incêndio 3

5 Projeto 3
5.1 Definição de leiaute de uma área de armazenagem 4
5.2 Folgas mínimas 4
5.3 Guia para empilhadeiras 7
5.4 Utilização de protetores 7
5.5 Utilização de guias de caçamba, planos revestidos ou espaçador de garfos 7
5.6 Amarração superior 7

6 Cálculos 7
6.1 Propriedades gerais do aço 8
6.2 Classificação das estruturas em relação ao contraventamento 8
6.2.1 Porta-paletes seletivo sem contraventamento 8
6.2.2 Porta-paletes seletivo com contraventamento 10
6.3 Tempo de vida para cálculo 13
6.4 Estados-limites de serviço 13
6.5 Imperfeições 13
6.5.1 Imperfeições nos montantes em porta-paletes seletivos não contraventados 14
6.5.2 Imperfeições no sistema de contraventamento 14
6.5.3 Imperfeições nos elementos 15
6.6 Ações 16
6.6.1 Ações permanentes 16
6.6.2 Ações variáveis 16
6.6.3 Cargas de impacto 18
6.7 Combinações 18
6.7.1 Combinações de ações para estados-limites últimos 18
6.7.2 Combinações de ações para estados-limites de serviço 19
6.8 Fator de carga 19
6.9 Fator de material 20
6.10 Contraventamento das estruturas na estrutura do prédio 20
6.11 Excentricidades na análise global 20
6.12 Cálculo das longarinas 22
6.12.1 Comprimento de cálculo das longarinas 22
6.12.2 Imprecisão no posicionamento 22
6.12.3 Cálculo do momento de flexão 23
6.12.4 Cálculo da cortante 24
6.12.5 Cálculo da flecha 24
6.12.6 Cálculo de flexo-torção 25

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

6.12.7 Cálculo de conectores 26
6.13 Membros comprimidos 26
6.13.1 Membros comprimidos não perfurados 27
6.13.2 Membros comprimidos perfurados 27
6.13.3 Membros comprimidos sem flambagem global 27
6.13.4 Membros comprimidos com flambagem por flexão 27
6.13.5 Curva de flambagem 28
6.13.6 Ângulo máximo de inclinações para diagonais 28
6.13.7 Comprimento de flambagem 29
6.13.8 Flambagem por torção e flexo-torção 33
6.14 Junções 35
6.15 Sapatas 36
6.16 Fator de equivalência de cargas nas longarinas 37
6.17 Fator de imperfeição para diferentes perfis 39
6.18 Distanciadores 40

7 Montagem 40
7.1 Tolerâncias 40
7.1.1 No piso 40
7.1.2 No alinhamento da estrutura 40
7.1.3 No campo entre montantes contínuos e opostos 44
7.2 Instrumentos de medição 45

8 Utilização 45
8.1 Unidades de carga para carregamento com equipamentos de movimentação 45
8.1.1 Unidades de carga que não exigem acessórios 45
8.1.2 Unidades de carga que exigem acessórios 45
8.2 Distribuição das cargas 46
8.2.1 Colocação de cargas sobre a unidade de carga 46
8.2.2 Distribuição das unidades de carga sobre a estrutura 47
8.3 Procedimentos de movimentação das unidades de carga nas estruturas 48
8.3.1 Manual 48
8.3.2 Mecânico 48

9 Inspeção 48
9.1 Pontos iniciais de inspeção 49
9.1.1 Pós-montagem 49
9.1.2 Utilização 49
9.2 Avaliação de danos e redução nos níveis de segurança 49
9.2.1 Avaliação geral 49
9.2.2 Avaliação de danos 50
9.3 Avaliação da inspeção 52
9.3.1 Montantes 52
9.3.2 Longarinas 52
9.3.3 Avaliações complementares 52
9.4 Freqüência da inspeção 53
9.5 Registro de inspeção 53
9.6 Limpeza 53
9.7 Sinalização 53
9.8 Iluminação 54

10 Ensaios 54
10.1 Parâmetros gerais 54
10.1.1 Execução dos ensaios 54
10.1.2 Condições de apoio 54
10.1.3 Incrementos de carga 54
10.1.4 Precisão das medidas 54
10.1.5 Montagem das amostras de ensaio 54
10.1.6 Relatório de ensaio 54
10.1.7 Interpretação dos resultados 55
10.2 Ensaio em componentes da estrutura 55
10.2.1 Ensaio de coluna curta 55
10.2.2 Ensaio da ligação entre longarina e coluna 59

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

10.2.3 Ensaio da carga de cisalhamento de conectores e travas 62
10.2.4 Ensaio de junções 64
10.3 Ensaio em estruturas 65
10.3.1 Ensaio de compressão de montantes 65
10.3.2 Ensaio de flambagem por flexão nas colunas dos montantes 67
10.3.3 Ensaio de flexão nas longarinas 68
10.4 Ensaios no conjunto estrutural 70
10.4.1 Ensaio de longarinas em flexão 70
10.4.2 Deslocamentos horizontais 71

Bibliografia 72

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

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 Temporárias (ABNT/CEET), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte: produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratórios e outros).

Os Documentos Técnicos ABNT são elaborados conforme as regras da Diretivas ABNT, Parte 2.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) chama atenção para a possibilidade de que alguns dos elementos deste documento podem ser objeto de direito de patente. A ABNT não deve ser considerada responsável pela identificação de quaisquer direitos de patentes.

A ABNT NBR 15524-2 foi elaborada pela Comissão de Estudo Especial Temporária para Sistemas de Armazenagem (ABNT/CEET-00:001.69). O Projeto circulou em Consulta Nacional conforme Edital nº 06, de 22.05.2007 a 21.06.2007, com o número de Projeto 00:001.69-001/2.

A ABNT NBR 15524, sob o título geral “Sistemas de armazenagem", tem previsão de conter as seguintes partes:

— Parte 1: Terminologia;

— Parte 2: Diretrizes para estruturas tipo porta-paletes seletivo.

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

Sistemas de armazenagem
Parte 2: Diretrizes para o uso de estruturas tipo porta-paletes seletivos

1 Escopo

1.1 Esta parte da ABNT NBR 15524 fornece orientações sobre o projeto, cálculo, montagem e utilização de estruturas tipo porta-paletes seletivos (PPS) em sistemas de armazenagem.

1.2 Esta parte da ABNT NBR 15524 se aplica somente às estruturas de aço-carbono.

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 5413:1992, *Iluminância de interiores*

ABNT NBR 6323:1996, *Produto de aço ou ferro fundido revestido de zinco por imersão a quente*

ABNT NBR 8800, *Projeto e execução de estruturas de aço de edifícios*

ABNT NBR 14762:2001, *Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio – Procedimento*

ABNT NBR 10476:1988, *Revestimentos de zinco eletrodepositado sobre ferro ou aço*

ABNT NBR 11003:1990, *Tintas – Determinação da aderência*

ANSI/AWS A5.1/A5.1M:2004, *Specification for carbon steel electrodes for shielded metal arc welding*

ANSI/AWS A5.5/A5.5M:2006, *Specification for low-alloy steel electrodes for shielded metal arc welding*

ANSI/AWS A5.17/A5.17M:1997, *Specification for carbon steel electrodes and fluxes for submerged arc welding*

ANSI/AWS A5.18/A5.18M:2005, *Specification for carbon steel electrodes and rods for gas shielded arc welding*

ANSI/AWS A5.20/A5.20M:2005, *Specification for carbon steel electrodes for flux cored arc welding*

AWS A5.23/A5.23:1997, *Specification for low alloy steel electrodes and fluxes for submerged arc welding*

ANSI/AWS A5.28/A5.28M:2005, *Specification for low-alloy steel electrodes and rods for gas shielded arc welding*

ANSI/AWS A5.29/A5.29M:2005, *Specification for low-alloy steel electrodes for flux cored arc welding*

ASTM A 370:2005, *Standard test methods and definitions for mechanical testing of steel products*

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

3 Materiais

As estruturas tipo porta-paletes seletivo (PPS) são fabricadas em aço-carbono de baixa liga e alta resistência mecânica, para as quais aplicam-se os parâmetros estabelecidos em 3.1 a 3.4.

3.1 Aços com qualificação estrutural

Os aços utilizados nos elementos com função estrutural (longarinas e montantes) devem ter qualificação estrutural e possuir propriedades mecânicas adequadas para receber o trabalho a frio e apresentar relação entre a resistência à ruptura e a resistência ao escoamento (f_u/f_y) maior ou igual a 1,08, e o alongamento após ruptura não deve ser menor que 10 % para base de medida igual a 50 mm ou 7 % para base de medida igual a 200 mm, conforme ASTM A 370:2005.

3.2 Aços sem qualificação estrutural

A utilização de aços em elementos sem função estrutural (perfis) é permitida, se o aço possuir propriedades mecânicas adequadas para receber o trabalho a frio. Não devem ser considerados no projeto valores superiores a 180 MPa e 300 MPa, respectivamente, para a resistência ao escoamento (f_y) e a resistência à ruptura (f_u) conforme ABNT NBR 14762:2001.

3.3 Elementos de fixação

3.3.1 Parafusos

Recomenda-se utilizar parafusos de aço com qualificação estrutural, comuns ou de alta resistência.

A utilização de parafusos de aço sem qualificação estrutural é permitida, desde que não seja adotado no projeto valor superior a 300 MPa para a resistência à ruptura do parafuso na tração f_{up}.

3.3.2 Chumbadores

Todos os elementos estruturais em contato com o piso devem ser fixados com chumbadores mecânicos ou químicos.

Quando houver esforços dinâmicos ou vibrações, devem ser utilizados chumbadores químicos fixados através de porca com sistema de travamento.

Devem ser observados os seguintes fatores na determinação da capacidade e a geometria de fixação do chumbador:

— profundidade de embutimento;

— distância do chumbador à borda do elemento de concreto;

— distâncias entre chumbadores adjacentes;

— resistência à compressão do concreto.

3.4 Eletrodos, arames e fluxos para soldagem

Os eletrodos, arames e fluxos para soldagem devem estar de acordo com as exigências das especificações ANSI/AWS A5.1:2004, ANSI/AWS A5.5:2006, ANSI/AWS A5.17:1997, ANSI/AWS A5.18:2005, ANSI/AWS A5.20:2005, AWS A5.23:1997, ANSI/AWS A5.28:2005 e ANSI/AWS A5.29:2005, onde aplicável.

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

4 Tratamento superficial

O tratamento superficial da estrutura deve garantir a segurança da operação e prevenir a corrosão. Para a escolha do tipo de tratamento superficial, deve-se levar em consideração os seguintes fatores:

a) características do meio ambiente onde será instalada a estrutura:

— ambiente rural, urbano, industrial ou marítimo;

— atmosfera com presença de elementos corrosivos (CO_2, SO_2, H_2S);

— umidade relativa e temperatura;

b) características do produto a ser armazenado:

— contato direto com produtos alimentícios;

— contato direto com produtos corrosivos.

Entre os diversos tratamentos superficiais possíveis, as estruturas podem ser pintadas ou galvanizadas por diferentes processos. Os mais comuns são:

— pintura líquida;

— pintura a pó;

— galvanização eletrolítica;

— galvanização a quente.

4.1 Pintura

A pintura não deve apresentar fissuras ou trincas devido ao processo de dilatação ou contração durante toda a sua vida útil.

Os ensaios de aderência para tintas devem seguir a ABNT NBR 11003:1990.

NOTA A utilização de cores diferentes entre montantes e longarinas melhora a visualização dos elementos, minimizando as batidas e a colocação incorreta dos paletes.

4.2 Galvanização

A galvanização eletrolítica deve atender à ABNT NBR 10476:1988 e a galvanização a fogo deve atender à ABNT NBR 6323:1996.

4.3 Proteção contra incêndio

Quando solicitada, a proteção contra incêndio deve levar em consideração que o aço, quando atacado pelo fogo, apresenta resistência reduzida e uma redução brusca do seu estado-limite de escoamento a partir de 400 °C, atingindo valores críticos em temperaturas em torno de 550 °C.

5 Projeto

No projeto de estruturas de porta-paletes seletivos, devem ser considerados os parâmetros de 5.1 a 5.6.

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

5.1 Definição de leiaute de uma área de armazenagem

Entende-se por leiaute a distribuição das estruturas de armazenagem em uma área de movimentação de material.

Na distribuição das estruturas de armazenagem devem ser observados os seguintes pontos:

a) largura do corredor:

$$Cr_{\text{mín}} = Co_{\text{mín}} + 2 \times B_p$$

onde:

$Co_{\text{mín}}$ é a largura do corredor operacional, definida pelo tipo do equipamento de movimentação, expressa em milímetros (mm);

$Cr_{\text{mín}}$ é a largura do corredor;

B_p é o balanço do palete;

b) a altura do último nível de longarinas deve ser 200 mm menor que a altura máxima da elevação do garfo da empilhadeira;

c) em função do tipo de empilhadeira ou da necessidade do tipo de produto a ser armazenado, de acordo com as exigências sanitárias, deve-se considerar a colocação de um par de longarinas próximo ao piso;

d) túneis de passagem devem ter:

— altura livre mínima no mínimo 200 mm maior que a altura máxima da torre recuada;

— largura livre mínima é a largura dos equipamentos de movimentação ou da(s) unidade(s) de carga(s) (o que for maior), acrescida de folga mínima de 150 mm entre eles;

NOTA Para estabelecer a quantidade e posição de túneis e elementos de segurança, considerar a operação e os padrões de segurança aplicáveis.

e) interferências com outras instalações do prédio, como rede de prevenção de incêndios ou rede elétrica;

f) situação arquitetônica do prédio.

5.2 Folgas mínimas

As folgas mínimas para operação devem ser definidas em função do tipo de equipamento de movimentação. Estes equipamentos são classificados em três tipos principais.

a) Classe I – são instalações de corredor muito estreito, onde durante a operação de carga e descarga o operador da empilhadeira sobe e desce junto com a unidade de carga.

b) Classe II – são instalações de corredor muito estreito, onde durante a operação de carga e descarga o operador da empilhadeira fica no nível do piso e sem sistema auxiliar de posicionamento.

c) Classe III – são instalações de corredor largo ou estreito, onde são utilizadas empilhadeiras contrabalanceadas, de combustão ou elétricas, e sem sistema auxiliar de posicionamento.

A Tabela 1 e a Figura 1 estabelecem valores para as principais folgas na definição inicial de um projeto.

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

Tabela 1 — Folgas mínimas para projeto

Dimensões em milímetros

Dimensão	Descrição		Valor mínimo			Observação
			Classe I	Classe II	Classe III	
X_1	Folga lateral entre carga e coluna	$Y_h \leq 3\,000$	75	75	75	—
		$3\,000 < Y_h \leq 6\,000$	75	100	100	
		$6\,000 < Y_h \leq 9\,000$	75	100	100	
		$Y_h > 9\,000$	75	125	125	
X_2	Folga lateral entre cargas	$Y_h \leq 3\,000$	75	75	75	—
		$3\,000 < Y_h \leq 6\,000$	75	100	100	
		$6\,000 < Y_h \leq 9\,000$	75	100	100	
		$Y_h > 9\,000$	75	125	125	
X_3	Folga lateral entre paletes e colunas	$Y_h \leq 3\,000$	75	75	75	—
		$3\,000 < Y_h \leq 6\,000$	75	100	100	
		$6\,000 < Y_h \leq 9\,000$	75	100	100	
		$Y_h > 9\,000$	75	125	125	
X_4	Folga lateral entre paletes	$Y_h \leq 3\,000$	75	75	75	—
		$3\,000 < Y_h \leq 6\,000$	75	100	100	
		$6\,000 < Y_h \leq 9\,000$	75	100	100	
		$Y_h > 9\,000$	75	125	125	
Y_1	Folga entre o topo da carga e a parte inferior da longarina	$Y_h \leq 3\,000$	75	75	75	Deve-se levar em conta a folga de elevação no primeiro nível, exigida pelo equipamento (ver Y_3)
		$3\,000 < Y_h \leq 6\,000$	75	100	100	
		$6\,000 < Y_h \leq 9\,000$	75	125	125	
		$Y_h > 9\,000$	75	150	150	
Y_2	Folga entre o topo da carga e o teto		200	200	200	Verificar exigências adicionais em função do tipo de produto, temperatura e circulação de ar
Y_3	Folga de elevação no primeiro nível, exigida pelo equipamento		Determinado pelo fabricante do equipamento de movimentação			Valor a ser considerado para cargas apoiadas diretamente sobre o piso
Y_4	Altura do último nível de longarinas		Máxima elevação do garfo da empilhadeira menos 200 mm			
Z_1	Folga entre a carga ou palete e o prédio		Maior valor entre 50 mm e o balanço do palete			Verificar 5.1-e) e 5.1-f)
Z_2	Folga entre as cargas ou entre os paletes		Maior valor entre 100 mm e o balanço do palete			—
Z_3	Balanço do palete		50			Para valores menores que o mínimo, devem ser usados acessórios como transversinas ou planos *H* para garantir a segurança na colocação do palete
Y_h	Altura do nível onde estão sendo definidas as folgas					

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

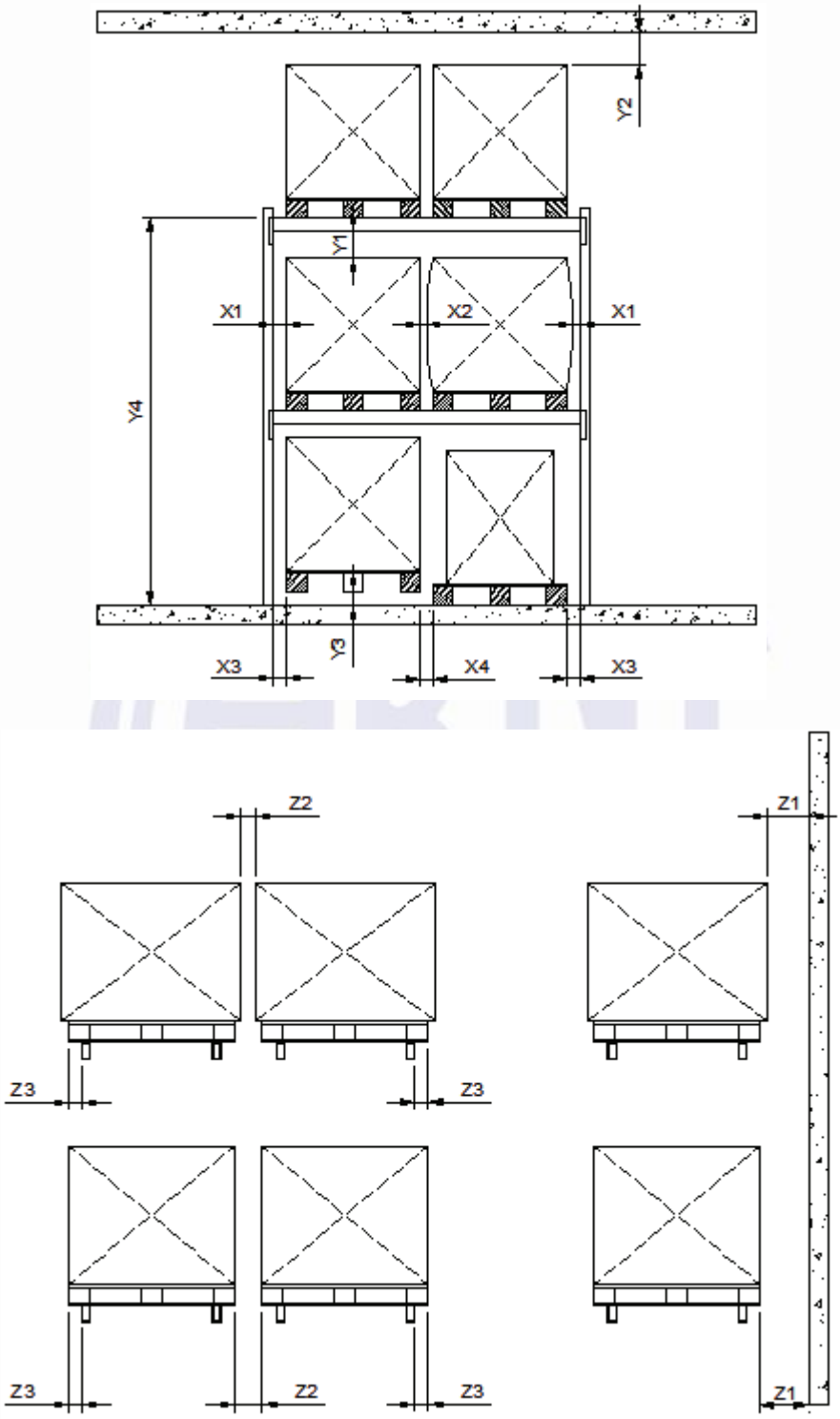


Figura 1 — Folgas mínimas

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

5.3 Guia para empilhadeiras

As guias para empilhadeiras devem ser descontinuadas onde houver interseção com as juntas de dilatação do piso. Os tipos dos perfis metálicos utilizados para guias de empilhadeira devem atender às especificações do fabricante do equipamento de movimentação. O espaçamento e o tipo de fixação devem ser dimensionados pelo fabricante da estrutura.

5.4 Utilização de protetores

Quando necessário ou solicitado, os protetores de coluna devem ter no mínimo 300 mm de altura e os protetores laterais de conjunto devem ter no mínimo 400 mm de altura.

5.5 Utilização de guias de caçamba, planos revestidos ou espaçador de garfos

Quando a carga a ser armazenada possuir saliências inferiores, como, por exemplo, os pés de uma caçamba, guias apoiadas nas longarinas ou planos revestidos resistentes devem ser utilizados para assegurar que a carga esteja sempre apoiada e não deslize.

O mesmo critério vale no caso de utilização de paletes plásticos que não possuem mecanismos de apoio.

Quando a carga a ser armazenada não possibilitar o acesso do garfo da empilhadeira, devem ser utilizados espaçadores de garfo.

5.6 Amarração superior

Uma vez definida a necessidade de amarração superior ou na falta de uma verificação mais criteriosa, os seguintes critérios devem ser seguidos:

a) a estrutura cujos montantes ultrapassarem 8 na relação de altura/profundidade deve ser necessariamente amarrada a um elemento que garanta que o topo da estrutura seja indeslocável;

b) a amarração deve partir de uma altura superior ao topo da carga mais alta acrescida da folga definida em 5.2, conforme Tabela 1, dimensão Y_1; para isto devem ser providenciados elementos de extensão (montantes) ou colunas de extensão;

c) a amarração deve ser feita a cada três módulos para módulos com longarinas de comprimento inferior a 2 700 mm. Para comprimentos maiores que este valor, as amarrações devem ser feitas a cada dois módulos.

6 Cálculos

O cálculo de uma estrutura deve ser feito em dois estágios:

a) no primeiro estágio, deve ser feita uma análise de cada elemento da estrutura, utilizando-se:

   1) a ABNT NBR 14762:2001 (para elementos formados por perfis estruturais de aço formados a frio, constituídos por chapas ou tiras de aço-carbono ou aço de baixa liga, com espessura máxima igual a 8 mm);

   2) a ABNT NBR 8800 (para elementos formados por perfis de aço que sejam laminados ou soldados).

b) no segundo estágio, uma análise global da estrutura deve ser feita para se determinarem as distribuições de forças e deslocamentos.

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

A estabilidade deve ser considerada para as condições mais desfavoráveis de cargas verticais e horizontais. Caso não seja conhecida a resistência do piso, que impede a consideração das forças estabilizadoras provenientes dos chumbadores, a estrutura deve ser necessariamente ancorada a uma estrutura rígida, capaz de absorver os esforços.

NOTA Esta Norma não contém referências à fadiga. Portanto, assume-se que as estruturas porta-paletes seletivos normais não estão sujeitas a fadiga e que esta Norma não pode ser utilizada para o cálculo de instalações sujeitas a muitos ciclos de carga ou que incorporem características que possam ser vulneráveis à fadiga de ciclo de baixa freqüência sem considerar adequadamente o efeito de cargas repetidas. É provável que a fadiga de ciclo de baixa freqüência seja significativa nas posições de espera e centralização.

6.1 Propriedades gerais do aço

As propriedades do aço a serem utilizadas no projeto devem seguir a Tabela 2.

Tabela 2 — Valores das propriedades do aço

Propriedade	Valor
Massa específica (ρ)	7 850 Kg/m^3
Módulo de elasticidade (E)	205 000 MPa
Coeficiente de Poisson no regime elástico (ν)	0,3
Módulo transversal de elasticidade (G)	78 850 MPa
Coeficiente de dilatação térmica (α)	12x10^{-6} / °C

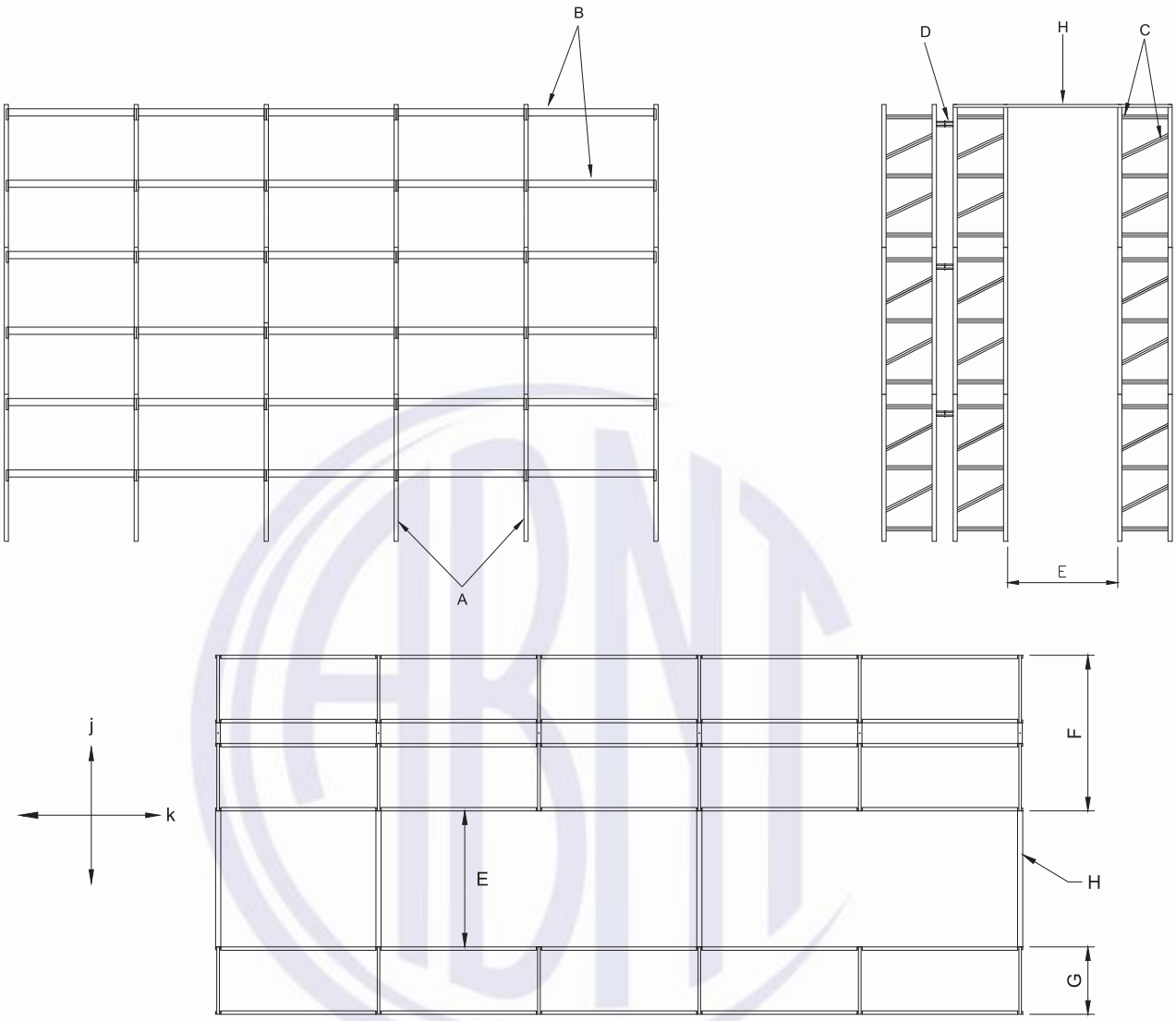
6.2 Classificação das estruturas em relação ao contraventamento

6.2.1 Porta-paletes seletivo sem contraventamento

A Figura 2 representa a configuração típica de um porta-paletes seletivo sem contraventamento, no qual se obtém a estabilidade na direção do corredor apenas pela rigidez do conector da longarina. Na direção perpendicular ao corredor, a estabilidade é obtida pelo contraventamento do montante, e no caso do porta-paletes seletivo bifrontal, os montantes devem ser conectados na altura através de distanciadores.

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados



Legenda:

A Montantes
B Longarinas
C Contraventamentos do montante
D Distanciador
E Corredor
F Conjunto bifrontal
G Conjunto monofrontal
H Amarração superior (quando necessário)
j Sentido paralelo ao montante
k Sentido perpendicular ao montante

Figura 2 — Porta-paletes seletivo sem contraventamento

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

6.2.2 Porta-paletes seletivo com contraventamento

Em um porta-paletes seletivo com contraventamento, as forças que atuam nos planos frontal e traseiro devem ser transferidas para a torre de contraventamento vertical que está no plano de trás do porta-paletes seletivo, como mostra a Figura 3.

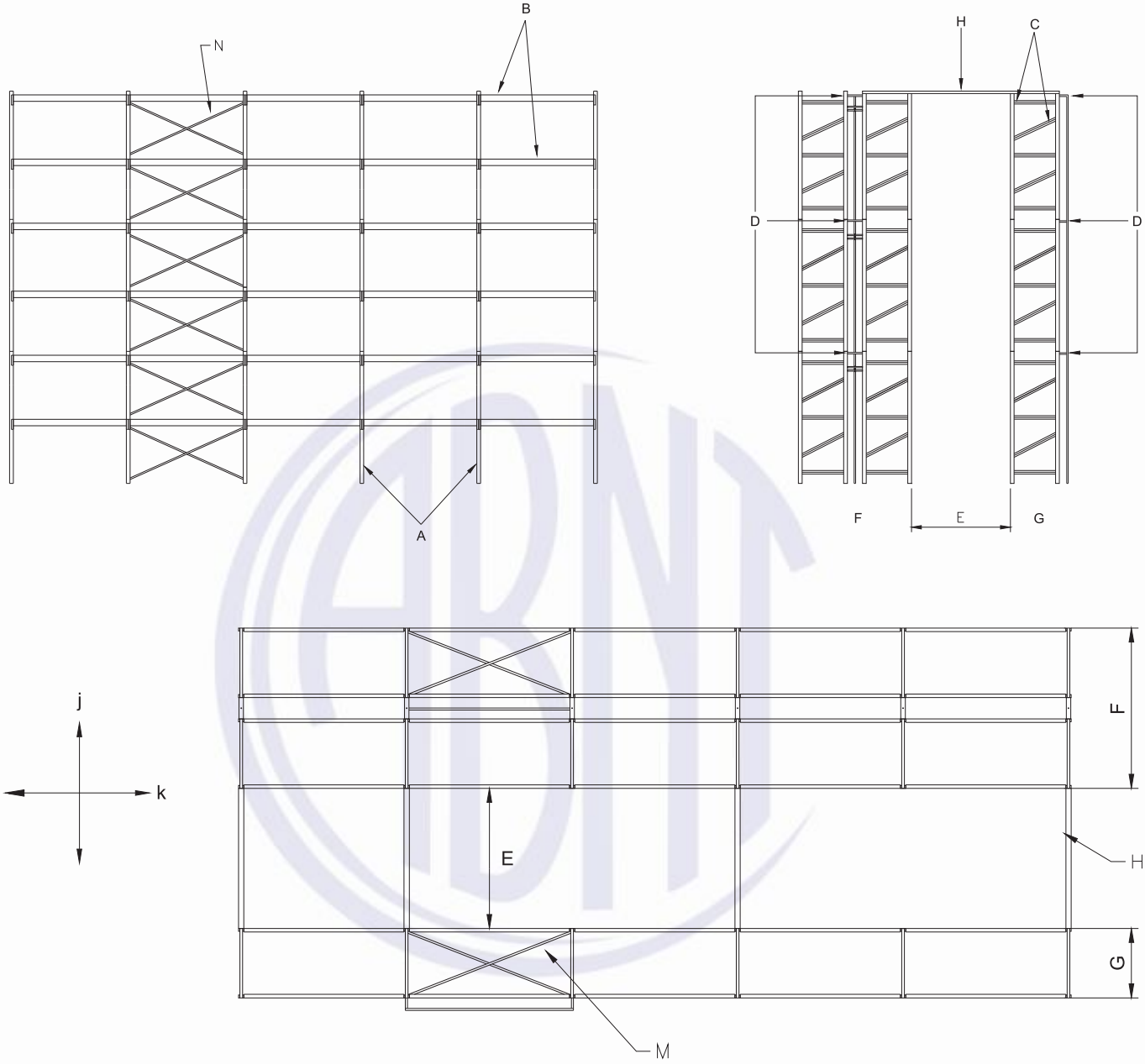
O efeito estabilizador do contraventamento vertical é transmitido para as colunas da frente e de trás sem contraventamento através de contraventamentos horizontais.

A estabilidade na direção perpendicular ao corredor é obtida através do contraventamento do montante

Os porta-paletes seletivos podem ser contraventados verticalmente apenas em parte da altura. Neste caso ambos os métodos de cálculo devem ser levados em consideração.

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados



Legenda:

A Montantes
B Longarinas
C Contraventamentos do montante
D Distanciador
E Corredor
F Conjunto bifrontal
G Conjunto monofrontal
H Amarração superior (quando necessário)
J Sentido paralelo ao montante
K Sentido perpendicular ao montante
M Contraventamento horizontal
N Contraventamento de fundo

Figura 3 — Porta-paletes seletivo com contraventamento

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

Considerações para distanciadores entre conjuntos bifrontais são especificadas em 6.13.

Em porta-paletes seletivo bifrontais, os contraventamentos horizontais devem ser projetados de forma a evitar o deslocamento assimétrico no qual exista um deslocamento na direção do corredor do porta-paletes seletivo em sentidos opostos, como mostram as Figuras 4 e 5.

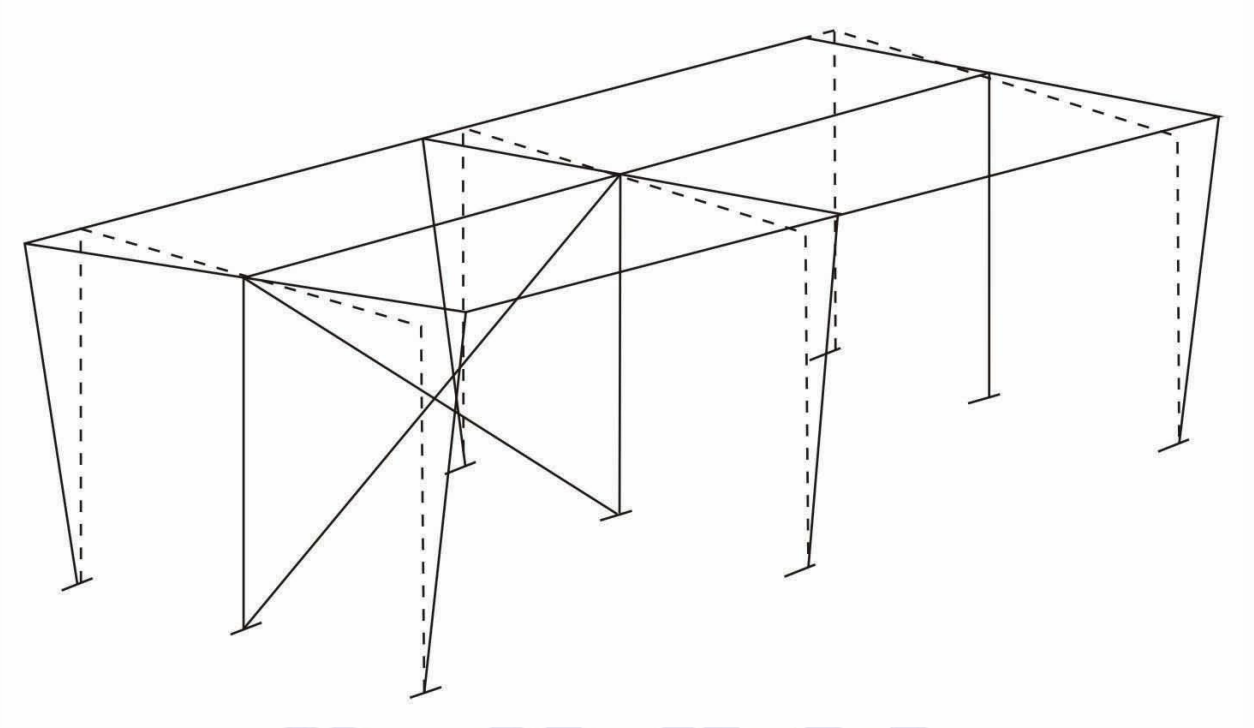


Figura 4 — Modelo de deslocamento assimétrico

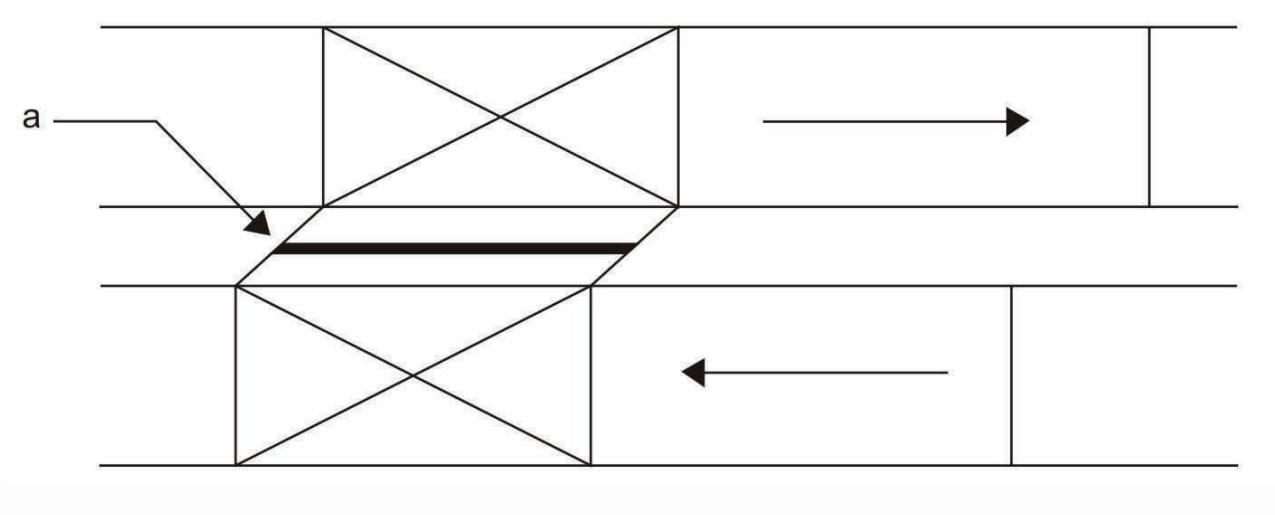
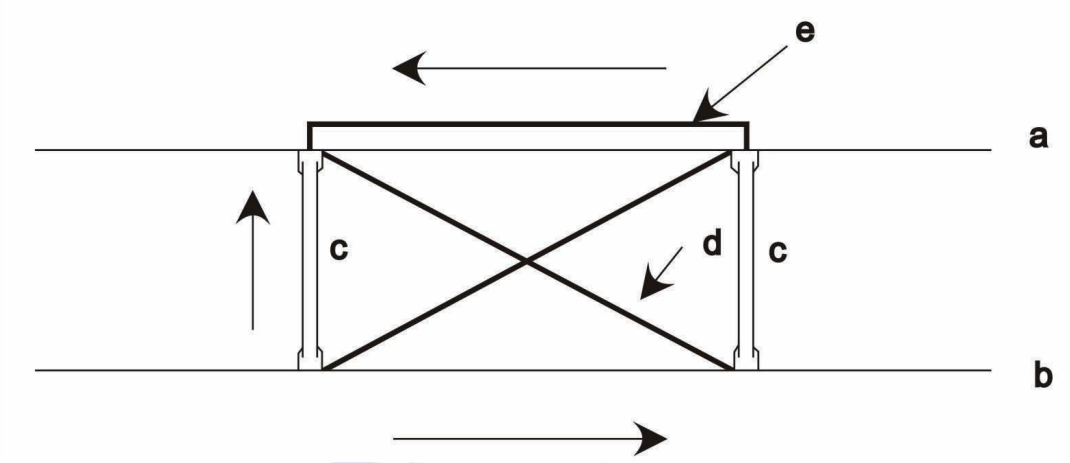


Figura 5 — Planta do modelo de deslocamento assimétrico alternativo

Em porta-paletes seletivos monofrontais, deve-se ter cuidado para certificar que o contraventamento vertical seja totalmente efetivo quando houver um balanço no palete em relação à longarina, como mostrado na Figura 6.

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados



Legenda: a Plano traseiro da estrutura b Plano frontal da estrutura
c Montante d Contraventamento horizontal
e Contraventamento de fundo

Figura 6 — Linha de forças dos contraventamentos em um porta-paletes monofrontal

6.3 Tempo de vida para cálculo

Com a finalidade de determinar o carregamento, estimam-se 10 anos para o tempo de vida ideal de funcionamento do cálculo.

NOTA 1 Este prazo não representa tempo de garantia.

NOTA 2 A maioria dos porta-paletes seletivos tem o tempo de vida determinado pelo uso e dano ocorrido durante a operação ou corrosão. Isto não pode ser determinado previamente no cálculo e não é relacionado a esta seção. Assume-se que o porta-paletes seletivo é corretamente utilizado e que qualquer dano tem que ser reparado imediatamente.

6.4 Estados-limites de serviço

Na ausência de solicitações específicas, as seguintes limitações nas flexões devem ser seguidas:

— flecha máxima na longarina: L/200;

— torção máxima na longarina: 6 °;

— deslocamento no topo da estrutura sem carga de trabalho, com ações devidas às imperfeições ou de cargas variáveis (por exemplo, vento) : H/200.

6.5 Imperfeições

A influência das imperfeições deve ser considerada levando-se em conta:

— imperfeições nos montantes;

— imperfeições no sistema de contraventamento;

— imperfeições nos elementos.

As imperfeições nos montantes e nos contraventamentos devem ser incluídas na análise global da estrutura. As forças resultantes e momentos devem ser utilizadas no projeto dos elementos.

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

Pode-se desconsiderar as imperfeições dos elementos quando a análise global for realizada.

6.5.1 Imperfeições nos montantes em porta-paletes seletivos não contraventados

Os efeitos das imperfeições nos montantes devem ser levados em consideração na análise global tanto pela imperfeição inicial do deslocamento como pelas forças horizontais equivalentes.

O efeito da rigidez da conexão longarina-coluna deve ser incluso no cálculo da imperfeição do montante.

A imperfeição ϕ deve ser determinada pela fórmula,

$$\phi = \sqrt{\left(\frac{1}{2} + \frac{1}{n_C}\right) \times \sqrt{\left(\frac{1}{5} + \frac{1}{n_S}\right) \times \left(2\phi_S + \phi_\ell\right)}}$$

onde:

$$\phi \leq \left(2\phi_S + \phi_\ell\right)$$

$$\phi \geq \left(\phi_S + 0{,}5\phi_\ell\right) \text{ e } \phi \geq 1/500$$

onde:

n_C é o número de montantes no conjunto na direção do corredor;

n_S é a quantidade de pares de longarinas por módulo;

ϕ_s é a distância entre a vertical e posição fora de prumo dividida pela altura;

ϕ_ℓ é o efeito do engastamento da conexão longarina-coluna;

NOTA Se o efeito do engastamento da conexão longarina-coluna for considerado na análise global, ϕ_ℓ pode ser considerado igual a zero na fórmula acima.

6.5.2 Imperfeições no sistema de contraventamento

Esta seção é aplicável também para os montantes com amarração.

Os efeitos de imperfeições nos contraventamentos necessários para aumentar a estabilidade lateral devem ser levados em conta incluindo uma imperfeição geométrica inicial.

6.5.2.1 Imperfeições nos contraventamentos verticais e suas conexões

As imperfeições descritas nesta subseção devem ser consideradas na análise global.

O deslocamento inicial deve ser determinado por:

$$\varphi = \sqrt{\left(\frac{1}{2} + \frac{1}{n_f}\right)} \times 2 \times \varphi_s$$

Onde:

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

$$\varphi \leq 2 \times \varphi_s \qquad \text{e} \qquad \varphi \geq \max\left(\varphi_s, \frac{1}{500}\right)$$

Na direção paralela ao corredor, n_f = número de montantes conectados numa seqüência de módulos.

Na direção perpendicular ao corredor, n_f = número de montantes conectados entre si (isto é, pela amarração superior, distanciadores ou pisos intermediários) e atuando juntos.

6.5.2.2 Imperfeições nos contraventamentos locais

Considerar as imperfeições nos contraventamentos locais que atuam para equilibrar um sistema de forças. Esses coeficientes são usados apenas no projeto dos elementos de contraventamento e suas conexões.

— Para montantes sem junções:

$$\phi_0 = \frac{1}{400}$$

— Para montantes com junções:

$$\phi_0 = \frac{1}{200}$$

$$\text{Se } l_i \geq l_{i-1}; \phi_{i-1} = \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \frac{2}{n_u}\right)} \times \phi_0 \text{ e} \leq \Phi_0$$

$$\phi_i = \phi_{i-1} \times \frac{l_{i-1}}{l_i}$$

$$\text{Se } l_i < l_{i-1}; \phi_i = \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \frac{2}{n_u}\right)} \times \phi_0 \text{ e} \leq \Phi_0$$

$$\phi_{i-1} = \phi_i \times \frac{l_i}{l_{i-1}}$$

Por conveniência, pode-se usar a imperfeição inicial geométrica como uma força horizontal $H_{sd,i}$

onde:

$$H_{sd,i} = N_{sd,i} \times \phi_{i-1} + N_{sd,i} \times \phi_i$$

Onde $H_{sd,i}$ é a soma de todos os montantes conectados.

Onde $N_{sd,i}$ é a carga axial de projeto no elemento.

Se $l_i = l_{i-1}; N_{sd,i} = N_{sd,i-1}; \phi_i = \phi_{i-1};$ então $H_{sd,i} = 2 \times N_{sd,i} \times \phi_i$

6.5.3 Imperfeições nos elementos

As imperfeições dos elementos devem ser incorporadas de acordo com os coeficientes de flambagem dados em 6.12.5.

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

6.6 Ações

Os porta-paletes seletivos devem ser dimensionados para as situações mais críticas, considerando peso próprio, cargas permanentes adicionais, cargas efetivas, cargas de impacto, cargas de manuseio e cargas horizontais.

Os valores de projeto das ações para o estado-limite último e estados-limites de serviço devem se combinar conforme ABNT NBR 14762:2001.

6.6.1 Ações permanentes

Devem incluir o peso próprio da estrutura, instalações fixas de serviço, tais como *sprinklers*, instalações de eletricidade, aquecimento, resfriamento ou ventilação.

6.6.2 Ações variáveis

Quando aplicáveis o projeto deve levar em conta as ações devidas às unidades de carga, carga de colocação vertical e horizontal e cargas de impactos ou acidentais.

6.6.2.1 Unidades de carga

O projetista deve definir, juntamente com o usuário, o peso máximo e as dimensões brutas da carga a ser armazenada. Qualquer solicitação especial devido à distribuição dos paletes deve ser identificada. Para uma análise global, deve ser assumido que tanto a distribuição de carga no módulo quanto a distribuição em toda a estrutura sejam uniformes, a menos que seja acordada entre as partes uma distribuição alternativa.

É permitida uma análise global da estrutura utilizando o valor médio das unidades de carga nos seguintes casos:

a) o sistema de gerenciamento do depósito pode identificar as unidades de carga maiores que a média e controlar a sua distribuição na estrutura;

b) nenhuma unidade de carga pode ser maior que 20 % do valor médio;

c) todas as longarinas devem ser projetadas para carga máxima;

d) no cálculo do montante o pior caso de distribuição deve ser considerado quando a unidade máxima de carga for aplicada no nível mais elevado do módulo.

NOTA No caso em que os paletes são mais rígidos que as longarinas que os suportam para checagem das vigas em relação à corrugação de alma ou corrugação de alma combinada com flexão, o carregamento total é considerado aplicado nos pontos de contato do palete com a longarina.

6.6.2.2 Carga vertical de colocação (C_{vc})

São considerados dois tipos de colocação da carga:

a) com equipamentos mecânicos: quando, no par de longarinas, for colocada apenas uma unidade de carga por nível e por módulo, considerar 25 % de carga adicional, na direção descendente;

b) manualmente: quando forem utilizados no sistema até cinco unidades de carga por nível, considerar 100 % de carga adicional, na direção descendente.

NOTA Nos outros casos, considerar a carga nominal.

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

6.6.2.3 Carga horizontal de colocação (C_{hc})

Estas cargas devem ser consideradas nas direções paralela e perpendicular ao montante (não simultaneamente) na posição mais desfavorável.

6.6.2.3.1 Efeitos de métodos de operação

a) Se as unidades de carga forem posicionadas com o uso de equipamentos de movimentação, considerar:

1) para estruturas com até 3 000 mm de altura, considerar C_{hc} = 0,5 kN aplicada no topo do montante;

2) para estruturas com mais de 6 000 mm de altura, considerar o pior caso entre:

C_{hc} = 0,25 kN aplicada no topo da estrutura; ou

C_{hc} = 0,50 kN aplicada a qualquer altura até o limite de 3 000 mm;

3) para estruturas com altura entre 3 000 mm e 6 000 mm, considerar o pior caso entre:

C_{hc} = carga definida por interpolação linear dos valores definidos nas em 6.6.2.3.1a-1) e 6.6.2.3.1a-2) aplicada no topo da estrutura; ou

C_{hc} = 0,50 kN aplicada a qualquer altura até o limite de 3 000 mm.

b) Se houver limitadores traseiros, considerar uma C_{hc} de 25 % da unidade de carga no plano do montante. Esta carga deve ser considerada em todos os elementos que tiverem conexão ou proximidade com o limitador, como as conexões do limitador no montante, a região do montante conectada ao limitador etc.

Devido aos efeitos de amortecimento e dissipação, a C_{hc} devida aos limitadores traseiros pode ser reduzida nos montantes fixados por chumbador e seus travamentos para 10 % da unidade de carga no plano do montante aplicada na posição mais desfavorável.

c) Se a carga for posicionada manualmente, considerar C_{hc} = 0,25 kN.

6.6.2.3.2 Aplicação da carga de colocação horizontal na direção paralela ao corredor

Na direção do corredor, a carga de colocação horizontal surge só nos níveis da longarina e provoca um aumento do deslocamento na direção do corredor, causado por imperfeições nos montantes.

Para facilitar a análise destes carregamentos, é permitido substituir a carga concentrada C_{hc} por uma carga total de $2*C_{hc}$ distribuída uniformemente em cima de todos os níveis de longarina.

6.6.2.3.3 Aplicação da carga de colocação horizontal na direção perpendicular ao corredor

Na direção perpendicular ao corredor, a posição mais desfavorável para a carga de colocação horizontal será a situação mais desfavorável entre as seguintes alternativas:

a) o topo do montante para maximizar as forças no sistema de travamento;

b) o ponto médio entre dois nós dos travamentos para maximizar o momento nesta direção. Neste caso, o ponto crítico geralmente é o trecho mais inferior do montante entre dois contraventamentos. Se o espaçamento dos contraventamentos não for uniforme, também devem ser investigados outros locais;

c) o ponto médio da longarina no plano horizontal para provocar o maior momento de flexão no eixo de menor inércia. Não é necessário incorporar este caso na análise global e uma carga de $0,5*C_{hc}$ deve ser considerada em uma única longarina no plano horizontal pelo eixo neutro.

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

6.6.3 Cargas de impacto

Cargas de impactos acidentais devem ser consideradas nas ações provocadas tanto pelas cargas efetivas como pelas cargas de colocação conforme 6.6.2.2. Devem ser analisados os casos onde a estrutura pode sofrer vibração incomum ou forças dinâmicas.

Danos de impactos causados pelos garfos de empilhadeiras ou outro equipamento de movimentação devem ser evitados ao máximo através do treinamento adequado do operador e medidas de segurança.

Protetores de conjunto e montante devem ser previstos levando em consideração os seguintes aspectos:

a) um protetor de conjunto não deve ter altura menor que 400 mm e deve ser posicionado na extremidade de cada conjunto;

b) o protetor de coluna deve ser projetado para uma absorção de energia de pelo menos 400 Nm em qualquer direção e a qualquer altura entre 100 mm e 300 mm;

c) o protetor deve ser posicionado de tal modo que, mesmo depois de sua deformação absorvendo um impacto, o montante não seja danificado.

NOTA 1 Podem ser protegidos outros montantes na direção perpendicular ao corredor, a critério do usuário.

NOTA 2 Como uma alternativa para o uso de protetores, a estrutura pode ser projetada para sobreviver à completa remoção de uma seção ao fundo de um único montante.

6.6.3.1 Ações verticais acidentais (C_{va})

Componentes da estrutura posicionados diretamente sobre as unidades de carga devem absorver uma força vertical acidental C_{va} de 5 kN. Em geral, esta força deve ser aplicada na extremidade da longarina, a fim de se certificar que o conector não solte. Cargas de colocação de baixo pra cima são ações variáveis acidentais e são consideradas com um fator de carga γ_A de acordo com 6.8.

6.6.3.2 Ações horizontais acidentais (C_{ha})

Uma sobrecarga acidental na direção horizontal deve ser levada em conta cumprindo os seguintes critérios:

— do piso até a altura de 400 mm do lado do corredor do montante;

— C_{ha} = 2,5 kN na direção perpendicular ao corredor e no sentido do corredor para a parte posterior da estrutura;

— C_{ha} = 1,25 kN na direção paralela ao corredor.

6.7 Combinações

As cargas e as imperfeições globais da estrutura constituem uma ação única. As cargas de colocação devem ser consideradas à parte.

Imperfeições globais e carga de colocação devem ser combinadas apenas em uma direção de cada vez. Não é necessário considerar a possibilidade de combinações de imperfeições ou cargas de colocação em direções perpendiculares.

6.7.1 Combinações de ações para estados-limites últimos

Os valores de ações de projeto devem ser combinados usando os seguintes critérios, escolhendo o que for maior:

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

— considerando apenas a ação variável mais desfavorável:

$$\sum \gamma_G \times G_k + \gamma_Q \times Q_{k,1}$$

— considerando todas as ações variáveis desfavoráveis que podem acontecer simultaneamente:

$$\sum \gamma_G \times G_k + 0{,}9 \times \sum_{i \geq 1} \gamma_Q \times Q_{k,i}$$

— considerando a carga acidental:

$$\sum \gamma_{GA} \times G_k + \sum_{i \geq 1} \gamma_{QA} \times Q_{k,i} + \gamma_A \times A_k$$

Onde:

G_k é o valor característico de ação permanente;

$Q_{k,1}$ é o valor característico de uma das ações variáveis;

$Q_{k,i}$ é o valor característico de uma ação variável típica;

A_k é o valor característico de ação acidental;

γ_G é o coeficiente de segurança parcial para ações permanentes;

γ_Q é o coeficiente de segurança parcial para ações variáveis;

γ_A é o coeficiente de segurança parcial para ações acidentais.

6.7.2 Combinações de ações para estados-limites de serviço

Os valores de ações de projeto devem ser combinados usando os seguintes critérios, escolhendo o que for maior:

— considerando apenas a ação variável mais desfavorável:

$$\sum \gamma_G \times G_k + \gamma_Q \times Q_{k,1}$$

— considerando todas as ações variáveis desfavoráveis que podem acontecer simultaneamente:

$$\sum \gamma_G \times G_k + 0{,}9 \times \sum_{i \geq 1} \gamma_Q \times Q_{k,i}$$

— as cargas de colocação não necessitam ser consideradas nos estados-limites de serviço.

6.8 Fator de carga

Os fatores de carga γ_f são dados na Tabela 3.

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

Tabela 3 — Fatores de carga

Fator de carga (γ_f)	Estados-limites últimos	Estados-limites de serviço
Ações permanentes γ_Q		
— com efeito desfavorável	1,3	1,0
— com efeito favorável	1,0	1,0
Ações variáveis γ_Q		
— carga efetiva	1,5	1,0
— unidades de carga	1,4	1,0
Ações acidentais		
γ_A	1,0	
γ_{GA}	1,0	
γ_{QA}	1,0	

6.9 Fator de material

O fator de material γ_M para os métodos dos estados-limites últimos e estados-limites de serviço é dado na Tabela 4.

Tabela 4 — Fator de material

Fator de material (γ_M)	Estados-limites últimos	Estados-limites de serviço
Resistência da seção transversal	1,0	1,0
Resistência das conexões	1,25	1,0
Resistência de conexões sujeitas a testes e controle de qualidade	1,1	1,0

6.10 Contraventamento das estruturas na estrutura do prédio

Se as estruturas forem amarradas à estrutura do prédio, ambas interagirão, impondo forças umas às outras. Essas forças e sua localização devem ser relatadas ao calculista do prédio, bem como o calculista da estrutura deve levar em conta os esforços que o prédio pode transmitir à estrutura.

6.11 Excentricidades na análise global

A excentricidade entre linhas de força do sistema deve ser a menor possível. Se as excentricidades excederem os limites especificados abaixo, eles devem ser levados em conta na análise global e os momentos secundários resultantes devem ser incluídos no projeto do elemento.

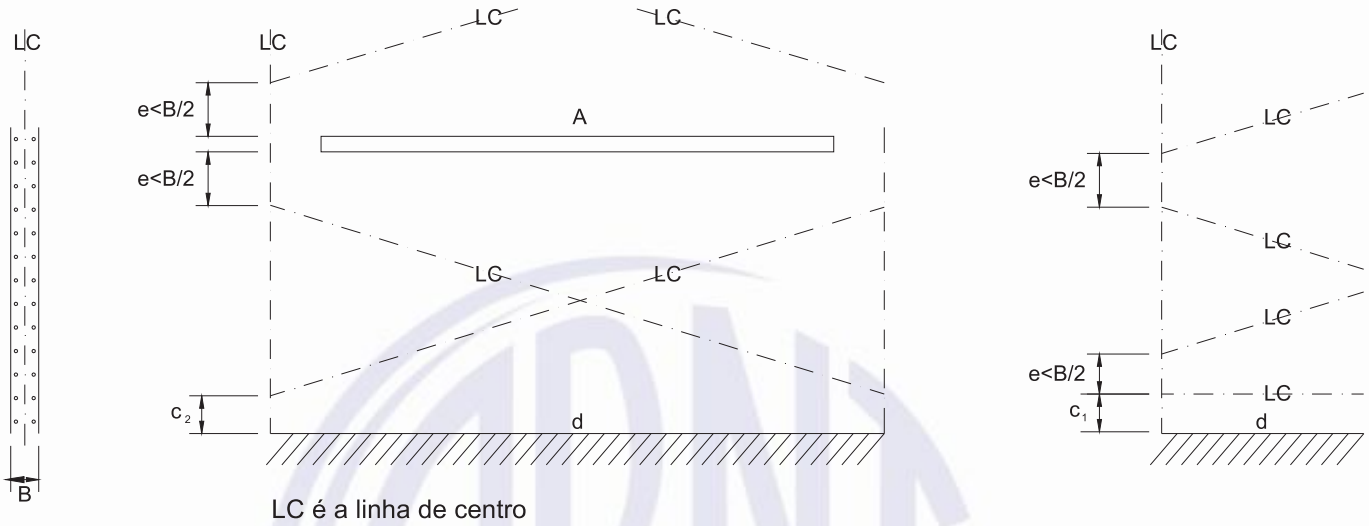
Os efeitos das excentricidades podem ser desconsiderados nas seguintes situações:

a) o ponto de interseção das linhas de centro das travessas e das diagonais fica dentro da dimensão vertical (e) que é igual à metade da largura do montante (ver Figura 7);

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

b) a excentricidade c_1 não é maior que 2,0 vezes a largura da coluna do montante e c_2 é maior que 1,5 vez a largura do montante (ver Figura 7).



Legenda

A	longarina
B	largura da coluna
c_1	distância do piso até a linha de centro do mais baixo contraventamento dos montantes na direção do corredor
c_2	distância do piso até a linha de centro do mais baixo contraventamento no plano do montante
d	piso
e	excentricidade

Figura 7 — Excentricidade no contraventamento

A excentricidade entre a longarina e a coluna do montante também deve ser considerada (ver Figura 8).

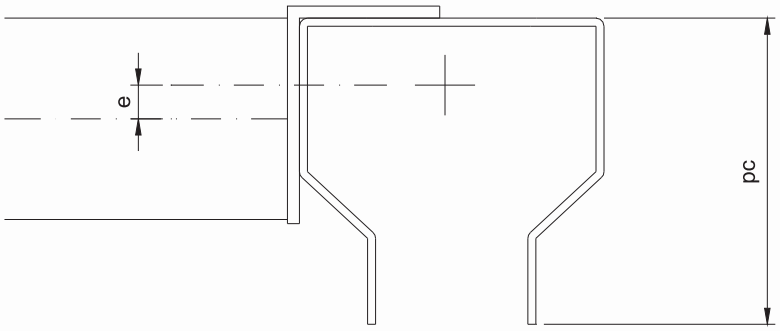


Figura 8 — Excentricidade na direção perpendicular ao corredor

No porta-paletes seletivo, pode-se desconsiderar este efeito se a excentricidade (e) for menor que 0,25 x p_c.

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

6.12 Cálculo das longarinas

O cálculo das longarinas, ou qualquer outro elemento submetido à flexão, deve levar em conta os efeitos provocados pela flambagem local, flambagem lateral, comportamentos inelásticos, torção, flambagem local da mesa, corrugação da alma e *shear lag*. As cargas podem ser consideradas uniformemente distribuídas, a menos que condições específicas determinem o contrário.

6.12.1 Comprimento de cálculo das longarinas

Na análise global da estrutura, as linhas de força das colunas devem coincidir com os seus centróides. O tratamento para as longarinas deve refletir a excentricidade dos conectores em relação a essas linhas. Assim, na análise global deve-se considerar o comprimento da longarina como sendo o da distância das linhas de centro de dois montantes adjacentes. Na análise específica da longarina, o comprimento a ser considerado é a distância entre as faces de dois montantes adjacentes.

6.12.2 Imprecisão no posicionamento

Inexatidões no posicionamento de cargas devem ser consideradas em casos onde o projeto permite o desalinhamento na direção perpendicular ao corredor ou no caso do projetista ter pouco conhecimento do equipamento de movimentação (ver Figura 9).

Se o efeito (tensão, deformação etc.) destas imperfeições for menor que 12 % do efeito do carregamento normal, esta sobrecarga pode ser ignorada.

Se o projeto e a operação do sistema determinarem o alinhamento excêntrico sistemático, então isto será levado em conta na análise global. A colocação de paletes em um sistema de apoio de longarina convencional não deve permitir que o bloco de apoio do palete seja colocado além da extremidade dianteira da longarina (ver Figura 9).

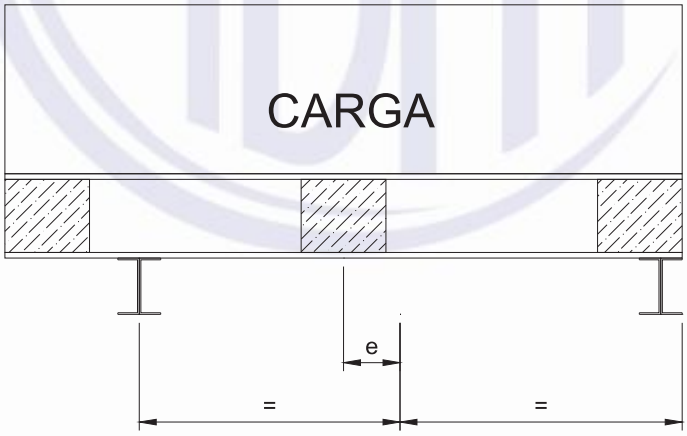


Figura 9 — Excentricidade na colocação da carga

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

Onde a imperfeição de colocação não é sistemática e a colocação aleatória pode ser prevista deve-se considerar o seguinte:

$P' = \eta \times P$, sendo o valor de η determinado desta maneira:

$$\rho = \frac{P_e}{P}$$

Se $\rho \leq 1{,}12$ então $\eta = 1$

Se $1{,}12 \leq \rho \leq 2{,}24$ então $\eta = 2.\rho - 1{,}24$

Se $\rho > 1{,}12$ então $\eta = \rho$

onde:

P é a carga na longarina onde o palete é colocado na posição planejada;

P_e é a carga na longarina quando a paleta é colocada com desalinhamento máximo, como mostrado na Figura 9.

6.12.3 Cálculo do momento de flexão

Pode-se utilizar, como método simplificado e conservativo, para o cálculo do momento máximo de flexão no centro de uma longarina simetricamente carregada, a seguinte equação:

$$M_p = \frac{P \times L}{8} \times \beta_m \times \left[1 - \frac{\frac{2}{3} \times \beta_\theta}{\beta_m \times \left(1 + \frac{2 \times E \times J_v}{k_e \times L} \right)} \right]$$

onde:

$$k_e = \frac{k_b}{\left(1 + \frac{k_b \times h}{3 \times E \times J_c} \right)}$$

onde:

P é a carga na longarina, ou seja, a metade da carga total no plano;

L é o comprimento da longarina conforme definido em 6.12.1;

E é o módulo de elasticidade;

h é a altura do vão entre longarinas;

k_b é a rigidez da conexão longarina-coluna;

J_v é o momento de inércia da longarina;

J_c é o momento de inércia da coluna;

β_θ e β_m são fatores determinadas em 6.16.

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

6.12.4 Cálculo da cortante

Em estruturas contraventadas, as forças cortantes na longarina e no conector devem ser obtidas tanto para uma análise de primeira quanto de segunda ordem. Em estruturas deslocáveis, a cortante deve ser calculada diretamente de uma análise de segunda ordem. Em uma estrutura-padrão, numa análise de primeira ordem, a força cortante pode ser calculada conservativamente pelas fórmulas:

— Bases articuladas

$$V = \frac{P}{2} + \frac{2 \times \phi \times P \times h \times (3 \times n_V - 1)}{4 \times L} \times \beta$$

— Bases semi-rígidas

$$V = \frac{P}{2} + \frac{2 \times \phi \times P \times h \times (2 \times n_V - 1)}{4 \times L} \times \beta$$

onde:

P é a carga na longarina, ou seja, a metade da carga total no plano;

L é o comprimento da longarina conforme definido em 6.12.1;

h é a altura do vão entre longarinas;

ϕ é a imperfeição devida ao deslocamento;

n_v é o número de níveis de longarinas;

β é o fator de multiplicação definido por:

$$\beta = \frac{V_{cr}}{V_{cr} - V_m}$$

V_{cr} é o valor da carga crítica elástico para falha em modo deslocável;

V_m é o valor da carga no montante.

6.12.5 Cálculo da flecha

Nos estados-limites de serviço, a flecha máxima de qualquer longarina deve ser obtida numa análise de primeira e segunda ordem que devem levar em conta o padrão do carregamento.

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

Para estruturas em condições normais de carga e projeto, a flecha máxima pode ser calculada pela fórmula:

$$\Delta_{max} = \frac{5 \times P \times L^3}{384 \times E \times J_v} \times \beta_\Delta \times \left[1 - \frac{0{,}8 \times \beta_\theta}{\beta_\Delta \times \left(1 + \frac{2 \times E \times J_v}{k_e \times L} \right)} \right]$$

onde:

$$k_e = \frac{k_b}{\left(1 + \frac{k_b \times h}{3 \times E \times J_c} \right)}$$

P é a carga na longarina, ou seja, a metade da carga total no plano;

L é o comprimento da longarina conforme definido em 6.12.1;

E é o módulo de elasticidade;

h é a altura do vão entre longarinas;

k_b é a rigidez da conexão longarina-coluna;

J_v é o momento de inércia da longarina;

J_c é o momento de inércia da coluna;

β_θ e β_Δ são fatores determinadas em 6.16.

6.12.6 Cálculo de flexo-torção

A resistência das longarinas sujeitas a flexo-torção pode ser determinada tanto por ensaios (ver 10.3.3) quanto pela seguinte fórmula:

$$M_b = \chi_{tl} \times \frac{F_y \times W_{y,ef}}{\gamma_m}$$

onde:

$$\chi_{tl} = \frac{1}{\phi_{tl} + \sqrt{\phi_{tl}^2 - \bar{\lambda}_{tl}^2}} \qquad \text{onde} \qquad \chi_{tl} \leq 1$$

$$\phi_{tl} = 0{,}5 \left[1 + \alpha_{tl} \left(\bar{\lambda} - 0{,}2 \right) + \bar{\lambda}_{tl}^2 \right]$$

$$\bar{\lambda}_{tl} = \sqrt{\frac{F_y \times W_{y,ef}}{M_{cr}}}$$

F_y é o limite de escoamento do aço;

$W_{y,ef}$ é o módulo de resistência do perfil no eixo y-y;

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

α_{tl} = 0,34;

M_{cr} é o momento crítico teórico para torção lateral.

6.12.7 Cálculo de conectores

Os conectores devem satisfazer as seguintes condições nos estados-limites últimos:

— o momento no conector não deve exceder sua resistência à flexão;

— a cortante no conector não deve exceder sua resistência.

Em estruturas contraventadas, o momento de flexão do conector deve ser obtido tanto por uma análise de primeira quanto de segunda ordem. Em estruturas deslocáveis, este momento deve ser calculado diretamente de uma análise de segunda ordem. Em uma estrutura-padrão, numa análise de primeira ordem, e assumindo que os pontos de inflexão ocorrem no meio das longarinas e dos montantes, o momento nos conectores pode ser calculado conservativamente pelas fórmulas:

$$M_{co} = \frac{P \times L}{12} \times \frac{\beta_\theta}{\left(1 + \frac{2 \times E \times J_v}{k_b \times L}\right)} + \frac{\phi \times P \times h \times (3 \times n_v - 1)}{4} \times \beta$$

— Bases semi-rígidas:

$$M_{co} = \frac{P \times L}{12} \times \frac{\beta_\theta}{\left(1 + \frac{2 \times E \times J_v}{k_b \times L}\right)} + \frac{\phi \times P \times h \times (2 \times n_v - 1)}{4} \times \beta$$

onde:

P é a carga na longarina, ou seja, a metade da carga total no plano;

L é a comprimento da longarina conforme definido em 6.12.1;

h é a altura do vão entre longarinas;

Φ é a imperfeição devida ao deslocamento;

n_v é a número de níveis de longarinas;

β_θ é o fator determinado em 6.16;

β é o fator de multiplicação definido por: $\beta = \frac{V_{cr}}{V_{cr} - V_m}$;

V_{cr} é o valor da carga crítica elástica para falha em modo deslocável;

V_m é o valor da carga no montante.

6.13 Membros comprimidos

Os conectores devem satisfazer as condições de 6.12.1 a 6.12.7 nos estados-limites últimos.

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

6.13.1 Membros comprimidos não perfurados

Os elementos comprimidos não perfurados devem ser calculados segundo a ABNT NBR 14762:2001.

6.13.2 Membros comprimidos perfurados

Os elementos comprimidos perfurados devem ser definidos levando em conta a presença de furos ou rasgos regulares seguindo um dos três métodos:

a) definição através de ensaios de acordo com a Seção 10;

b) uma completa análise teórica através de elementos finitos junto com a análise da flambagem local, global, distorcional e imperfeições;

c) os seguintes procedimentos, que são baseados no uso da determinação experimental da área efetiva (A_{ef}), modificada, se necessário, para a análise da flambagem distorcional:

— um ensaio de flambagem distorcional de acordo com a Seção 10, com uma coluna de aproximadamente 1 m para se determinar o valor da tensão nominal N_{db};

— a tensão nominal N_b também no mesmo comprimento, sem considerar a flambagem distorcional, deve ser calculada usando a área efetiva e os valores nominais de limite de escoamento e espessura, levando em conta a flambagem por flexo-torção. O comprimento de flambagem à flexão deve ser igual à distância entre centros de contraventamento dos elementos e o comprimento de flambagem à flexo-torção deve ser a metade do comprimento da coluna na amostra;

— a relação $\varepsilon = N_{db} / N_b$ deve ser determinada. Se $\varepsilon \geq 1$ nenhum ajuste na área deve ser feito.

— se $\varepsilon < 1$, o valor de A_{ef} deve ser reduzido para um novo valor no qual o valor calculado de N_b é igual ao valor obtido no ensaio de flambagem distorcional e $\varepsilon = 1$. O valor encontrado de A_{ef} deve ser usado nos cálculos a seguir.

6.13.3 Membros comprimidos sem flambagem global

Sob compressão uniforme, a seguinte condição deve ser satisfeita:

$$N_s \leq N_c$$

onde:

N_s é a força de compressão de projeto

$$N_c = \frac{F_y \times A_{ef}}{\gamma_m}$$

A_{ef} é a área efetiva da seção transversal em compressão;

γ_m é de acordo com 6.9.

6.13.4 Membros comprimidos com flambagem por flexão

A flambagem deve ser por:

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

$$N_b = \frac{\chi \times A_{ef} \times F_y}{\gamma_m}$$

onde:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \qquad \text{e} \qquad \chi \leq 1$$

$$\phi = 0{,}5\left[1 + \alpha\left(\bar{\lambda} - 0{,}2\right) + \bar{\lambda}^2\right]$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{ef} \times F_y}{N_{cr}}} = \frac{\lambda}{\lambda_l}\sqrt{\beta_l}$$

$$\beta_l = \frac{A_{ef}}{A_g}$$

A_{ef} é a área efetiva da seção transversal;

A_g é a área área bruta da seção;

N_{cr} é a força crítica de flambagem;

F_y é o limite de escoamento;

λ é o índice de esbeltez definido por l/r:

$$\lambda_l = \pi\sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

l é o comprimento de flambagem;

r é o raio de giração;

α é o fator de imperfeição definido em 6.17.

6.13.5 Curva de flambagem

Três curvas de flambagem estão disponíveis, dependendo do tipo de seção e do plano de flambagem. Cada curva de flambagem está associada com um valor de imperfeição (α) dado nas Tabela 7 e Tabela 8 da ABNT NBR 14762:2001.

6.13.6 Ângulo máximo de inclinações para diagonais

O ângulo máximo de inclinação para elementos (diagonais) não pode ser inferior a 25 ° e não exceder 65 ° em relação a horizontal ou as travessas (25 ° < α < 65 °).

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

6.13.7 Comprimento de flambagem

O comprimento de flambagem (l) para um determinado elemento de um sistema é determinado como o comprimento de uma coluna com o mesmo corte transversal e com ambas as extremidades articuladas, com a mesma carga crítica de Euler que o sistema analisado.

Se as forças axiais e o momento de flexão no plano de flambagem forem determinados numa análise de segunda ordem, eles já são aumentados através de efeitos de segunda ordem e então não é necessário determinar o comprimento de flambagem.

NOTA Um procedimento satisfatório é determinar a carga crítica elástica indeslocável da estrutura e então, para cada vão calcular o comprimento efetivo por uso com a curva de coluna apropriada.

Se o comprimento de flambagem não for determinado por análise global, ele pode ser determinado pela equação abaixo:

$$l = k \times L$$

onde:

L é o comprimento de sistema (comprimento entre pontos de contraventamento em relação modo de flambagem)

k é o coeficiente de flambagem e definido em 6.13.7.1

6.13.7.1 No plano perpendicular ao montante

Os comprimentos efetivos de flambagem na direção perpendicular ao montante (em relação ao eixo x) são dados conforme Figura 10.

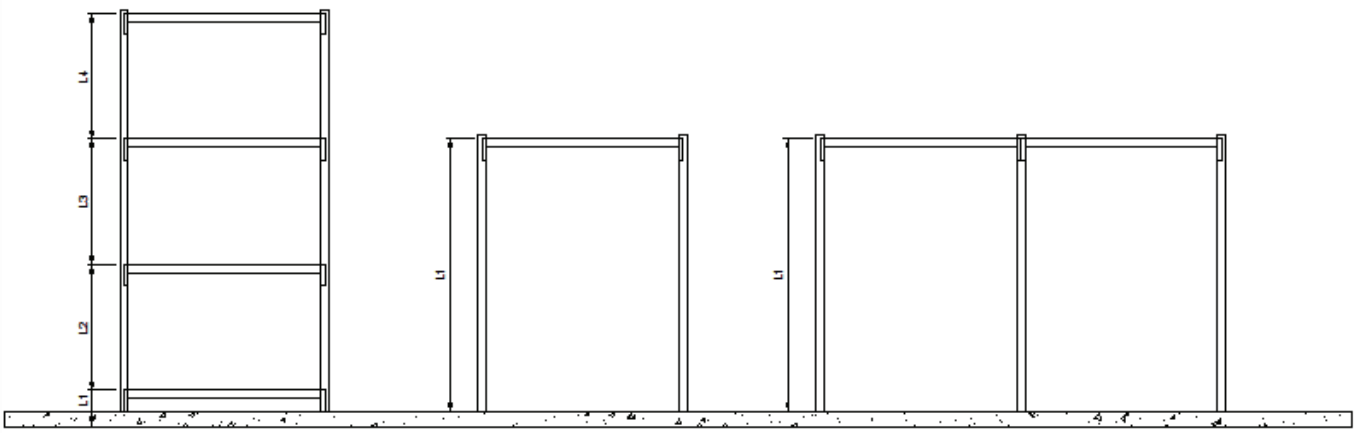


Figura 10 — Comprimentos de flambagem no eixo x

Para L_1 tem-se:

$$L_{xe1} = L_{x1} \times K_{x1}$$

onde:

L_{xe1} é o comprimento efetivo do vão compreendido entre o piso e o primeiro travamento em relação ao eixo x;

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

L_{x1} é o comprimento destravado do piso até o primeiro travamento em relação ao eixo x;

K_{x1} é o fator de correção do comprimento destravado do piso até o primeiro travamento em relação ao eixo x conforme Tabela 5.

Tabela 5 — Valor condicional de em função da fixação ao solo

Sem chumbador	Com um chumbador	Com dois chumbadores
$K_{x1} = 2$	$K_{x1} = 1,5$	$K_{x1} = 1,25$
NOTA Para se determinar o comprimento efetivo de flambagem para montantes de longarina única, o valor de K_{x1} deve ser igual a dois e as colunas devem ser fixadas por no mínimo dois chumbadores.		

Para L_2, L_3, L_4 tem-se:

$$L_2 = L_3 = L_4 = l$$

$$l_{xe} = l_x \times K_{xl}$$

onde:

l_{xe} é o comprimento efetivo do vão de flambagem entre travamentos em relação ao eixo x;

l_x é o comprimento destravado entre travamentos em relação ao eixo x;

K_{xl} é o fator de correção do comprimento destravado entre travamentos

6.13.7.2 No plano paralelo ao montante

Os comprimentos efetivos de flambagem na direção paralela ao montante (em relação ao eixo y) são dados conforme abaixo (ver Figura 11).

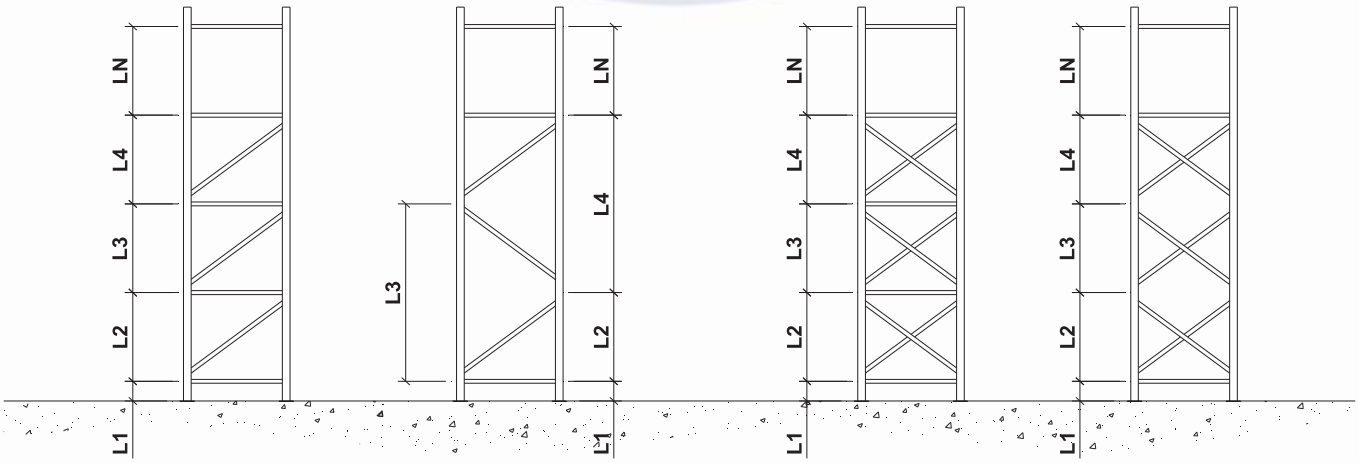


Figura 11 — Comprimentos de flambagem no eixo y

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

Vãos de flambagem torcional (eixo x adotado como sendo de simetria).

Para L_1 tem-se:

$$L_{ye1} = L_{y1} \times K_{y1}$$

onde:

L_{ye1} é o comprimento efetivo em relação ao eixo y;

L_{y1} é o comprimento destravado do piso até o primeiro travamento em relação ao eixo y;

K_{y1} é o fator de correção do comprimento destravado do piso até o primeiro travamento em relação ao eixo y, conforme Tabela 6.

Tabela 6 — Valor condicional de K_{y1} em função da fixação ao piso

Sem chumbador	Com um chumbador	Com dois chumbadores
$K_{y1} = 2$	$K_{y1} = 1,5$	$K_{y1} = 1,25$

$$L_{te1} = L_{t1} \times K_{t1} \times U$$

onde:

L_{te1} é o comprimento efetivo sujeito a flambagem torcional;

L_{t1} é o comprimento destravado sujeito a flambagem torcional;

K_{t1} é o fator de correção do comprimento destravado sujeito a flambagem torcional;

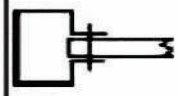
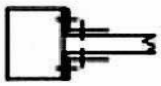
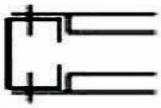
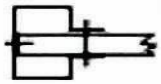
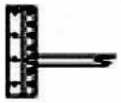
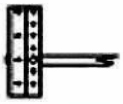
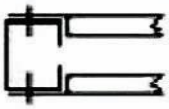
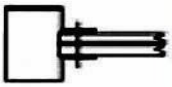
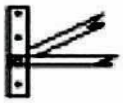
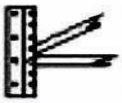
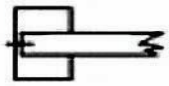
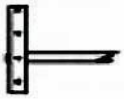
U é o fator de correção condicional, em função do tipo de fixação dos travamentos (travessas e diagonais) nas colunas dos montantes (ver Tabela 7).

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

Tabela 7 — Valores de U conforme a fixação dos travamentos

(Aplicável para colunas com perfis de seção aberta)

U = 1	PLANTA					
	ELEVAÇÃO					
U = 1,2	PLANTA					
	ELEVAÇÃO					
U = 1,5	PLANTA					
	ELEVAÇÃO					

Para L_2, L_3, L_4 tem-se:

$$L_2 = L_3 = L_4 = l$$

$$l_{ye} = l_y \times K_{yl} \times U$$

onde:

l_{ye} é o comprimento efetivo do vão de flambagem entre travamentos em relação ao eixo y;

l_y é o comprimento destravado entre travamentos em relação ao eixo y;

K_{yl} é o fator de correção do comprimento destravado entre travamentos ➔ $K_{yl} = 1$

U é o fator de correção condicional, em função do tipo de fixação dos travamentos (travessas e diagonais) nas colunas dos montantes.

$$l_{te} = l_t \times K_{yl} \times U$$

onde:

l_{te} é o comprimento efetivo entre travamentos, sujeito a flambagem torcional;

l_t é o comprimento destravado entre travamentos, sujeito a flambagem torcional;

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

K_{yl} é o fator de correção do comprimento destravado entre travamentos ➔ $K_{yl} = 1$;

U é o fator de correção condicional, em função do tipo de fixação dos travamentos (travessas e diagonais) nas colunas dos montantes.

6.13.8 Flambagem por torção e flexo-torção

Flambagem por torção normalmente só é crítica para seções abertas e ponto-simétricas. Seções monossimétricas e seções não-simétricas geralmente estão sujeitas a flexo-torção.

Além de verificar a flambagem por flexo-torção, é necessário também conferir para flambagem por flexão sobre o eixo principal mais fraco.

A resistência à flambagem N_b, que corresponde à flambagem por torção ou por flexo-torção, é determinada usando as expressões de 6.13.4, sendo que N_{cr} deve ser escolhida entre o menor valor entre N_{crt} e N_{crft}.

No cálculo, a curva de coluna b (α = 0,34) pode ser usada onde:

$$N_{crt} = \frac{1}{r_0^2}\left(G \times J + \frac{\pi^2 \times E \times Cw}{L_{et}^2}\right)$$

$$N_{crft} = \frac{N_{cry}}{2.\beta}\left[1 + \frac{N_{crt}}{N_{cry}} - \sqrt{\left(1 - \frac{N_{crt}}{N_{cry}}\right)^2 + 4\left(\frac{y_0}{r_0}\right)^2 \frac{N_{crt}}{N_{cry}}}\right]$$

Com $\beta = 1 - \left(\frac{y_0}{r_0}\right)^2$ e

$$r_o = \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + y_0^2}$$

onde:

N_{crft} é a força crítica por flexo-torção;

$N_{cr,y}$ é a carga crítica elástica do montante baseado nos comprimentos de flambagem, de acordo com 6.13.7;

E é o módulo de elasticidade;

G é o módulo transversal de elasticidade;

y_0 é a distância ao longo do eixo y do centro de cisalhamento até o centro de gravidade da seção transversal bruta do perfil (ver Figura 12);

r_x, r_y é o raio de giração da seção transversal bruta em torno dos eixos principais de inércia;

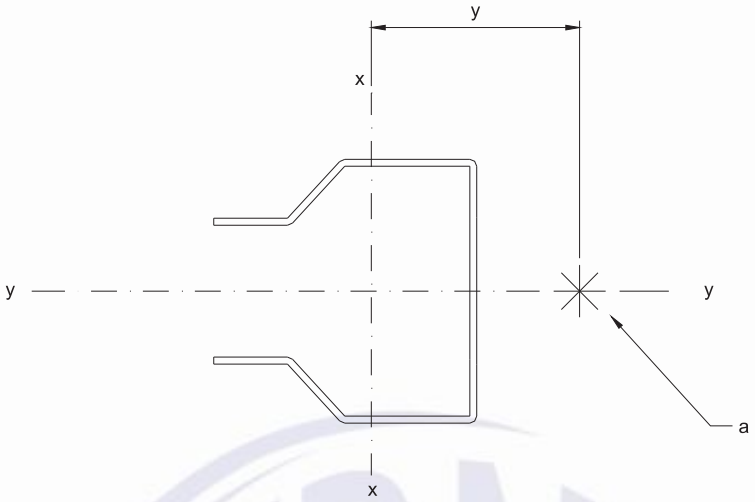
J é a constante de St Venant da seção transversal bruta do perfil;

C_w é a constante de empenamento da seção transversal bruta do perfil;

L_{et} é o comprimento efetivo do membro em relação à torção.

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados



Legenda

a centro de cisalhamento

Figura 12 — Localização do centro de cisalhamento

A menos que sejam feitas análises por métodos mais rigorosos, os seguintes comprimentos críticos de flambagem torsional devem ser usados:

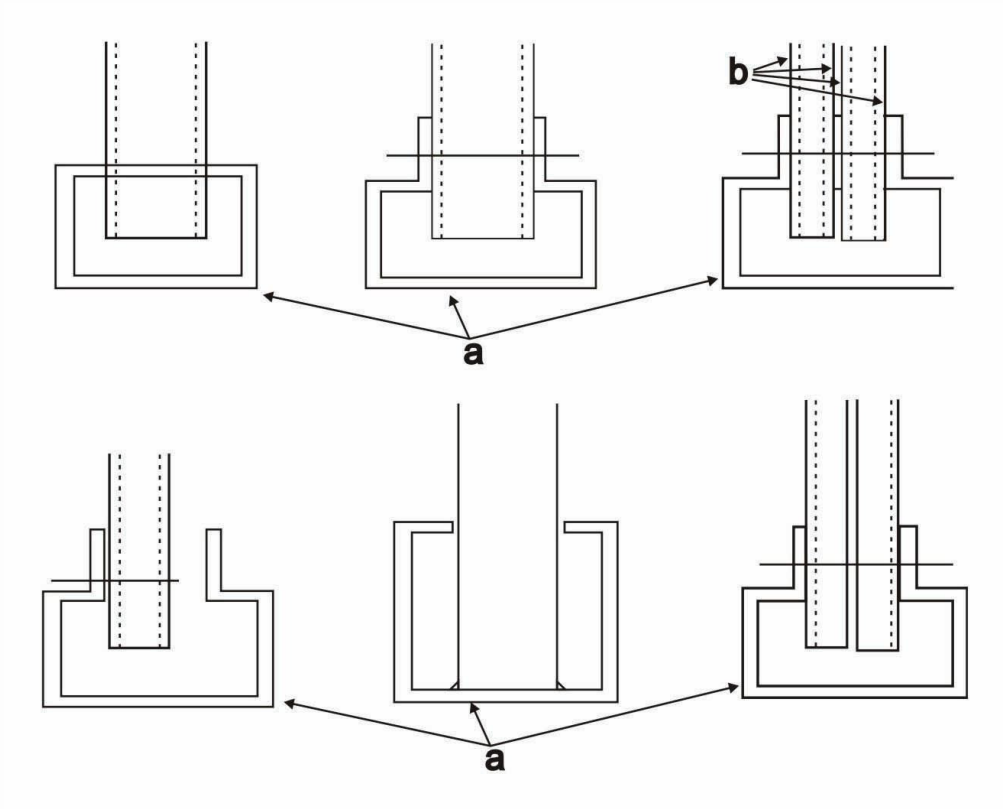
— L_{et} = 1,0 x a distância entre pontos de contraventamento quando as conexões determinarem total restrição à torção;

— L_{et} = 0,5 x a distância entre pontos de contraventamento quando as conexões determinarem restrição à torção e ao empenamento.

Os exemplos da Figura 13 oferecem alguma orientação a este respeito.

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados



Legenda

a colunas a serem consideradas

b mesas de seções abertas com parafusos passantes

Figura 13 — Exemplos de conexões dos travamentos

— para as conexões semelhantes às acima, que determinarem uma grande rigidez torsional e de empenamento, pode-se utilizar L_{et} = 0,7 x a distância entre os pontos de contraventamento;

— para as conexões semelhantes às acima, que determinarem uma parcial rigidez torsional e de empenamento, deve-se utilizar L_{et} = 1,0 x a distância entre os pontos de contraventamento.

6.14 Junções

As junções podem ser definidas tanto pelos métodos de ensaio, conforme 10.2.4, como por cálculo e devem seguir as seguintes orientações:

a) devem ser projetadas de tal maneira que as cargas, as forças axiais e os momentos de flexão sejam transmitidos totalmente para as partes efetivas da seção transversal;

b) deve poder ser demonstrado que a rigidez e o momento de resistência de dois montantes conectados pela junção são maiores ou iguais ao montante feito em peça única com o mesmo comprimento, para que seja possível ignorar sua presença na análise global;

c) quando o projeto construtivo das extremidades de um membro for de tal maneira que não seja possível saber o ponto de aplicação da carga, uma excentricidade Mec deve ser assumida no cálculo;

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

d) ter no mínimo a resistência do menos resistente dos elementos a serem conectados, ou serem calculados para uma força de compressão axial N_{ca} e um momento M_j seguindo a seguinte desigualdade:

$$\frac{N_{ca}}{\left(\frac{A_{sl} \times F_y}{\gamma_m}\right)} + \frac{(M_{ec} + M_j)}{\left(\frac{M_{rj}}{\gamma_m}\right)} \leq 1$$

onde:

$$M_j = M_y + N_{ca}\left(\frac{1}{\chi} - 1\right) \times \frac{W_{ef}}{A_{ef}} \times sen\frac{\pi \times \chi}{l}$$

χ é definido em 6.13.4;

A_{ef} é área efetiva da seção transversal do membro mais fraco da conexão;

W_{ef} é o módulo de resistência da seção transversal na flexão do membro mais fraco;

χ é a distância do ponto de inflexão na flambagem e a junção;

l é o comprimento efetivo;

A_{sl} é a área líquida da seção transversal da junção;

M_{rj} é o momento resistente da junção;

M_{ec} é o momento devido à excentricidade.

6.15 Sapatas

Todos os montantes devem ser fixados ao piso por uma sapata.

O cálculo de uma sapata sofrendo esforços axiais deve assumir que a tensão admissível na área efetiva da sapata é uniformemente distribuída conforme Figura 14. Esta área é definida por uma distância efetiva, conforme indicado na Figura14 e definido por:

$$d_{ef} = e\sqrt{\frac{F_y}{2 \times F_c}}$$

onde:

e é a espessura da sapata;

F_y é a tensão do aço da sapata;

F_c é a tensão do material do piso para pressão de contato.

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

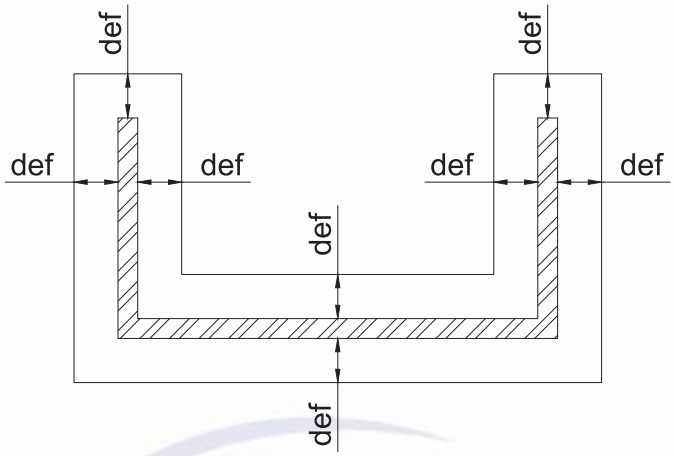


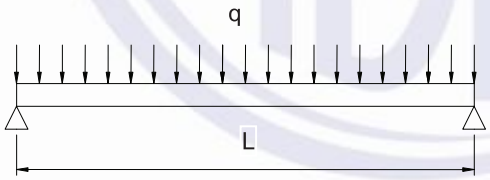
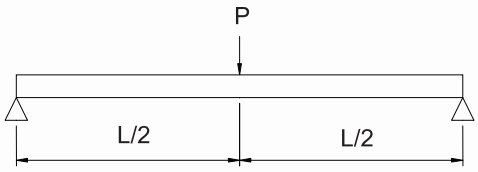
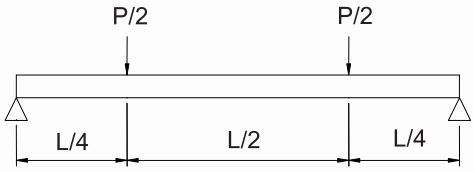
Figura 14 — Área efetiva da sapata

Quando a distância da face da coluna do montante até a borda da sapata for menor que d_{ef}, um valor reduzido de d_{ef} igual à distância da coluna até a borda da sapata deve ser usado.

6.16 Fator de equivalência de cargas nas longarinas

Para situações onde considerar as cargas uniformemente distribuídas não representa exatamente o modelo real, os coeficientes dados na Tabela 8 podem ser utilizados para calcular a carga distribuída equivalente.

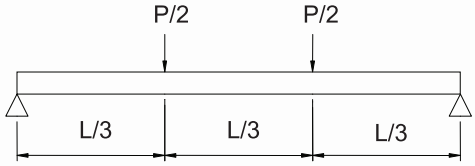
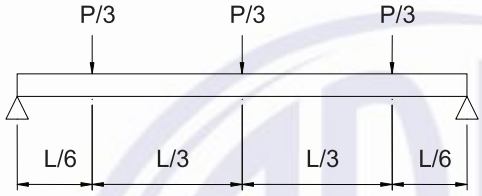
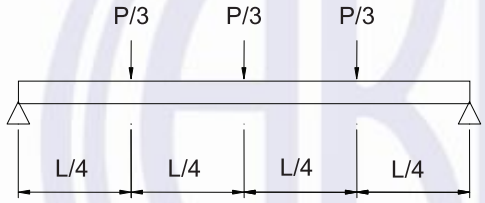
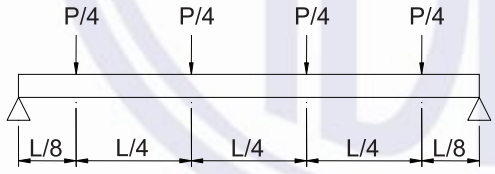
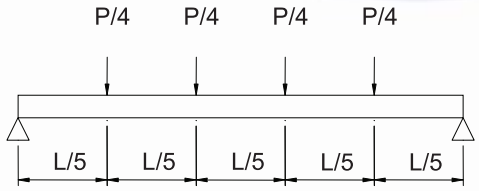
Tabela 8 — Coeficientes de carga em função do tipo de carregamento

Tipo de carregamento	β_m	β_θ	β_Δ
	1,00	1,00	1,00
	2,00	1,50	1,60
	1,00	1,12	1,10

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

Tabela 8 (continuação)

Tipo de carregamento	β_m	β_θ	β_Δ
	1,33	1,33	1,36
	1,11	1,06	1,05
	1,33	1,25	1,27
	1,00	1,03	1,02
	1,20	1,20	1,21

Onde:

P é a carga concentrada total na longarina.

L é o comprimento da longarina medido entre as faces dos montantes.

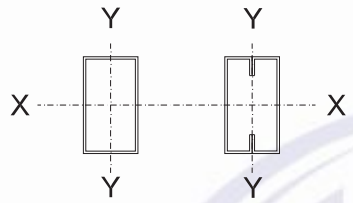
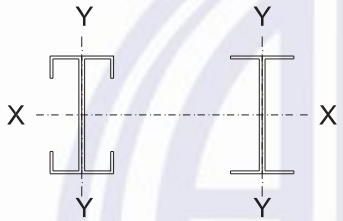
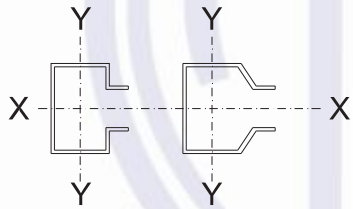
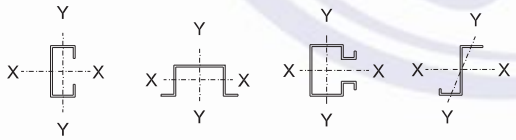
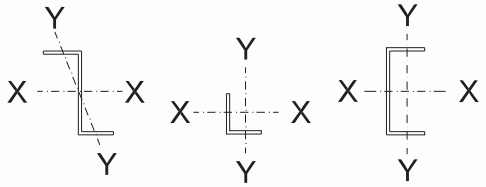
Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

6.17 Fator de imperfeição para diferentes perfis

A Tabela 9 mostra os fatores de imperfeição para diferentes perfis.

Tabela 9 — Fatores de imperfeição

Tipo da seção transversal		Eixo de flambagem	
		x – x	y – y
	Se f_{yb} for usado	α = 0,34	α = 0,34
	Se f_{ya} for usado	α = 0,49	α = 0,49
		α = 0,21	α = 0,34
		α = 0,34	α = 0,34
		α = 0,34	α = 0,34
		α = 0,49	α = 0,49
NOTA Para outros tipos de perfil, o coeficiente α pode ser escolhido por semelhança.			

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

6.18 Distanciadores

Em porta-paletes seletivos bifrontais, no mínimo dois distanciadores devem ser colocados entre cada par de montantes. Devem ser posicionados o mais próximo possível das emendas e do topo, e o mais eqüidistantes possível. Cada distanciador deve ter capacidade para resistir à carga mínima horizontal.

7 Montagem

7.1 Tolerâncias

O descrito em 7.1.1 a 7.1.3 fixa as tolerâncias mínimas (Δ) que devem ser obedecidas na montagem das estruturas PPS, desde que estas estruturas não sirvam de apoio ou guia aos equipamentos de movimentação.

7.1.1 No piso

A tolerância do piso não deve exceder os valores da Tabela 10 em nenhuma direção. Não são permitidos calços com altura maior que 60 mm.

NOTA Caso a tolerância do nivelamento do piso exceda os valores da Tabela 10, a empresa montadora, sob sua responsabilidade, pode corrigir o desnível do piso através de calços ou outros métodos de nivelamento, desde que estes não comprometam o perfeito funcionamento do equipamento de movimentação e da estrutura de armazenagem, conforme Tabela 11.

Tabela 10 — Tolerâncias de nivelamento de piso

Área do piso inscrita num quadrado de 1 m de lado	95 % de todas as medidas $\Delta \leq 4$ mm 100 % de todas as medidas $\Delta \leq 5$ mm
Área do piso inscrita num quadrado de 3 m de lado	95 % de todas as medidas $\Delta \leq 8$ mm 100 % de todas as medidas $\Delta \leq 9$ mm
NOTA Alternativamente, a área do piso pode ser ajustada como sendo o comprimento pela profundidade do módulo, e os valores de Δ podem ser obtidos por interpolação linear.	

7.1.2 No alinhamento da estrutura

As tolerâncias descritas na Tabela 11 referem-se ao nivelamento dos porta-paletes seletivos.

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

Tabela 11 — Tolerâncias de nivelamento

Dimensão, código e descrição da tolerância		Tolerâncias segundo a classe do equipamento	
Tipo	**Descrição**	**Classe III**	**Classe I e II**
Tolerâncias horizontais para o plano *XZ* (mm). Estrutura descarregada (ver Figura 15)			
A	Variação da dimensão nominal do vão entre colunas de um plano em um nível qualquer	± 3	± 3
At	Variação do comprimento total de uma estrutura, acumulada em um número *n* de módulos, medido o mais próximo possível do nível do solo	± 3 *n*	± 3 *n*
B	Desalinhamento das colunas dos montantes de conjuntos opostos no sentido transversal ao do corredor acumulado em *n* módulos medidos o mais próximo possível do piso	Escolher o maior valor entre:	
		± 10 ou 1,0 *n*	± 10 ou I: ± 1,0 *n* II: ± 0.5 *n*
B_o	Variação na medida da parte frontal da estrutura na área do (P&D), respeitando a "linha de referência em *z*", medida ao nível do piso	±10	±10
Cx	É o prumo de cada coluna na direção *x*	Escolher o maior valor entre:	
		± 10 ou ± *H*/350	± 10 ou ± *H*/500
Cz	É o prumo de cada coluna na direção *z*	Escolher o maior valor entre:	
		± 10 ou ± *H*/350	+10 ou I: ± *H*/500 II: ± *H*/750[1)]
D	Variação na medida da profundidade da estrutura (mono ou bifrontal)	± 3	± 3
E	Variação na medida da largura do corredor ao nível do solo	± 20	± 5
E_1	Variação na medida entre trilhos-guia		+ 5 - 0
E_2	Empilhadeiras de corredor muito estreito com barra de conexão para alimentação elétrica	± 5	± 5
F	Variação no alinhamento (alinhamento) de um corredor, medida ao nível do piso respeitando a "linha de referência em *x*"	± 15	±10
Jx	Alinhamento das colunas na direção *x* entre níveis de longarinas separados a uma distância *h*	Escolher o maior valor entre:	
		± 3 ou ± *h*/400	± 3 ou ± *h*/750
Jz	Alinhamento inicial das colunas de um montantes na direção z	Para montantes sem junção: *H*/750 Para montantes com junção: *H*/500	
Tolerâncias horizontais para o plano *YZ*(mm). Estrutura descarregada (ver Figura 16)			
H_3	É a variação da parte superior de qualquer nível de longarinas H_3, acima ou abaixo, com relação plano *xz*	Escolher o maior valor entre:	
		± 10 ou ± H_3/400	Classe I = Classe III Classe II: ± 5
H_{3A}	Variação da parte superior do primeiro nível de longarinas em relação à "linha de referência do piso"		± 5
Ky	É o alinhamento das longarinas na direção *y*	Escolher o maior valor entre:	
		± 3 ou ± *A*/400	±3 ou ± *A*/500
Ly	É a diferença de medida das longarinas frontal e traseira de um plano de carga na altura H_3 por cima da "linha horizontal de referência"	Escolher o maior valor entre:	
		± 5 ou ± H_3 /10 000	± 5 ou ± H_3 /2 000

[1)] *H*/500 é aceitável para classe II, desde que se utilize paletes com balanço de 75 mm ou mais, particularmente no caso de encaixe do palete não se deve apoiar a carga nas tábuas.

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

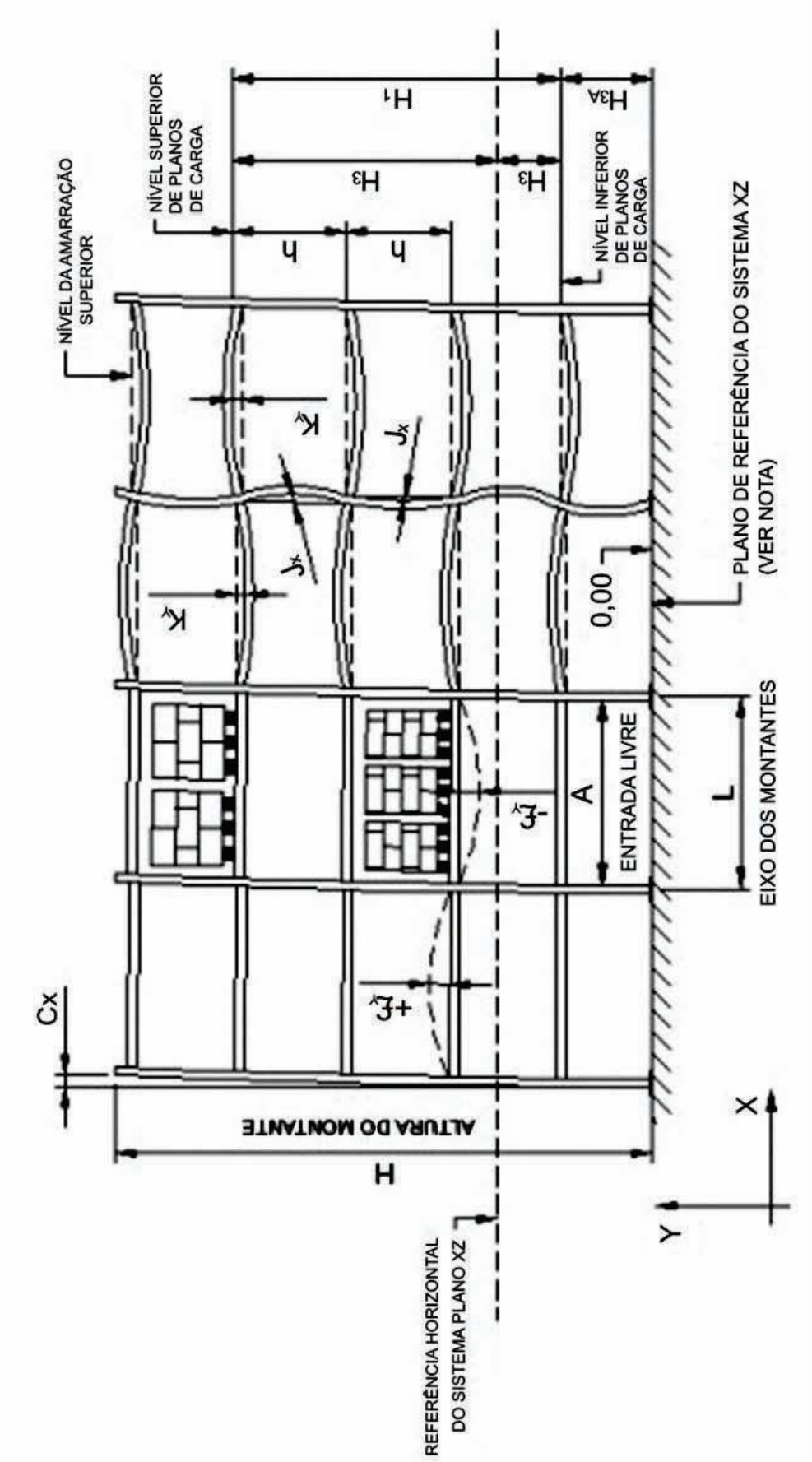


Figura 15 — Tolerâncias horizontais para o plano YZ

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

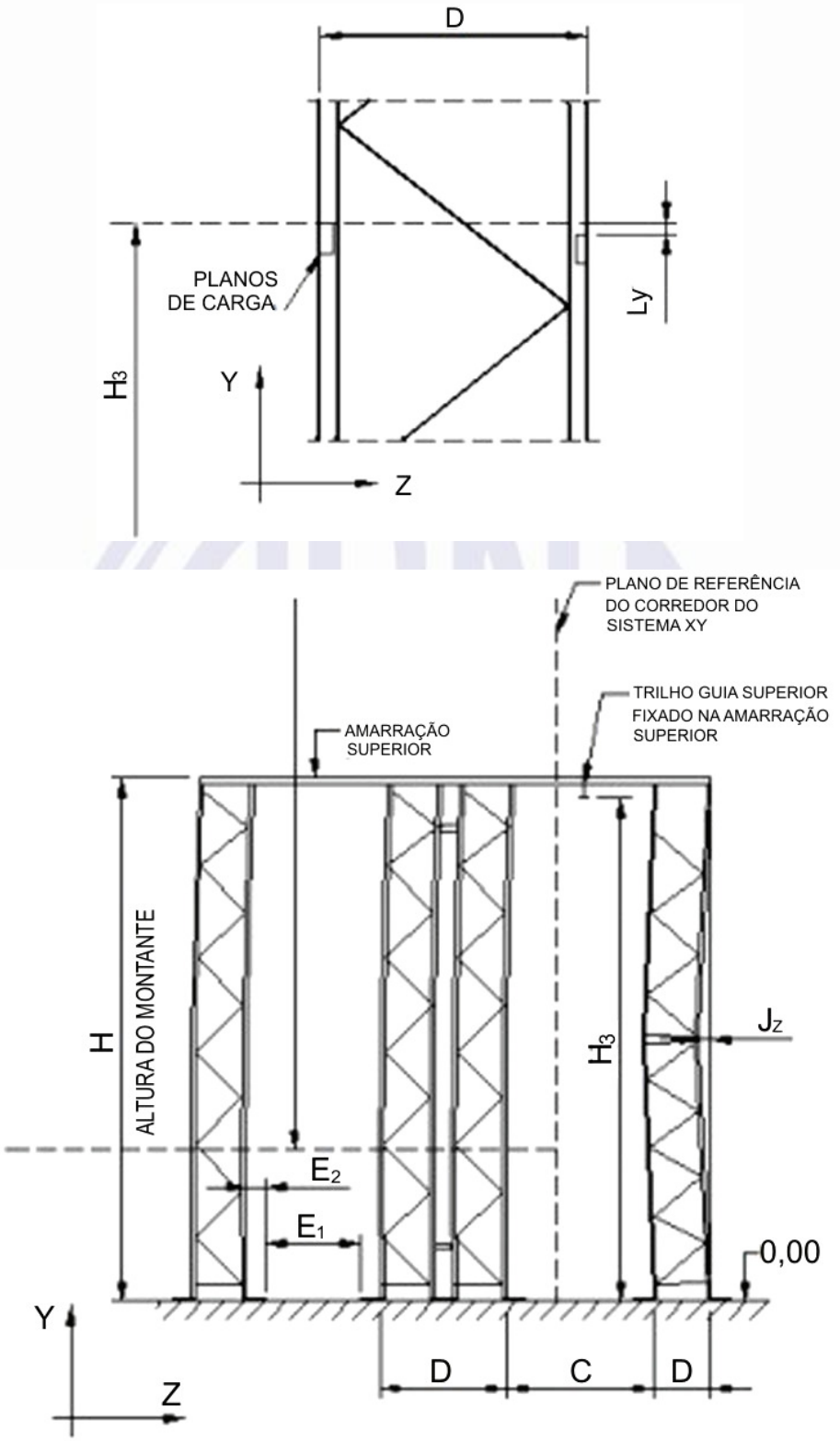


Figura 16 — Tolerâncias horizontais para o plano *YZ*

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

7.1.3 No campo entre montantes contínuos e opostos

O campo de tolerância de dois montantes contínuos e opostos (W_e), resultante do desalinhamento dos montantes ou da falta de prumo e curvatura de uma coluna desde a base até a parte mais alta, não deve exceder os seguintes valores (ver Figura 17):

a) para classe I e II: $W_e \leq W + 2K_x$;

b) para classe III: $W_e \leq W + 2C_x + B_{máx} + 2J_x$.

onde:

W_e é o campo de tolerância entre os montantes, expresso em milímetros (mm);

$B_{máx}$ é igual a 10 mm ou 1,0 N;

C_x é a falta de prumo do montante, expresso em milímetros (mm);

J_x é o alinhamento da coluna entre dois níveis de longarinas, expresso em milímetros (mm);

K_x é igual a 15 mm;

W é a largura da coluna, expresso em milímetros (mm).

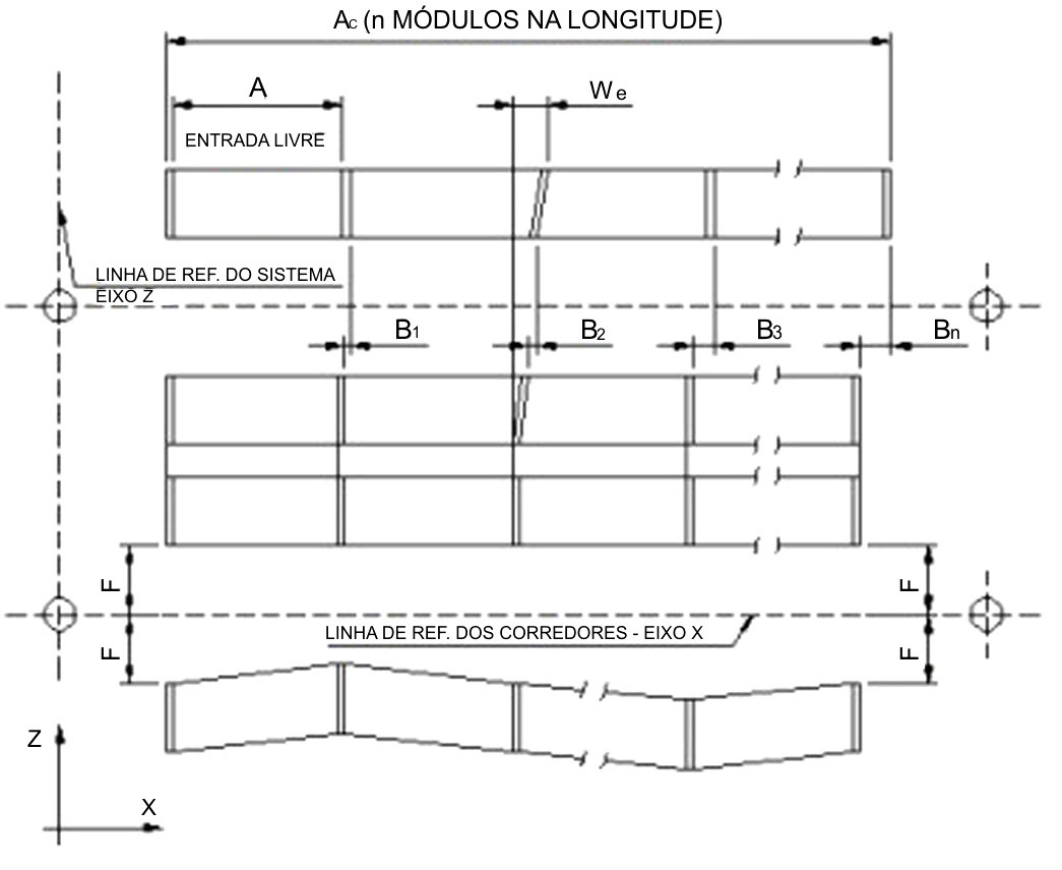


Figura 17 — Campo de tolerância de montagem

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

7.2 Instrumentos de medição

Para a verificação das tolerâncias de montagem, devem ser utilizados os seguintes instrumentos:

a) níveis a *laser*;

b) níveis planialtimétricos;

c) teodolitos;

d) mangueiras flexíveis transparentes, com diâmetro interno mínimo de 10 mm e comprimento entre 15 m e 30 m;

e) prumos com cordão maior ou igual que a altura da estrutura.

A precisão do instrumento de medição não deve ultrapassar 10 % da medida a ser verificada.

8 Utilização

8.1 Unidades de carga para carregamento com equipamentos de movimentação

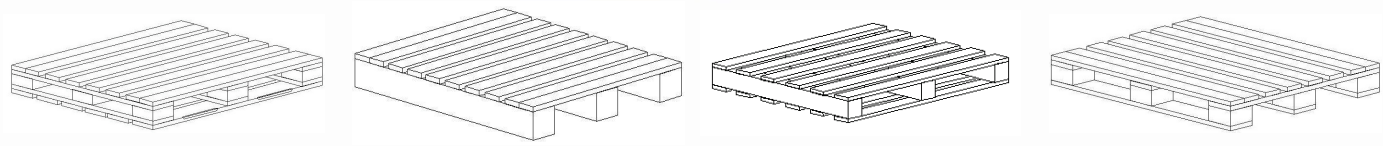
Vários tipos de equipamentos podem ser utilizados para a unitização de cargas, sendo os mais comuns os paletes de madeira.

É importante uma análise prévia estrutural da unidade de carga, que deve ser produzida com uma matéria-prima de boa qualidade, garantindo assim sua capacidade para suportar a carga que nela será acondicionada.

Algumas unidades de carga podem ser diretamente apoiadas sobre as longarinas e outras que, para serem utilizadas num porta-paletes convencional, exigem a utilização de acessórios (guias, travessas, planos metálicos etc.) que garantam a segurança da armazenagem.

8.1.1 Unidades de carga que não exigem acessórios

As unidades de carga que não exigem acessórios são os paletes de madeira padronizados, com duas ou quatro entradas, reversíveis ou não-reversíveis. Ver Figura 18.



Quatro entradas reversíveis | Duas entradas não reversíveis | Duas entradas reversíveis | Quatro entradas não reversíveis

Figura 18 — Tipos de paletes

8.1.2 Unidades de carga que exigem acessórios

8.1.2.1 Unidades de carga com saliências

Acessórios devem ser utilizados para evitar que qualquer saliência na base da unidade de carga comprometa a distribuição de carga ou provoque seu deslocamento sobre o par de longarinas. Atenção especial deve ser dada a cestos, caçambas e racks metálicos, pois possuem apoios prolongados em suas bases (pés). Ver Figura 19.

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

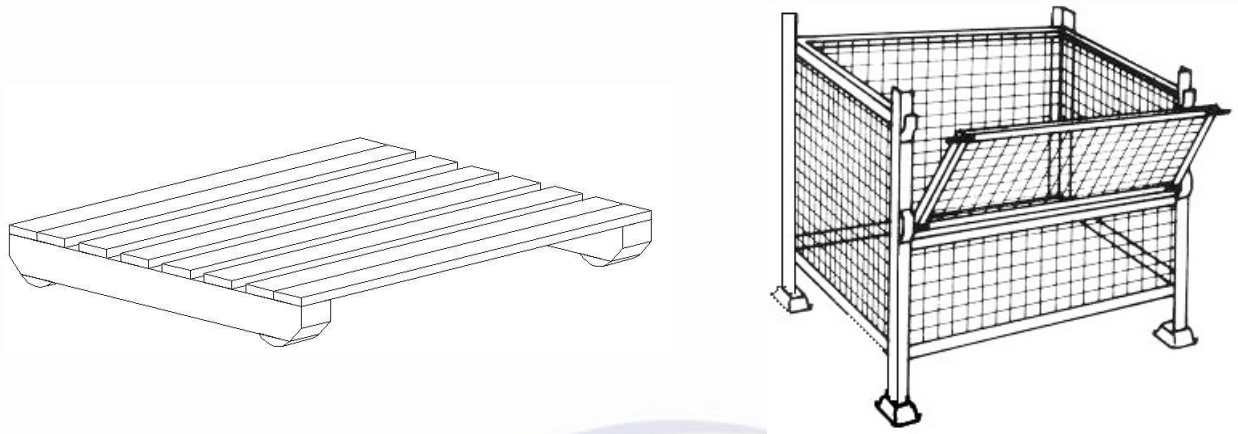


Figura 19 – Unidades de carga com saliências

8.1.2.2 Unidades de carga com vãos entre madeiras de sustentação maior que as mesas das longarinas

Durante a movimentação da unidade de carga, devem ser utilizados acessórios para que a carga não fique retida na mesa da longarina, provocando danos ou esforços não previstos, conforme Figura 20.

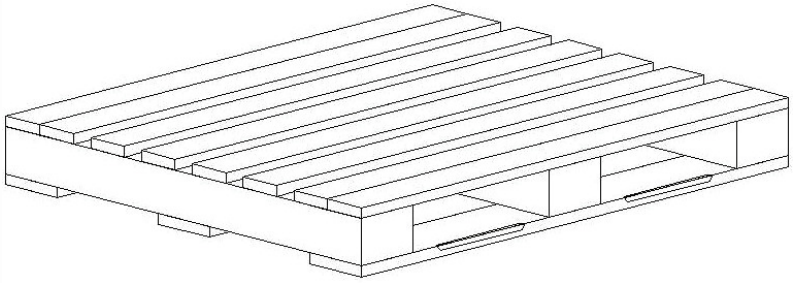


Figura 20 — Unidade de carga com vão maiores que a mesa da longarina

8.1.2.3 Unidades de carga com baixo coeficiente de atrito ou baixa resistência mecânica

Unidades de carga fabricadas com materiais de baixa resistência mecânica ou com baixo grau de aderência com a longarina (por exemplo, plástico, aço inoxidável etc.) devem utilizar acessórios.

8.1.2.4 Unidades de carga com entrada insuficiente

Unidades de carga cuja altura dos seus blocos de sustentação inferior não seja pelo menos três vezes a espessura do garfo da empilhadeira ou com altura irregular devem utilizar acessórios.

8.2 Distribuição das cargas

8.2.1 Colocação de cargas sobre a unidade de carga

As cargas devem ser posicionadas sobre as unidades de carga de maneira uniforme. Se não for possível evitar a excentricidade nas cargas colocadas sobre as unidades de carga, tal fato deve ser previamente comunicado ao fabricante das estruturas para que ele considere essa informação no ato do dimensionamento. Ver Figura 21.

As unidades de carga devem ser amarradas ou embaladas, dependendo do tipo ou da altura da carga.

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

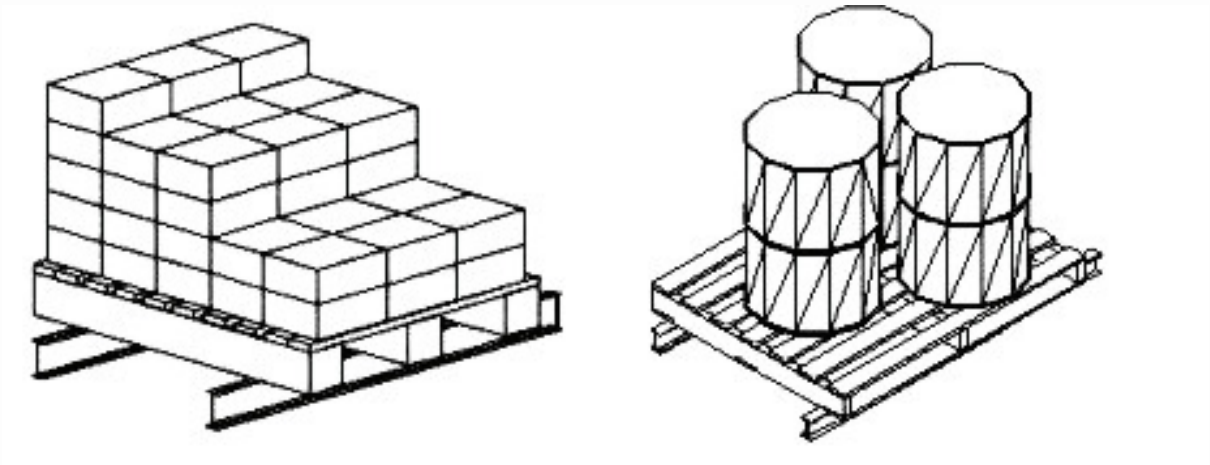


Figura 21 — Exemplos de carga não-uniforme

8.2.2 Distribuição das unidades de carga sobre a estrutura

A estrutura deve ser dimensionada para suportar as unidades de carga posicionadas simetricamente, com a mesma carga unitária prevista em projeto.

Se não for possível evitar a colocação assimétrica das unidades de carga sobre a estrutura, tal fato deve ser previamente comunicado ao fabricante das estruturas para que ele considere essa informação no ato do dimensionamento.

Em um par de longarinas, com espaço para a colocação de várias unidades de carga, a carga total prevista não deve ser concentrada em uma única unidade de carga. Ver Figura 22.

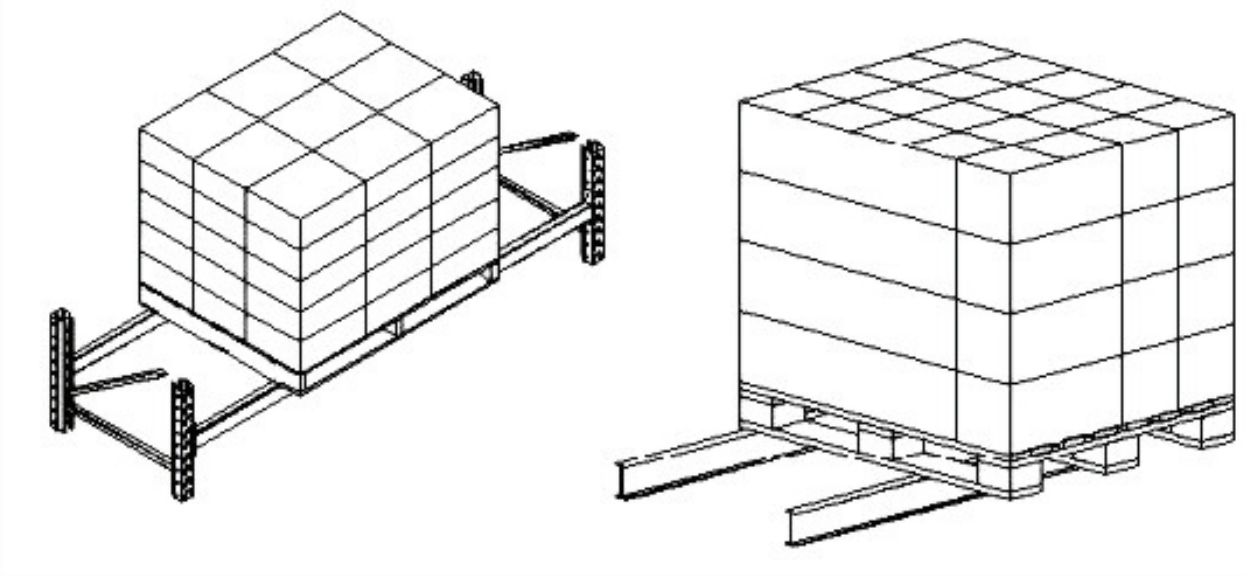


Figura 22 — Carga concentrada

Quando for colocada uma única unidade de carga (com sua carga unitária) em um par de longarinas, a unidade de carga deve ocupar seu respectivo lugar previsto em projeto.

Quanto à profundidade, a unidade de carga deve ser colocada de forma a garantir a perfeita divisão de cargas entre as duas longarinas que compõem o par.

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

A unidade de carga não pode ser armazenada de forma não perpendicular à estrutura. Ver Figura 23.

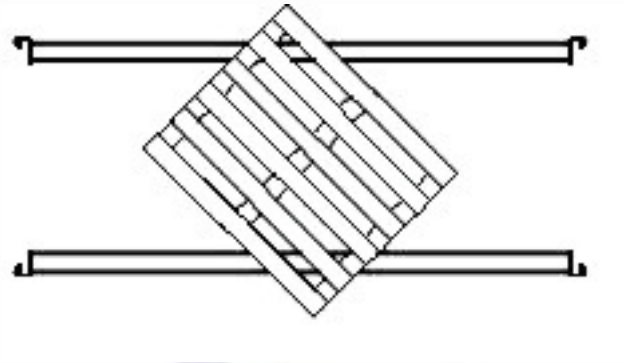


Figura 23 — Unidade de carga não perpendicular

8.3 Procedimentos de movimentação das unidades de carga nas estruturas

8.3.1 Manual

O carregamento manual das estruturas deve ser realizado de modo a evitar impactos, arrastos e concentração de cargas.

Recomenda-se a utilização de acessórios, cuja necessidade deve ser criteriosamente analisada.

8.3.2 Mecânico

Não são permitidos choques entre os equipamentos de movimentação e as estruturas, equipamentos de proteção ou estabilização.

A unidade de carga deve ser movimentada sem contato com o plano de carga e somente ser apoiada sobre as longarinas quando estiver corretamente posicionada. Com a unidade de carga posicionada, o garfo da empilhadeira não deve descer além do necessário para a sua saída, evitando-se desta forma o apoio ou arrastamento do garfo sobre as longarinas.

9 Inspeção

A inspeção das estruturas de armazenagem é essencial para uma operação segura e para se determinar a necessidade de troca ou manutenção delas ou até o isolamento e a evacuação da área de armazenagem.

As inspeções das estruturas de armazenagem são de responsabilidade do usuário, que é também responsável pela segurança das pessoas que operam ou estão nas áreas próximas às estruturas. A inspeção deve ser feita por pessoal habilitado contratado por ele. Este profissional deve identificar e contatar o fabricante em caso de problemas, bem como tomar as medidas de precaução em caso de acidentes.

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

9.1 Pontos iniciais de inspeção

9.1.1 Pós-montagem

Antes do início da utilização, deve-se inicialmente verificar se a carga, o equipamento de movimentação e as estruturas estão de acordo com os seguintes pontos:

a) as dimensões gerais da unidade de carga não devem ser maiores ou incompatíveis com a estrutura de armazenagem. Isto assegura que as folgas mínimas de utilização e os balanços mínimos sejam respeitados;

b) o corredor de operação do equipamento de movimentação deve ser maior ou igual ao determinado pelo fabricante;

c) o aspecto geral das unidades de carga deve ser aceitável, isto é, o palete utilizado deve estar em boas condições de uso e a carga unitizada não deve estar solta ou com excessos não considerados em projeto;

d) o peso da unidade de carga não deve ser maior do que o peso considerado no projeto, mesmo que o excesso esteja dentro dos coeficientes de segurança utilizados no cálculo da estrutura;

e) treinamento e instruções adequadas aos operadores dos equipamentos de movimentação e armazenagem.

9.1.2 Utilização

Após o primeiro carregamento total da estrutura, devem ser observados os seguintes pontos:

a) não são permitidos recalques diferenciais de piso que resultem em desníveis maiores que 0,4 % (4 mm/m) no plano das longarinas ou no plano dos montantes, evitando-se tensões adicionais não previstas no dimensionamento, mantendo-se o prumo inicial conforme 7.1.1;

b) falta de prumo das estruturas indicado em 7.1.2;

c) deformações superiores ao previsto na Seção 6.

9.2 Avaliação de danos e redução nos níveis de segurança

Os usuários devem observar que qualquer dano nas estruturas determina uma redução em seus coeficientes de segurança ou até mesmo sua inutilização. O colapso total ou parcial da estrutura pode não ser imediato e pode levar até mais de 24 h após o dano inicial. Este tempo depende da severidade do dano, sua localização, a capacidade de carga etc.

A avaliação dos danos deve ser feita individualmente, em cada elemento componente da estrutura, e sua situação indicada num relatório de danos com comunicação imediata aos responsáveis da área e ao fabricante.

9.2.1 Avaliação geral

Na avaliação da estrutura devem ser observadas as seguintes condições:

— falta de verticalidade da estrutura;

— efetividade de calços, bases, chumbadores, protetores de coluna e de conjunto;

— existência e efetividade das travas de segurança e dos dispositivos de travamento;

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

— possíveis falhas ou rachaduras, nas soldas ou nos materiais;

— condições do piso;

— condições dos paletes;

— capacidade máxima de carga indicada;

— nenhuma posição do palete com sobrecarga;

— estabilidade das unidades de carga.

9.2.2 Avaliação de danos

Nos casos de deformação local nos perfis, é necessário avaliar as propriedades da seção transversal do elemento danificado.

Para os demais casos de deformação, seguir os parâmetros de 9.2.2.1 e 9.2.2.2.

9.2.2.1 Montantes

Para deformações com curvatura maior que 1 m, deve-se usar uma régua de referência com 1 m de comprimento, posicionada de maneira que seus extremos estejam dentro da concavidade deformada e eqüidistante da deformação máxima ou central.

Para deformações com curvaturas menor que 1 m, ou nas extremidades, a régua deve ser posicionada no alinhamento do montante e a deformação medida no ponto máximo.

A seguir estão os valores máximos admissíveis para a deformação dos montantes e colunas:

a) montantes monofrontais com altura menor que 3 m devem ter o alinhamento vertical inferior a 1/120, medidos com o módulo totalmente carregado; para os outros casos, esse valor não deve ser maior que 1/200;

b) colunas dobradas na direção do plano do montante não devem ter deformações maiores que 3 mm, medidas com uma régua de 1 m (Figura 24);

c) colunas dobradas na direção do plano das longarinas não devem ser maiores que 5 mm, medidas com uma régua de 1 m (Figura 24);

d) deformações nos elementos de travamento (diagonal e travessa) em qualquer direção, iguais ou maiores que 10 mm;

e) cisalhamento de aletas indicando batidas ou flexão excessiva das longarinas.

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

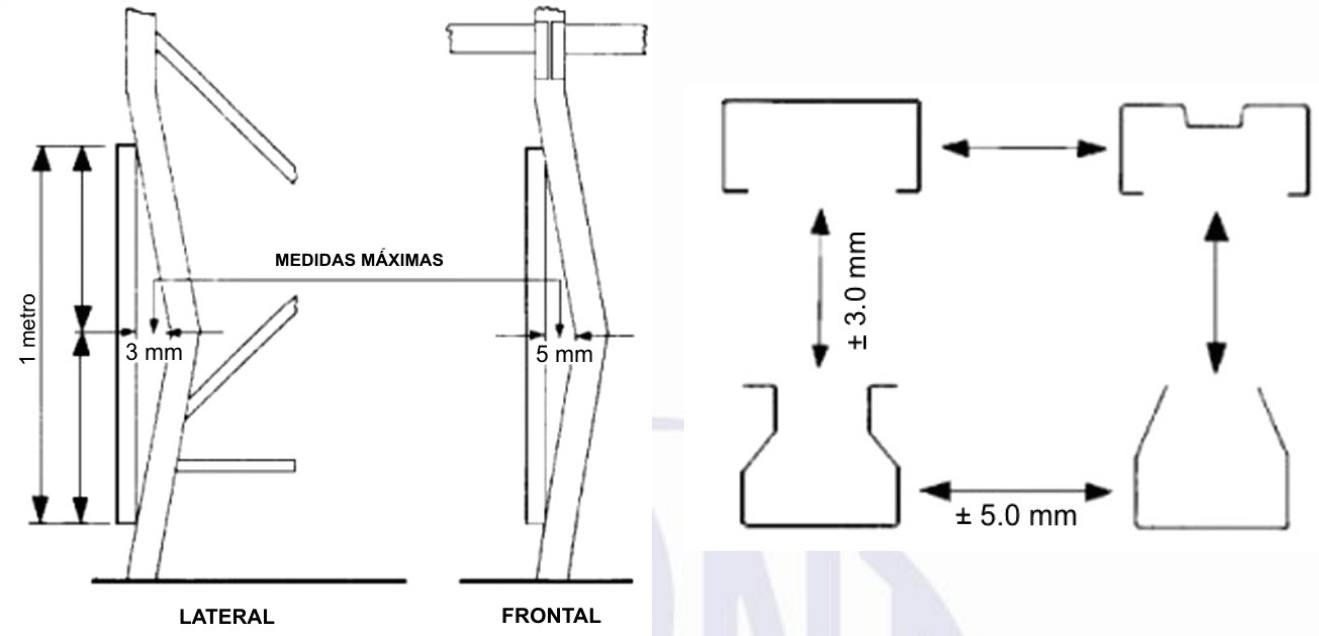


Figura 24 — Deformações máximas admissíveis

9.2.2.2 Longarinas

Os valores máximos admissíveis de deformações nas longarinas devem ser medidos e deve ser realizada uma inspeção visual para determinar desencaixes dos conectores, cisalhamento, fissuras ou trincas nas soldas, conforme parâmetros abaixo:

a) as flechas máximas admissíveis não devem exceder o indicado em 6.4;

b) a deformação residual vertical da longarina descarregada não deve ser maior que 20 % da flecha nominal máxima admissível, conforme 6.4;

c) a deformação residual lateral da longarina descarregada não deve ser maior que 40 % da flecha lateral, conforme 6.4;

d) deformações locais do perfil (por exemplo, flambagem local de mesa, corrugação de alma);

e) fissuras ou cisalhamento na solda (ver Figura 25);

f) uma ou mais garras do conector desencaixadas, abertas ou visivelmente danificadas.

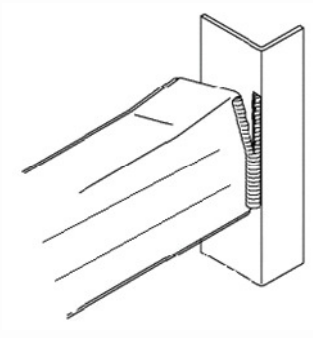


Figura 25 — Cisalhamento na solda

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

9.3 Avaliação da inspeção

9.3.1 Montantes

Deve-se classificar o risco cumprindo os seguintes critérios:

a) risco pequeno: danos que não excedem os parâmetros indicados em 9.2.2.1. Indica que o dano no montante não é crítico. Este tipo de dano nos montantes deve ser reportado para futuras inspeções, a fim de avaliar o progresso ou não do dano;

b) risco médio: danos que excedem em até duas vezes os parâmetros indicados em 9.2.2.1. Indica que o montante foi danificado e deve ser reparado, mas não precisa ser imediatamente descarregado. Entretanto, uma vez descarregado, não deve ser carregado até os reparos serem realizados. Na prática, os montantes nesta condição devem ser reclassificados para risco alto, caso os reparos não sejam realizados dentro de quatro semanas;

c) risco alto: danos que excedem em mais de duas vezes os parâmetros indicados em 9.2.2.1. Indica que o montante foi severamente danificado e deve ser imediatamente descarregado. Os reparos só podem ser realizados após uma análise estrutural e com posterior autorização do fabricante. O usuário deve isolar a área e o descarregamento só deve ser realizado na presença de um inspetor.

9.3.2 Longarinas

Deve-se classificar o risco cumprindo os seguintes critérios:

a) risco pequeno: danos que não atingem os parâmetros indicados em 9.2.2.2. Indica que o dano na longarina não é crítico. Este tipo de dano nas longarinas deve ser reportado para futuras inspeções, a fim de avaliar o progresso ou não do dano;

b) risco médio: danos que atingem os parâmetros indicados em 9.2.2.2. Indica que a longarina foi danificada e deve ser reparada, mas não precisa ser imediatamente descarregada. Entretanto, uma vez descarregada, não deve ser carregada até os reparos serem realizados. Na prática, as longarinas nesta condição devem ser re-classificadas para risco alto, caso os reparos não sejam realizados dentro de quatro semanas;

c) risco alto: danos que excedem os parâmetros indicados em 9.2.2.2. Indica que a longarina foi severamente danificada e deve ser imediatamente descarregada. Os reparos só podem ser realizados após uma análise estrutural e com posterior autorização do fabricante. O usuário deve isolar a área e o descarregamento só deve ser realizado na presença de um inspetor.

9.3.3 Avaliações complementares

A avaliação complementar deve indicar objetivamente as causas de ocorrência do dano, conforme descrito abaixo. Em todos os casos, os elementos causadores do dano devem ser readequados às condições ideais de projeto.

— operação de equipamento de movimentação incorreta;

— mudanças no equipamento de movimentação original;

— treinamento do operador;

— mudanças no tipo ou qualidade original do palete;

— folgas e balanço dos paletes inadequados;

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

— paletes danificados;

— corredor de operação muito pequeno;

— posicionamento assimétrico de carga nos paletes;

9.4 Freqüência da inspeção

Deve-se considerar a rotatividade dos produtos a serem armazenados e, com base nisso, escolher a freqüência da inspeção. Basicamente podem ser estabelecidos os seguintes métodos:

a) inspeção diária: deve detectar anomalias facilmente visíveis, como longarinas ou montantes deformados, falta de prumo na instalação, recalques no piso, ausência de calços, unidades de carga deterioradas etc. A reparação deve ser feita imediatamente;

b) inspeção semanal: deve detectar a verticalidade e retitude da estrutura e todos os elementos do 1 ° e 2 ° níveis, com notificação, qualificação e comunicação dos danos;

c) inspeção mensal: deve verificar, além da verticalidade da instalação de todos os níveis, aspectos gerais de ordem e limpeza com notificação, qualificação e comunicação dos danos;

d) inspeção anual: realizada por pessoal técnico do usuário ou do fabricante, deve verificar todos os itens acima com notificação, qualificação e comunicação dos danos;

e) inspeção extraordinária: realizada quando ocorrer qualquer evento que comprometa a integridade da estrutura.

9.5 Registro de inspeção

O registro de inspeção deve ser constituído de livro próprio, com páginas numeradas, assinadas pelo fabricante e pelo usuário, após a inspeção inicial conforme 9.1 ou outro sistema equivalente, onde devem ser registradas:

a) todas as ocorrências importantes capazes de influir nas condições de segurança da estrutura;

b) as ocorrências de inspeções periódicas (mensais e anuais) e extraordinárias, constando o nome legível e a assinatura do profissional habilitado e a data da inspeção.

A documentação referida deve estar sempre à disposição para consulta dos operadores, do pessoal de manutenção, de inspeção e do fabricante, devendo o proprietário assegurar pleno acesso a esta documentação, quando solicitado.

9.6 Limpeza

Os elementos que compõem a estrutura devem estar limpos e livres de produtos que possam provocar a corrosão do aço ou deterioração da camada de pintura. O contato direto com a água deve ser evitado.

9.7 Sinalização

Recomenda-se a colocação de placas de identificação de carga máxima admissível sobre as longarinas e conscientização dos operadores a respeito dos pesos dos paletes movimentados.

Os corredores e túneis devem ser sinalizados com faixas na cor amarela ou branca. Os protetores de coluna e conjunto devem ter cores chamativas.

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

9.8 Iluminação

As estruturas devem ter boa iluminação. As luminárias, naturais ou artificiais, devem preferencialmente estar sobre os corredores para iluminar a zona de trabalho, evitando a criação de zonas de sombras.

Nos corredores de circulação a iluminação mínima deve ser de 200 lux. Em casos específicos, a ABNT NBR 5413 deve ser consultada.

10 Ensaios

Este seção estabelece os métodos de ensaio para obtenção de dados para utilização no cálculo estrutural (avaliação dos elementos de projeto) e os métodos para ensaio de estruturas PPS para garantir a sua qualidade (avaliação da garantia de qualidade).

10.1 Parâmetros gerais

10.1.1 Execução dos ensaios

Os ensaios devem ser realizados por empresas e/ou profissionais capacitados para executar, planejar e interpretar os ensaios. Os procedimentos devem ser realizados de tal maneira que qualquer empresa e/ou profissional que utilize esta metodologia para ensaiar as amostras obtenha os mesmos resultados.

10.1.2 Condições de apoio

As condições do ensaio devem reproduzir as condições normais de apoio presentes na montagem real. Caso isto não ocorra, o projetista deve demonstrar que aquela condição levará a resultados conservativos.

10.1.3 Incrementos de carga

Os carregamentos podem ser aplicados incremental ou continuamente.

Quando o carregamento é incrementado, cada um dos quatro primeiros incrementos deve ser de 5 % da carga de ruptura esperada e os incrementos restantes escolhidos de tal maneira que o comportamento a ser observado possa ser percebido claramente.

Quando o carregamento for aplicado continuamente, a taxa de carga deve ser suficientemente lenta para garantir que as condições estáticas prevaleçam. As deformações devem ser observadas em intervalos regulares e com freqüência suficiente para uma observação clara.

10.1.4 Precisão das medidas

Os equipamentos de medição devem ser adequados para as quantidades a serem medidas e devem ter precisão de ± 2 % do valor mensurado.

10.1.5 Montagem das amostras de ensaio

As amostras devem ser montadas de acordo com o procedimento habitual do fabricante e de maneira a representar a condição mais desfavorável.

10.1.6 Relatório de ensaio

Para cada série de ensaios, uma documentação formal deve ser preparada contendo dados relevantes, para que os ensaios sejam precisamente reproduzidos. O relatório também deve descrever as dimensões, propriedades do material e processo de produção de cada amostra e quaisquer outros desvios.

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

10.1.7 Interpretação dos resultados

Devem ser usados os parâmetros de 10.1.7.1 a 10.1.7.3 para interpretar o resultado dos ensaios.

10.1.7.1 Definição da carga-limite

Deve ser considerado que a carga-limite na amostra foi atingida quando:

— as cargas aplicadas alcançaram seu limite máximo, e/ou

— ocorreram deformações de tal magnitude que o componente não cumpre a função projetada.

10.1.7.2 Correções nos resultados dos ensaios

Os resultados dos ensaios devem ser ajustados para considerar as diferenças de espessura e o limite de escoamento da amostra dos valores nominais declarados pelo fabricante.

Estes ajustes dependem da natureza da amostra e da natureza do ensaio realizado.

10.1.7.3 Tratamento dos valores encontrados

Depois que os resultados dos ensaios foram corrigidos conforme descrito em 10.1.7.2, o valor característico do parâmetro medido, V_k , deve ser calculado como segue:

$$V_k = V_m - K_s \times s$$

Onde:

V_k é a média dos valores ajustados encontrados;

s é o desvio-padrão dos ensaios ajustados;

K_s é o coeficiente da amostra, dado conforme Tabela 12, em função do número de amostras

Tabela 12 — Valores do coeficiente em função do número de amostras

n	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	30	40	50	100	∞
K_s	3,15	2,68	2,46	2,33	2,25	2,19	2,14	2,10	1,99	1,93	1,86	1,83	1,81	1,76	1,64

10.2 Ensaio em componentes da estrutura

Muitas constantes usadas no cálculo das estruturas são difíceis de serem obtidas analiticamente. Para isso são utilizados métodos empíricos. Os dados devem ser ajustados e tratados para a utilização. Os ensaios podem ser feitos uma única vez, a menos que mudanças tenham sido implementadas no elemento ensaiado.

10.2.1 Ensaio de coluna curta

10.2.1.1 Princípio

Devido à interação das três influências (flambagem local, perfurações e trabalho a frio na conformação do perfil) que afetam um elemento laminado a frio perfurado e comprimido, é necessária a determinação da área efetiva do perfil (A_{ef}).

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

Faz-se isto ensaiando cuidadosamente, com carga centrada, de compressão, as partes do elemento, suficientemente curtas para não serem afetadas pela flambagem da coluna.

Portanto, determina-se o valor de Q, utilizado para determinação da área efetiva do perfil da coluna (A_{ef}).

Este ensaio não deve ser usado para observar influências de flambagem distorcional.

10.2.1.2 Procedimento

A amostra deve ser montada conforme a Figura 26. Seu comprimento deve ser maior que três vezes a largura do perfil (ignorando-se enrijecedores intermediários) e deve incluir no mínimo cinco passos de perfuração ou repuxo.

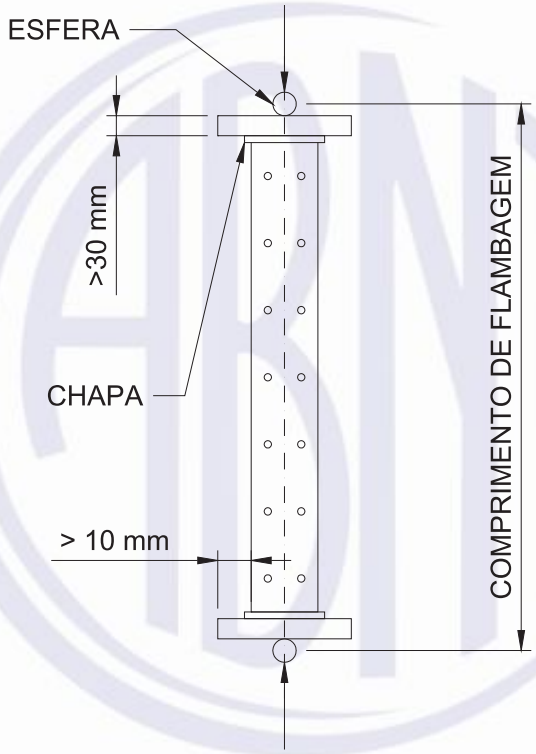


Figura 26 — Ensaio da coluna curta

Se o comprimento de flambagem da amostra exceder 20 vezes o menor raio de giração, devem ser colocados suportes dividindo a amostra em partes iguais ou menores que 20 vezes o menor raio de giração.

A amostra deve ser cortada perpendicularmente ao seu eixo longitudinal, no ponto médio entre duas furações ou repuxo. A planicidade das extremidades deve ter tolerância máxima de 0,03 mm.

As flanges podem ser soldados ou parafusados em cada extremidade do perfil. Isto ajuda a evitar tensões residuais devido ao corte.

A carga axial pode ser transmitida aos flanges através de chapas de pressão com 30 mm de espessura. Estas chapas devem ser maiores que o perfil, em todos os lados em pelo menos 10 mm.

Parafusos ou pinos podem ser usados para posicionar o perfil nas chapas, que, por sua vez, devem ter um pequeno rebaixo para receber as esferas-suporte.

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

As esferas-suporte devem ser colocadas nos eixos ou eixo de simetria do perfil, se houver um. A posição inicial pode ser também o centro de gravidade da seção transversal do perfil.

O diâmetro das esferas-suporte não é crítico. A Tabela 13 indica alguns valores práticos que devem ser usados como referência.

Tabela 13 — Diâmetro das esferas-suporte

Carga de ruptura esperada kN	50	100	200	300	450	800	1 250
Diâmetro da esfera mm	10	15	20	25	30	40	50

10.2.1.3 Expressão dos resultados

10.2.1.3.1 Ajuste dos resultados

A carga de ruptura deve ser ajustada levando-se em conta as diferenças de espessura e do limite de escoamento da amostra.

$$R_{co} = R_{ob} \times \left(\frac{F_y}{F_t}\right)^{\alpha} \times \left(\frac{e}{e_t}\right)^{\beta}$$

onde:

R_{co} é o valor da carga de ruptura corrigido;

R_{ob} é o valor da carga observada na amostra;

e é a espessura nominal;

e_t é a espessura da amostra;

F_y é o limite de escoamento nominal;

F_t é o limite de escoamento da amostra;

sendo:

$\alpha = 0$ para $F_y \geq F_t$

$\alpha = 1$ para $F_y < F_t$

sendo:

$\beta = 1$ para $e \geq e_t$

$\beta = 1$ para $e < e_t$, se $\frac{b_p}{e} \leq \left(\frac{b_p}{e}\right)_{lim}$

$\beta = 2$ para $e < e_t$, se $\frac{b_p}{e} > 1{,}5 \times \left(\frac{b_p}{e}\right)_{lim}$, sendo $\left(\frac{b_p}{e}\right)_{lim} = 0{,}64 \times \sqrt{\frac{E.k_a}{F_t}}$

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

onde:

b_p é a largura teórica do perfil;

k_a é igual a 4,00 para elementos enrijecidos;

k_a é igual a 0,43 para elementos não enrijecidos;

Para $\left(\frac{b_p}{e}\right)_{lim} < \frac{b_p}{e} < 1{,}5 \times \left(\frac{b_p}{e}\right)_{lim}$ o valor de deve ser determinado por interpolação.

10.2.1.3.2 Avaliação dos resultados

Para membros perfurados ou repuxados, a especificação assume que a máxima resistência hipotética seja governada pela mínima seção líquida $A_{mín.liq}$ de um plano passado adequadamente através das perfurações. Correspondentemente, Q é definido como:

$$Q = \frac{R_{co}}{F_y \times A_{mín.liq}}$$

onde:

Q é o fator de forma;

R_{co} é a resistência real da coluna curta;

F_y é o limite de escoamento do material;

$A_{mín.liq}$ é a área mínima da seção transversal, obtida passando um plano através da coluna, normal ao seu eixo.

Para uma série de amostras de colunas com diferentes espessuras, deve-se ensaiar a mais grossa e a mais fina. Para qualquer espessura intermediária, o valor de Q pode ser determinado por interpolação, usando a seguinte equação:

$$Q = \frac{Q_{mín} + (Q_{máx} - Q_{mín}) \times (e - e_{mín})}{(e_{máx} - e_{mín})}$$

onde:

$Q_{mín}$ é o fator de forma para a coluna curta de menor espessura;

$e_{mín}$ é a espessura da coluna mais fina;

$Q_{máx}$ é o fator de forma para a coluna curta de maior espessura;

$e_{máx}$ é a espessura da coluna mais grossa.

Este método somente é preciso se os limites de escoamento do aço das amostras das duas colunas curtas, com $e_{máx}$ e $e_{mín}$, não puderem ter diferença maior que 25 %.

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

Pelos procedimentos acima, é possível obter valores de Q maiores que 1. Isto acontece se os efeitos rejeitados de enrijecimento pelo trabalho a frio ultrapassarem os efeitos de enfraquecimento das perfurações. Caso o procedimento escolhido para determinar Q resulte em um valor maior que 1, deve ser adotado $Q = 1$.

10.2.2 Ensaio da ligação entre longarina e coluna

10.2.2.1 Princípio

Os detalhes das ligações variam largamente, portanto, é quase impossível estabelecer procedimentos gerais para calcular a rigidez da ligação e sua resistência, sem que se façam ensaios.

A alteração no ângulo entre a coluna e a longarina, θ (em radiano), pode ser idealizada como segue:

$$\theta = \frac{M}{F}$$

onde:

M é o momento na ligação entre os membros;

F é a constante elástica relacionando o momento à rotação.

O princípio deste ensaio é a determinação da capacidade de momento e rigidez da ligação e a determinação da constante elástica F da conexão.

Recomenda-se que a constante elástica F seja calculada com base nos resultados médios de dois ensaios de amostras idênticas, desde que o desvio ensaio não exceda 10 %; se o desvio exceder 10 %, uma terceira amostra deve ser ensaiada. A média dos dois valores maiores deve ser tomada como resultado.

10.2.2.2 Procedimento

10.2.2.2.1 Método 1 - Longarina em balanço

Uma coluna curta deve ser fixada a um montante ou anteparo rígido em dois pontos (ver Figura 27), com distância hc entre eles de tal maneira que:

hc < tamanho do conector + 2 x largura da coluna

onde:

hc é a distância entre os pontos de fixação no anteparo rígido.

Além desta distância, não deve haver nenhum contato entre a coluna e o anteparo rígido.

Uma longarina de pequeno comprimento deve ser conectada à coluna através de seu conector com suas travas ou pinos de segurança.

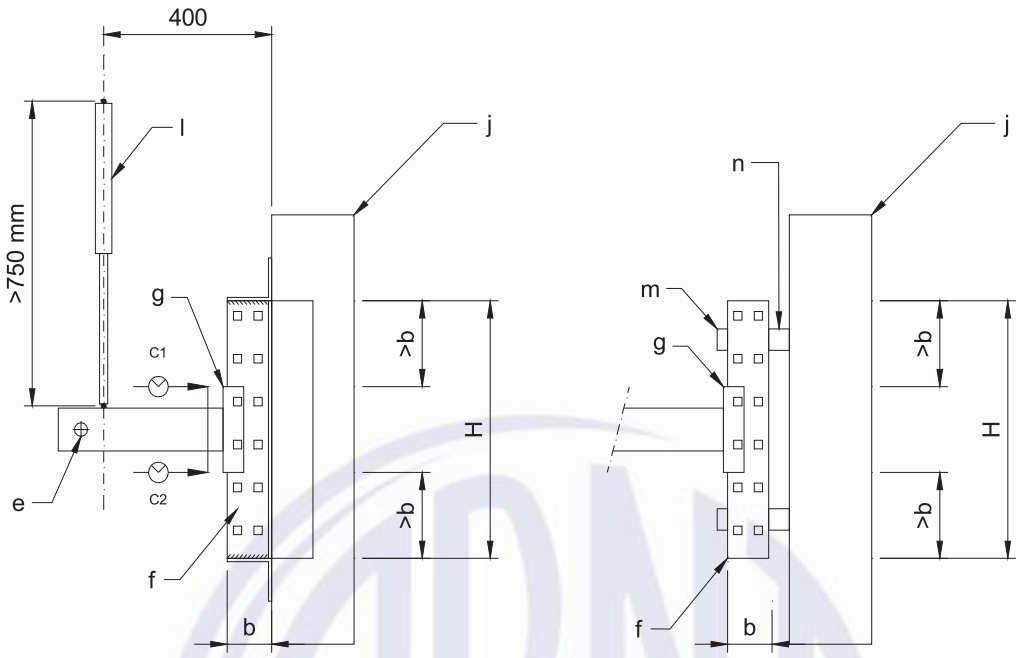
Movimentos laterais ou de torção da longarina devem ser evitados, colocando-se um contraventamento lateral que deve permitir o movimento da longarina na direção do carregamento.

A carga deve ser aplicada a 400 mm da coluna por um atuador de pelo menos 750 mm com extremidades articuladas.

Uma carga inicial de 10 % da carga estimada de ruptura deve ser aplicada inicialmente ao sistema e removida para assentar os componentes, e só então os instrumentos de medição devem ser zerados.

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados



Legenda:

b	Largura da coluna	f	Coluna
g	Conector	h	Altura da coluna
j	Suporte rígido	i	Pistão de carga
m	Braçadeira	n	Bloco espaçador

Figura 27 — Esquema de ensaio da viga em balanço

10.2.2.2.2 Método 2 – Efeito de pórtico

Neste método, o momento de rotação característico da conexão é medido indiretamente, aplicando-se a carga até a total ruptura dos montantes em que as longarinas estão conectadas. Ver Figura 28.

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

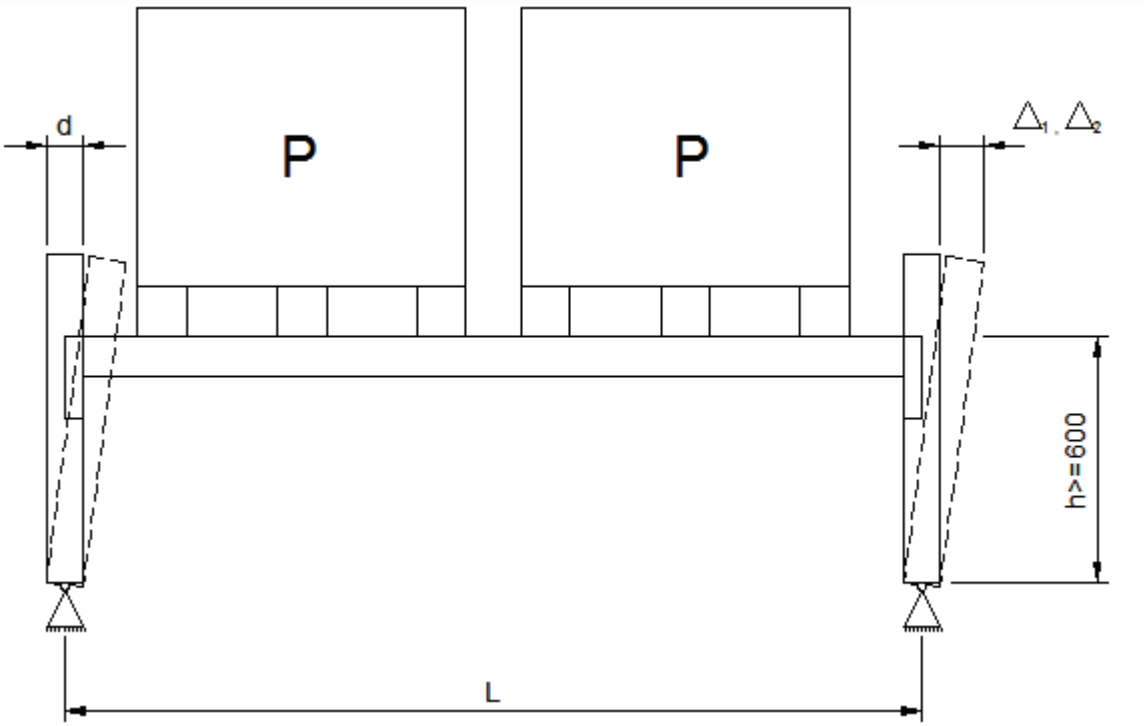


Figura 28 — Esquema do ensaio pelo método do efeito pórtico

Inicialmente, devem ser colocados dois montantes apoiados por quatro barras semicirculares colocadas embaixo de cada coluna e posicionadas no centro de gravidade do perfil. As bases da coluna devem ser restringidas a deslocamentos laterais, mas não a rotação.

Um par de longarinas, formando um plano de carga deve ser posicionado a uma distância mínima de 600 mm do piso. O comprimento ideal da longarina deve ser de aproximadamente 2 700 mm.

Uma carga inicial de 10 % da carga estimada de ruptura deve ser aplicada inicialmente ao sistema e removida para assentar os componentes, e só então os instrumentos de medição devem ser zerados.

Antes da aplicação da carga horizontal, as cargas de trabalho (*W*) devem ser colocadas cuidadosamente sem choques significantes.

Uma carga horizontal (*F*) deve ser aplicada gradualmente na direção da linha do eixo principal das longarinas até a falha da conexão. Os deslocamentos Δ_1 e Δ_2 das duas longarinas devem ser medidos no mesmo nível da aplicação da carga.

10.2.2.3 Avaliação dos resultados

10.2.2.3.1 Método 1 - Longarina em balanço

Um gráfico do momento (*M*) *versus* ângulo de rotação (θ) deve ser feito com dados de cada medição devido ao acréscimo da carga *F*, sendo:

$$M = a \times F$$

$$\theta = \frac{\delta_2 - \delta_1}{d}$$

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

onde:

a é o comprimento da longarina;

d é distância entre os medidores mostrados na Figura 28;

δ_1 é a flexão no medidor 1;

δ_2 é a flexão no medidor 2;

M é o momento de rotação;

F é a carga horizontal.

10.2.2.3.2 Método 2 - Efeito pórtico

O momento na conexão pode ser calculado por:

$$M = \left(\frac{F \times h}{4} + \frac{W \times \Delta}{2}\right) \times \left(1 - \frac{d}{L}\right)$$

onde:

d é a largura da coluna

$$\Delta = \frac{(\Delta_1 + \Delta_2)}{2}$$

A rotação deve ser calculada levando-se em conta a flexibilidade das longarinas, deste modo:

$$\theta = \frac{\Delta}{h} - F \times \left(\frac{h^2}{12 \times E \times J_c} + \frac{h \times L}{24 \times E \times J_v}\right)$$

onde:

θ é a rotação corrigida da conexão;

$E \times J_c$ é a rigidez da coluna;

$E \times J_v$ é a rigidez do montante;

h é a cota do nível de carregamento;

L é o comprimento da longarina.

10.2.3 Ensaio da carga de cisalhamento de conectores e travas

10.2.3.1 Princípio

O princípio do ensaio é medir a carga de cisalhamento do conector e de sua trava.

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

A espessura e o material dos conectores e travas devem ser determinados pelo projetista para satisfazer a maior carga de trabalho nominal prevista na operação da estrutura.

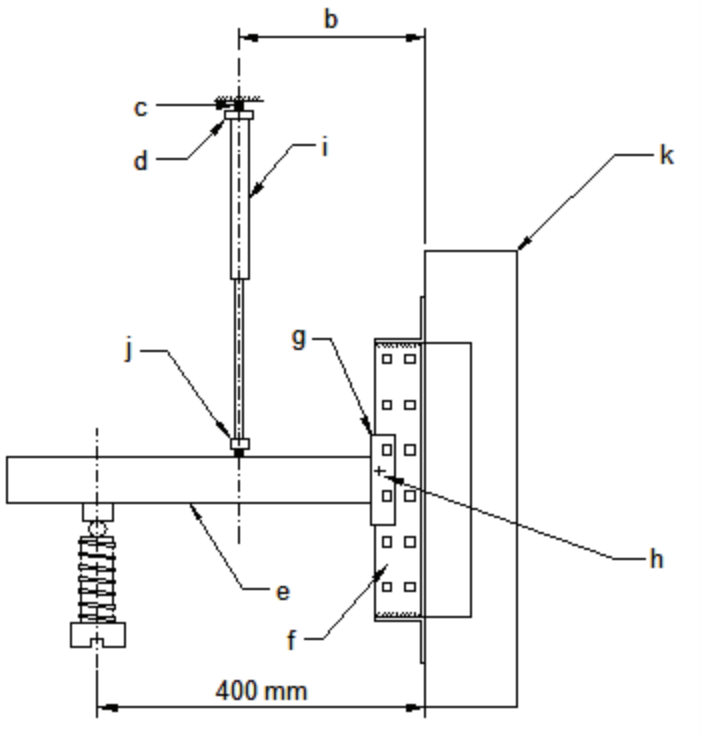
10.2.3.2 Procedimento

A preparação inicial da amostra consiste em uma coluna curta ligada rigidamente a um apoio, com um pedaço de longarina conectada à coluna pelo conector a ser ensaiado. Ver Figura 29.

A carga deve ser aplicada à conexão a uma distância mais próxima possível da face do montante (*b*)

A extremidade livre da longarina deve estar apoiada num suporte articulado, posicionado a 400 mm da coluna.

Para ensaiar a trava, a amostra deve ser montada na posição invertida e, além da carga igual à carga do ensaio do conector, deve ser adicionada uma carga de 500 N no topo da longarina na direção normal à face do montante, simulando uma batida na parte debaixo da longarina.



Legenda:				
	b	Distância mais próximo possível da face da coluna	c	Arranjo de ponta articulado
	d	Célula de carga	e	Longarina
	f	Coluna	g	Conector
	h	Ponto de aplicação fora do plano de carga (trava)	j	Esfera e suporte
	k	Suporte rígido	l	Pistão de carga
	m	Braçadeira	n	Bloco espaçador

Figura 29 — Ensaio da carga de cisalhamento

As cargas devem ser adicionadas seguindo a metodologia indicada em 10.1.3.

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

10.2.3.3 Avaliação dos resultados

A carga de ruptura do conector ou da trava (Q_{cn}) deve ser calculada por:

$$Q_{cn} = Q_{ac} \times \left(1 - \frac{b}{400}\right)$$

onde:

Q_{cn} é a carga de ruptura do conector;

Q_{ac} é a carga real de ruptura;

b é a distância de aplicação da carga.

10.2.4 Ensaio de junções

10.2.4.1 Princípio

O princípio deste ensaio é determinar a rigidez e a resistência de junções entre montantes.

A espessura e o material das junções devem ser determinados pelo projetista para satisfazer a maior carga de trabalho nominal prevista na operação da estrutura.

10.2.4.2 Procedimento

A preparação inicial da amostra consiste em duas colunas com extremidades articuladas, carregadas axialmente no topo e conectadas pela junção a ser ensaiada. Ver Figura 30.

O ensaio deve ser feito com incrementos de 0,25 Q_{tm}, 0,50 Q_{tm}, 0,75 Q_{tm} e Q_{tm}, que é a carga total a ser colocada no montante.

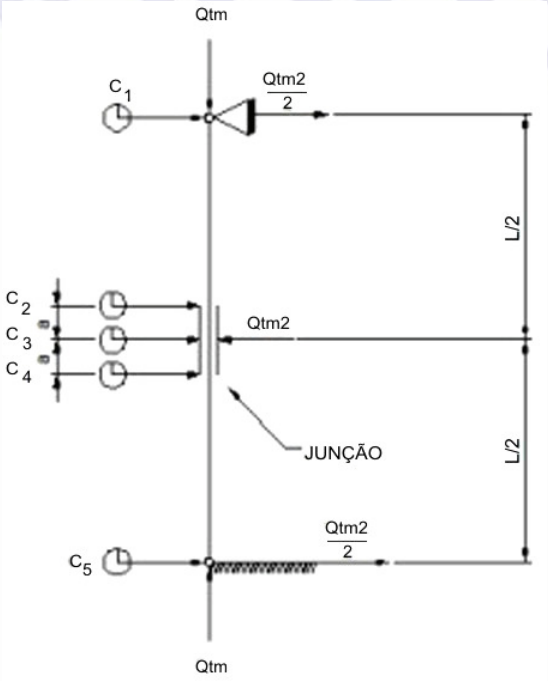


Figura 30 — Ensaio de junção

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

Os eixos axiais das colunas (que podem ter espessuras diferentes) devem ser coincidentes com a linha de força Q_{tm}.

O comprimento total (L) da coluna não deve ser maior que o comprimento da junção mais 1 200 mm.

Cinco medidores de deslocamento devem ser posicionados, sendo um em cada extremidade da coluna, um no meio da junção e um em cada extremidade da junção.

A carga Q_{tm} deve ser aplicada inicialmente até o valor determinado e mantida constante para que uma carga horizontal, Q_{tm2}, seja aplicada gradualmente até a ruptura da junção.

10.2.4.3 Avaliação dos resultados

Um gráfico do momento (M), aplicado na junção contra a rotação θ, deve ser traçado, usando:

$$M = Q_{tm2} \times \frac{\lambda}{4} + Q_{tm}\left[\delta_3 - \left(\frac{\delta_1 + \delta_5}{2}\right)\right]$$

$$\theta = \frac{2}{a} \times \left(\delta_3 - \frac{\delta_2 + \delta_4}{2}\right)$$

onde:

λ é a distância entre articulações

a é a distância entre medidores na junção;

Q_{tm} é a carga axial;

Q_{tm2} é a carga transversal;

δ_1 a δ_5 são os deslocamentos dos pontos 1 a 5.

10.3 Ensaio em estruturas

Montantes e longarinas devem ser ensaiados individualmente para obtenção de capacidade de carga real e rigidez.

10.3.1 Ensaio de compressão de montantes

10.3.1.1 Princípio

O princípio deste ensaio é determinar a capacidade de carga axial da coluna do montante para uma variedade de comprimentos efetivos na direção perpendicular à face da coluna, levando em conta efeitos de flambagem fora do plano, restrições à torção devido às travessas ou diagonais e flambagem distorcional.

10.3.1.2 Procedimento

O ensaio é feito utilizando-se um montante com a maior profundidade determinada para o produto, no qual uma das colunas é carregada axialmente. Ver Figura 31.

O padrão de contraventamento deve ser o mesmo utilizado no produto-padrão.

A coluna deve ser carregada da mesma maneira descrita em 10.1.3, exceto que a coluna não deve ser ajustada para evitar o efeito de mola do aço do perfil.

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

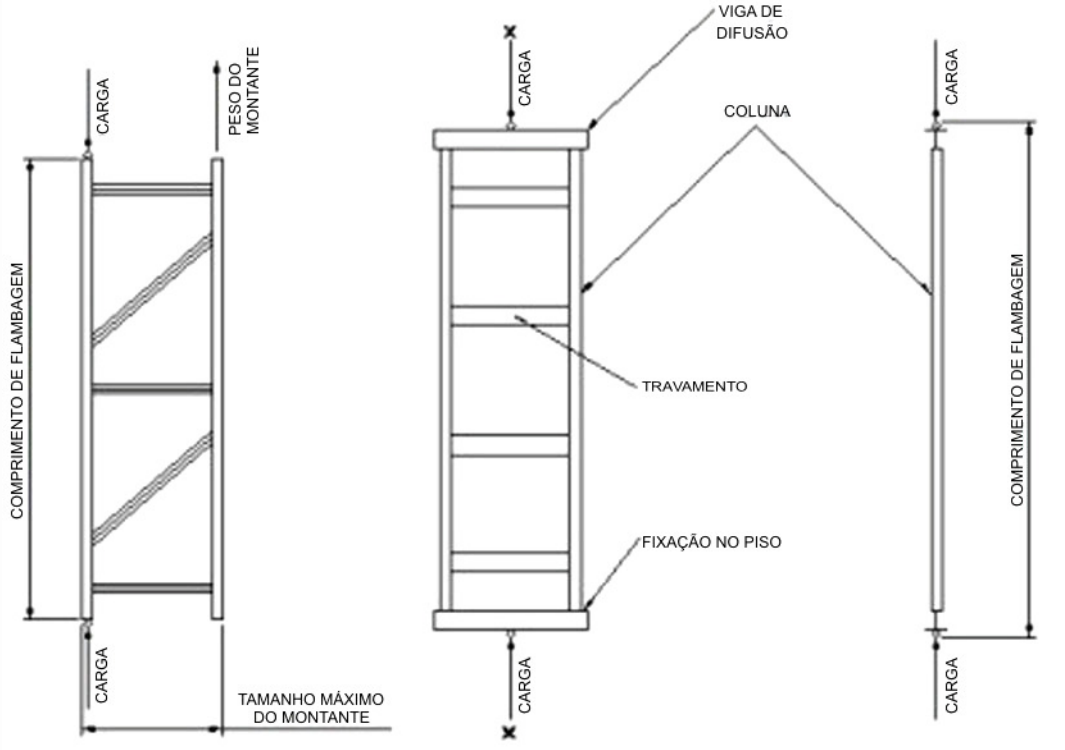


Figura 31 — Esquema do ensaio de compressão do montante

A coluna deve ser ensaiada para uma variedade de comprimentos, sendo o menor deles o que permitir o menor contraventamento possível. O maior comprimento deve corresponder a um índice de esbeltez não-dimensional λ_n de 1,50 no sentido de flambagem perpendicular ao montante.

A carga deve ser adicionada até a ruptura do sistema.

10.3.1.3 Ajuste dos resultados

A carga de ruptura deve ser ajustada levando-se em conta as diferenças de espessura e do limite de escoamento da amostra.

$$R_{co} = R_{ob} \times (C)^{\alpha} \times \left(\frac{e}{e_t}\right)^{\beta}$$

onde:

R_{co} é o valor da carga de ruptura corrigido;

R_{ob} é o valor da carga observada na amostra;

e é a espessura nominal;

e_t é a espessura da amostra.

C é a razão entre o limite de escoamento nominal e o da amostra

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

Para $0 \leq \bar{\lambda} \leq 0{,}2$ $\quad C = \dfrac{F_y}{F_t}$

Para $0{,}2 \leq \bar{\lambda} \leq 1{,}5$ $\quad C = \dfrac{\bar{\lambda} - 0{,}2 + \dfrac{F_y}{F_t} \times (1{,}5 - \bar{\lambda})}{1{,}3}$

Para $\bar{\lambda} \geq 1{,}5$ $\quad C = 1$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\pi \times \sqrt{\dfrac{E}{F_y}}}$$

F_y é o limite de escoamento nominal;

F_t é o limite de escoamento da amostra;

α, β são definidos em 10.2.1.3.1.

10.3.2 Ensaio de flambagem por flexão nas colunas dos montantes

10.3.2.1 Princípio

O princípio deste ensaio é determinar o momento de resistência da seção da coluna do montante nos eixos de maior e menor inércia.

10.3.2.2 Procedimento

O ensaio deve ser feito carregando-se a coluna em quatro pontos, conforme a Figura 32.

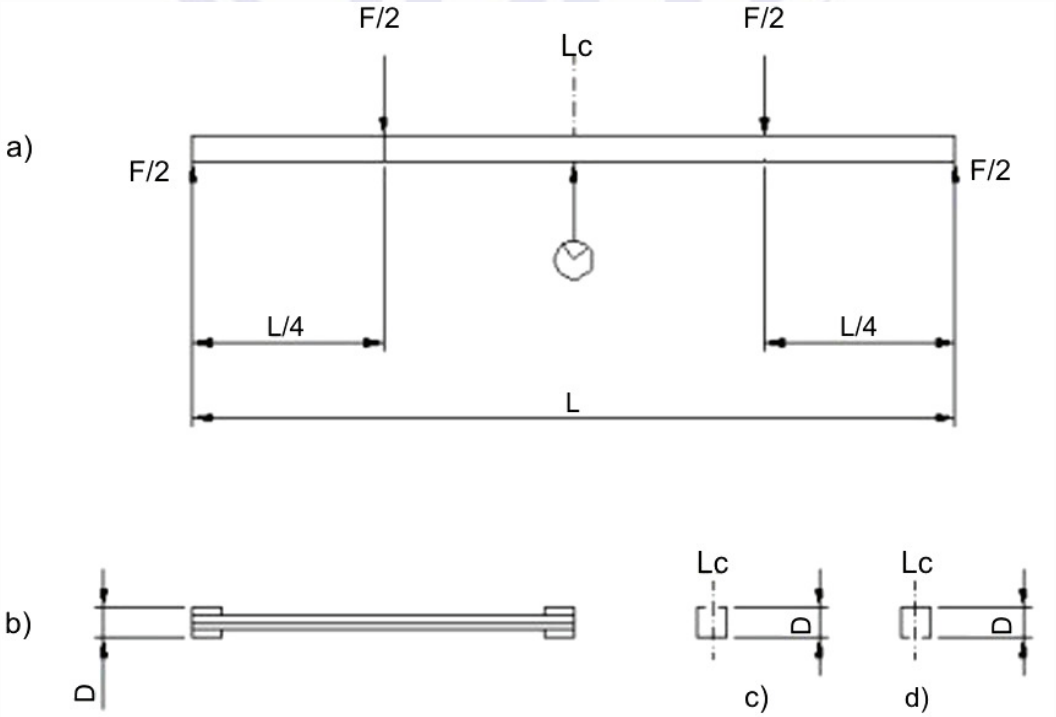


Figura 32 — Esquema do ensaio de flambagem da coluna

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

O comprimento da coluna (L) deve ser tal que $30 \leq \frac{L}{D} \leq 40$, sendo D a dimensão da coluna perpendicular em relação ao eixo analisado.

O ensaio pode ser feito para medir a flambagem da coluna tanto no menor quanto no maior eixo.

Quando o ensaio for feito para se determinar a flambagem em torno do eixo de simetria, um montante completo deve ser ensaiado, ou seja, duas colunas com os contraventamentos-padrão com as extremidades do perfil livres para rotacionar, conforme Figura 32(a).

O arranjo do ensaio deve permitir a flambagem lateral torsional, que pode acontecer em condições normais de uso.

Se o ensaio for utilizado para medir apenas as propriedades de flambagem do perfil desconsiderando a flambagem por torção, o perfil deve ser fixado em intervalos ao longo do comprimento, conforme a Figura 32(b).

Quando o ensaio for feito para determinar a resistência no plano do montante, então apenas uma seção deve ser ensaiada nos dois sentidos, conforme a Figura 32(c) e 21(d).

As correções devem ser feitas conforme 10.2.1.3.1.

10.3.3 Ensaio de flexão nas longarinas

10.3.3.1 Princípio

O princípio deste ensaio é determinar a resistência à flexão da longarina, bem como a rotação do perfil em seu eixo longitudinal sob a carga de trabalho.

O ensaio foi projetado inicialmente para perfis com um eixo de simetria suscetível à flambagem lateral por torção.

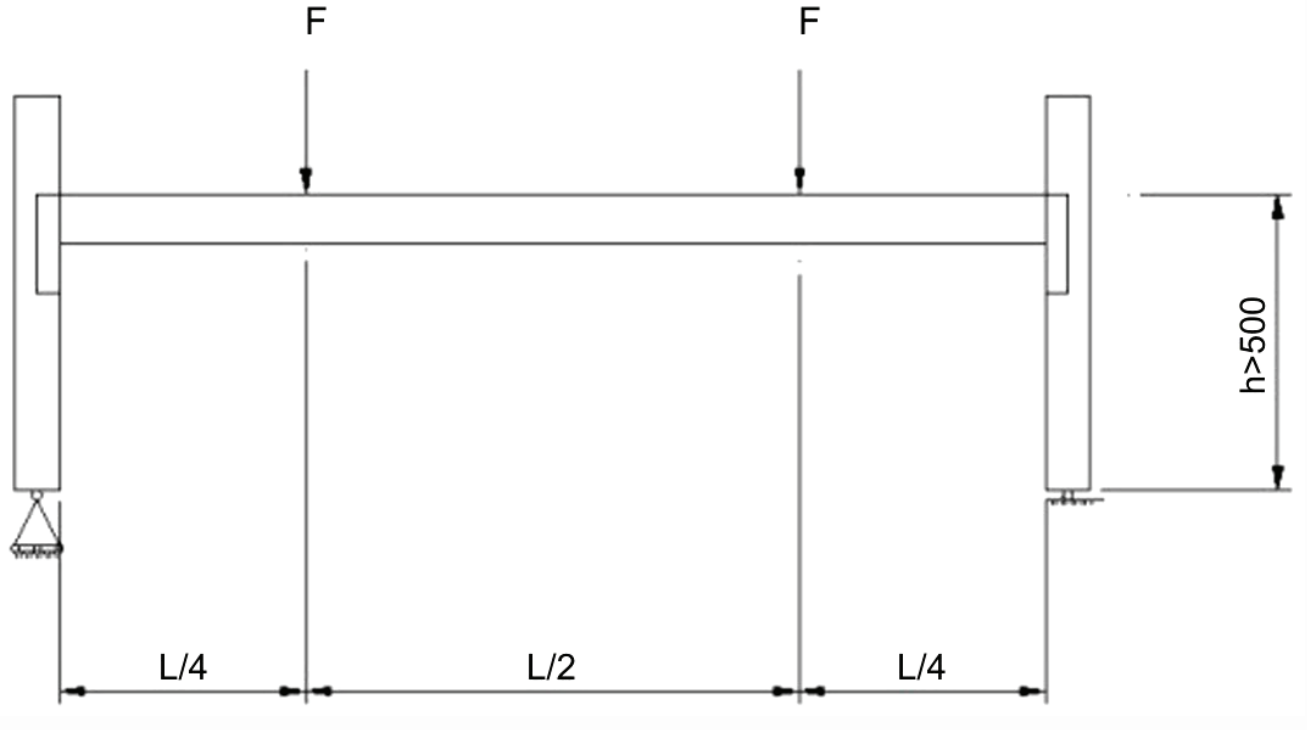


Figura 33 — Esquema das longarinas e montantes no ensaio

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

10.3.3.2 Procedimento

O ensaio utiliza um par de longarinas apoiadas em um montante, utilizando os conectores-padrão, conforme a Figura 33.

Para o ensaio de rotação, o comprimento da longarina deve ser no mínimo igual a 50 vezes a medida da largura da seção transversal do perfil.

As longarinas podem ser unidas por paletes, espaçadores de garfo, dormentes ou qualquer outro elemento que favoreça a montagem especificada pelo fabricante, desde que elas sejam utilizadas na montagem-padrão.

A carga deve ser a nominal teórica determinada para o perfil.

Alternativamente, a carga pode ser aplicada em quatro pontos e deve ser aplicada em flanges com no máximo 100 mm para reduzir a tendência à corrugação de alma (*web crippling*)

A carga deve interagir com a longarina da mesma maneira que acontece na prática, ou seja, produtos como pneus apoiados diretamente determinam um carregamento axial e lateral.

Um dos montantes deve ser apoiado em bases articuladas enquanto o outro deve estar apoiado em rolamentos que permitam a livre movimentação horizontal para que as forças horizontais não possam agir nos montantes.

A carga deve ser adicionada até a carga de trabalho máxima e a rotação absoluta (θ) da longarina deve ser medida no centro do vão.

A rotação e a flexão máxima podem ser medidas por um transferidor ou relógio comparador.

10.3.3.3 Ajuste dos resultados

A carga de ruptura deve ser ajustada levando-se em conta as diferenças de espessura e do limite de escoamento da amostra, conforme 10.2.1.3.1.

O valor da rotação da longarina observado (θob) deve ser corrigido como segue:

— para seções abertas:

$$\theta_{co} = \theta_{ob} \times \left(\frac{e_t}{e}\right)^3$$

— para seções fechadas:

$$\theta_{co} = \theta_{ob} \times \left(\frac{e_t}{e}\right) \qquad \theta_{co} > \theta_{ob}$$

onde:

θ_{co} é a rotação observada;

θ_{ob} é a rotação observada;

e é a espessura nominal;

e_t é a espessura da amostra.

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

A cada um dos paletes colocados na estrutura, um de cada vez, sobrepor uma carga adicional de 25 % da carga unitária admissível de trabalho (CUAT), por um período de 10 s. Verificar se ocorreram instabilidades ou deformações permanentes.

10.4 Ensaios no conjunto estrutural

Ensaios que podem ser feitos globalmente na estrutura para confirmar o comportamento determinado teoricamente ou para determinar as capacidades de uma estrutura cujas características de resistência não sejam conhecidas.

10.4.1 Ensaio de longarinas em flexão

10.4.1.1 Procedimento

Retirar aleatoriamente quatro pares de longarinas destinadas a suportar o peso das unidades de carga com as ligações (transversinas) eventualmente previstas. Inicialmente, serão ensaiados dois pares de longarinas.

Cada longarina deve ser fixada a um par de colunas do montante do porta-paletes seletivo, de forma que a altura livre abaixo da longarina seja de 600 mm.

10.4.1.2 Determinação da carga admissível unitária de trabalho (CUAT) das longarinas

Aplicar sobre o par de longarinas, através de paletes similares aos previstos na operação da estrutura, cargas crescentes até que:

a) cada palete tenha um peso bruto total igual a 1,4 vez seu peso bruto nominal;

b) seja atingida uma flecha, no centro do vão, igual a $L/200$, sendo L o comprimento da longarina;

c) seja observada alguma alteração ou deformação que possa ser considerada insegura.

As cargas devem ser aplicadas em incrementos e simultaneamente deve ser traçado um gráfico carga x flecha.

O valor inicial da flecha deve ser o correspondente a uma carga de aproximadamente 5 % da carga nominal de projeto. Pode ser usado como carga, por exemplo, o peso dos paletes vazios.

Os incrementos de carga devem ser aplicados por meio de blocos de lastro colocados simetricamente sobre os paletes, não sendo estes movimentados durante o ensaio.

Todas as alterações da estrutura notadas por inspeção visual devem ser anotadas e relacionadas à carga correspondente.

Quando no traçado do gráfico da carga x flecha for observado um rápido incremento da flexão, isto é, uma indicação de proximidade da carga de colapso, deve-se ter cuidado com a segurança de pessoas e equipamentos envolvidos no ensaio.

A carga máxima deve ser aquela obtida considerando-se os limites determinados nas alíneas a) ou b) ou c).

O resultado entre as duas medições não deve variar mais do que 10 %. A carga máxima é o valor médio das cargas medidas.

Caso o resultado obtido apresente variação superior a 10 %, um novo par de longarinas deve ser ensaiado. Neste caso, a carga máxima é o valor médio das duas menores cargas medidas.

A carga unitária admissível de trabalho (CUAT) é a carga máxima dividida pelo número de paletes com que foi feito o ensaio.

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

10.4.1.3 Verificação da deformação residual

Assim que a carga máxima foi determinada, um novo ensaio deve ser feito em outro par de longarinas.

Uma carga igual à carga máxima deve ser aplicada e retirada. Deve ser medida a flecha central com referência inicial de registro das deformações.

Em seguida, uma carga de 1,5 vez a CUAT deve ser aplicada.

A flecha residual não pode ser superior a 15 % da flecha central. Se esta limitação não for atendida, a carga máxima deve ser reduzida ou a estrutura reforçada, sendo, neste caso, necessário novo ensaio.

10.4.2 Deslocamentos horizontais

10.4.2.1 Procedimento

Montar, como protótipo para ensaio, uma réplica da estrutura porta-paletes seletivo real, com o mesmo material previsto, constituída de três montantes e tantas longarinas quanto teriam os dois módulos da estrutura real, além dos contraventamentos projetados.

A estrutura de ensaio deve ser fixada ao piso e nivelada da mesma forma como será fixada a estrutura real.

Construir uma estrutura paralela de segurança, capaz de apoiar a estrutura sob ensaio no caso de seu colapso. As duas longarinas superiores e suas conexões aos montantes podem ser reforçadas para esse apoio.

A ligação entre a estrutura de segurança e a sob ensaio não pode receber forças decorrentes do carregamento enquanto as deformações não forem excessivas. Uma ligação por correntes não tensionadas pode ser prevista.

Posicionar um fio de prumo no topo do montante e marcar sua posição no piso.

10.4.2.2 Determinação dos deslocamentos

Colocar sobre as longarinas tantos paletes quanto previstos, cada um com carga igual a 1,5 vez a CUAT. Os paletes com carga devem ser movimentados sem qualquer impacto contra a estrutura e a carga deve seguir os mesmos critérios de 10.4.1.2.

Aplicar sobre o centro de cada palete do par superior de longarinas uma força horizontal, perpendicular a longarina, igual a 5 % da CUAT, primeiro no sentido de compressão do palete e depois no sentido de tração, medindo as deformações finais e residuais causadas em cada solicitação. As deformações não podem ser tais que prejudiquem a estabilidade, segurança e operação da estrutura.

Verificar se ocorreram instabilidades no conjunto.

A medição deve ser repetida com o outro módulo. Se entre as duas medições os resultados tiverem diferença inferior a 10 %, o resultado deve ser o valor médio das cargas máximas medidas. Caso contrário, novos conjuntos devem ser carregados.

O valor encontrado deve ser menor que $\frac{L}{250}$, onde L é a altura total do montante.

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados

Bibliografia

A.I.S.I. (American Iron and Steel Institute) – Load and Resistance Factor – Design Specification for Cold-formed Steel Structural Members – March 16, 1991 edition.

R.M.I. (Rack Manufactures Institute) – Specification for the Design, Testing and utilization of Industrial Steel Storage Racks – 1997 edition.

A.N.S.I. (American National Standard) MH16.2-1984 (R1996) – For the Use of Industrial and Commercial Steel Storage Racks – Manual of Safety Practices / A Code of Safety Practices.

S.E.M.A. (Storage Equipment Manufactures Association) – Interim Code of Practice for the Design of Static Racking

FEM 10.2.02:2001 – Design Code for Racking PLUS Worked Example

FEM 10.3.01:1997 – Adjustable beam pallet racking (APR) – Tolerances – Deformations & Clearances

Exemplar para uso exclusivo - Felipe Jacob Moraes Pereira - 369.445.238-92 (Pedido 616459 Impresso: 07/12/2017)

©ABNT 2007 - Todos os direitos reservados