



## Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificações com perfis tubulares

### APRESENTAÇÃO

- 1) Este 2º Projeto de Norma foi elaborado pela Comissão de Estudo de Estruturas de Aço - (CE-02:125.03) do Comitê Brasileiro da Construção Civil – (ABNT/CB-02), nas reuniões de:

01/06/2011	06/07/2011	14/09/2011
19/10/2011	14/12/2011	11/04/2012
13/12/2012		

- 2) Não tem valor normativo
- 3) Aqueles que tiverem conhecimento de qualquer direito de patente devem apresentar esta informação em seus comentários, com documentação comprobatória;
- 4) Este 2º Projeto de Norma será diagramado conforme as regras da ABNT quando da sua publicação como Norma Brasileira;
- 5) Tomaram parte na elaboração deste Projeto:

Participante	Representante
Afonso Henrique Mascarenhas de Araújo	VMB
Arlene Maria Sarmanho Freitas	UFOP
Eduardo de Miranda Batista	UFRJ
João Alberto Venegas Requena	UNICAMP
Ricardo Hallal Fakury	UFMG
Roberval José Pimenta	CODEME
Valdir Pignatta e Silva	EPUSP
Roberto Inaba	USIMINAS
Luiz Carlos Gentil	MEDABIL
João Luiz Zattarelli	ABECE
Flávio C. D´Alambert	ABECE
Rafael Costa Laredo	MARKO
Rose de Lima	ABNT/CB-02
Rodrigo Barreto Caldas	UFMG
Mauri Resende Vargas	TECSTEEL ENG
Marcílio Sousa da Rocha Freitas	UFOP
Iara Mapa Soutto Mayor	VMB
Julio Fruchtengarten	KF ENG. ASSOC.
Otavio Antonio Trindade Pepe	NEMETSCHEKSCIA/ABECE
Gilberto Harsteln	SOLUÇÕES USIMINAS



**ABNT/CB-02**  
**2º PN 02:125.03-004**  
**MAIO 2013**

Patricia Davidsohn	ABCEM
Antonio Kikvo Abc	METAL ONE DO BRASIL
Douglas Rodriguez Brasil	MARINHA DO BRASIL
Fábio Domingos Pannoni	GERDAU S.A
Fernando Matos	IABR/CBCA
Luciano Rodrigues Ornelas de Lima	UERJ
José Antônio S. Prestes	BRAFER
Alexandre Luiz Vasconcellos	MÉTODO ESTRUTURAS
Ricardo José da Costa	MARCEGAGLIA
Tarcisio Pelegrini Jr.	TJA
Adriano Magela Oliveira	TKFLA
Fernanda Frazão	PROJETO ALPHA
Danilo Magalhães Gomes	TUPER
Humberto Bellei	USIMINAS
Caio Nilo Marcon	TUPER
Danilo Magalhaes Gomes	TUPER
Fernando M. Preisler Jr.	TUPER
Sergio Kojima	TEMARIS CONFAB
Melquiades Barbosa	TUBERFIL



## Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificações com perfis tubulares

*Design of steel and composite structures for buildings using hollow sections*

### **Sumário**

**Prefácio**

**Scope**

**Introdução**

- 1 Escopo**
- 2 Referências normativas**
- 3 Simbologia e unidades**
- 4 Análise estrutural de treliças**
- 5 Dimensionamento de barras tracionadas e comprimidas**
- 6 Ligações de perfis tubulares**
- 7 Ligação flangeada**
- 8 Bases de pilares**
- 9 Vigas mistas de aço e concreto**
- 10 Pilares mistos de aço e concreto**

**Anexo A (informativo) Solda**

### **Prefácio**

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o Foro Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB), dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS) e das Comissões de Estudo Especiais (ABNT/CEE), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas 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 das Diretivas ABNT, Parte 2.

Os Projetos de Norma Brasileira, elaborados no âmbito dos ABNT/CB e ABNT/ONS, circulam para Consulta Nacional entre os associados da ABNT e demais interessados.

O escopo deste Projeto de Norma em inglês é o seguinte.

Based on the limit states method, this Standard establishes basic requirements for the design, at room temperature, of steel and steel-concrete composite buildings, with tubular sections and welded or bolted connections.



Seam or seamless hollow sections can be, circular, rectangular or square, and herein are related simply as tubes, manufactured in accordance ABNT NBR 8261, ASTM A500, ASTM A501, ASTM618, ASTM A847, CSA G40.20-04.

All requirements from ABNT NBR 8800:2008 are applied. In addition, this Standard provides:

- a) A specific procedure for design of bars with hollow sections subjected to axial tensile forces (see 1.4). The general procedure provided by ABNT NBR 8800 is still applicable. However, this Standard presents a procedure that more accurately reflects the behavior of bars with hollow sections;
- b) A specific procedure for design of bars with hollow sections subjected to axial compression forces made of hollow sections, hot rolled seamless or heat treated for stress relief with or without seam (see 1.4). This treatment, which aims to obtain metallurgical conditions equivalent to those of hot rolled tubes, can be done by heating the tubes at a temperature equal to or higher than 450°C, with subsequent cooling in air, as G40.20-04 "General requirements for rolled or welded structural quality steel. ABNT NBR 8800 provides a general procedure. However, this Standard presents a procedure that reflects more accurately the behavior of bars with hollow sections;
- c) Additional procedures for situations that are not explicitly addressed by the ABNT NBR 8800 (see 1.5);
- d) Specific requirements for the nominal resistance of materials (see 1.6).

The specific procedures mentioned in 1.3 (a) and (b) refer respectively to the coefficient of net area reduction,  $C_t$ , and the reduction factor associated with resistance to compression,  $\chi$ , addressed in Section 5.

The additional procedures mentioned in 1.3 (c), refer to structural analysis of trusses, steel connections, flanged connections, column bases, composite beams, composite columns, and welds, addressed in sections 4, 6, 7, 8, 9, 10 and Appendix A, respectively.

In this Standard the strength of steel is given by its nominal value provided by applicable Standard. Values obtained from tests, including those shown in steel mills certificates, cannot be used as nominal values.

## Introdução

Esta Norma define os princípios gerais que regem o projeto, à temperatura ambiente, de estruturas de aço e mistas, de aço e concreto, de edificações, incluindo passarelas de pedestres e suportes de equipamentos, utilizando perfis tubulares.

### 1 Escopo

**1.1** Esta Norma, com base no método dos estados-limites, estabelece os requisitos básicos que devem ser obedecidos no projeto à temperatura ambiente de estruturas de aço e mistas, de aço e concreto, de edificações, com perfis tubulares e ligações com parafusos ou soldas.

**1.2** Os perfis tubulares, também denominados simplesmente tubos, podem ter forma circular ou retangular e podem ser com ou sem costura, fabricados de acordo com as prescrições normativas ABNT NBR 8261, ASTM A500, ASTM A501, ASTM618, ASTM A847, CSA G40.20-04. Os perfis tubulares quadrados são considerados um caso particular dos retangulares.

**1.3** São válidas todas as prescrições da ABNT NBR 8800:2008. Complementarmente, nesta Norma são fornecidos:

- a) um procedimento específico para o dimensionamento de barras submetidas à força axial de tração constituídas de perfis tubulares (ver 1.4). A ABNT NBR 8800 contém um procedimento geral aplicável,



porém, nesta Norma, é apresentado um procedimento que reflete com maior precisão o comportamento dos perfis tubulares;

- b) um procedimento específico para o dimensionamento de barras submetidas à força axial de compressão constituídas de perfis tubulares, laminados a quente sem costura ou tratados termicamente para alívio de tensões com ou sem costura (ver 1.4). Esse tratamento, que tem como objetivo obterem-se condições metalúrgicas equivalentes às dos tubos laminados a quente, pode ser feito aquecendo-se os tubos a uma temperatura igual ou superior a 450 °C, com posterior resfriamento ao ar livre, conforme G40.20-04 "General requirements for rolled or welded structural quality steel. A ABNT NBR 8800 contém um procedimento geral aplicável, porém, nesta Norma, é apresentado um procedimento que reflete com maior precisão o comportamento dos perfis tubulares;
- c) procedimentos adicionais, para situações não tratadas diretamente pela ABNT NBR 8800 (ver 1.5);
- d) prescrições específicas, para os valores nominais das resistências dos materiais (ver 1.6).

**1.4** Os procedimentos específicos mencionados nas alíneas a) e b) de 1.3 referem-se respectivamente ao valor do coeficiente de redução da área líquida,  $C_t$ , e ao valor do fator de redução associado à resistência à compressão,  $\chi$ , e encontram-se na Seção 5.

**1.5** Os procedimentos adicionais mencionados na alínea c) de 1.3 referem-se à análise estrutural de treliças, ligações metálicas, ligações flangeadas, de bases de pilares, vigas mistas, pilares mistos e soldas, e encontram-se nas Seções 4, 6, 7, 8, 9, 10 e Anexo A, respectivamente.

**1.6** Nesta Norma, o valor da resistência do aço é dado por seu valor nominal fornecido por norma ou especificação aplicável e valores obtidos de ensaios, inclusive os apresentados nos certificados das usinas siderúrgicas, não podem ser utilizados como valores nominais.

## 2 Referências normativas

Os documentos apresentados 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 6118; *Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento*

ABNT NBR 8261; *Perfil tubular, de aço-carbono, formado a frio, com e sem costura, de seção circular, quadrada ou retangular para usos estruturais*

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

ASTM A500; *Standard specification for cold-formed welded and seamless carbon steel structural tubing in rounds and shapes*

ASTM A501; *Standard specification for hot-formed welded and seamless carbon steel structural tubing*

ASTM A618; *Standard specification for hot-formed welded and seamless high-strength-Alloy Structural Tubing*

ASTM A847 *Standard specification for cold-formed welded and seamless high-strength-Alloy Structural Tubing with improved atmospheric corrosion resistance*

AWS D1.1/D1.1M:2010; *Structural welding code steel*

CSA G40.20-04; *General requirement for rolled or welded structural quality steel.*



### 3 Simbologia e unidades

#### 3.1 Simbologia

A simbologia adotada nesta Norma é constituída por símbolos-base (no mesmo tamanho e no mesmo nível do texto corrente) e símbolos subscritos.

Os símbolos-base utilizados com mais freqüência encontram-se estabelecidos em 3.1.1, além dos e os símbolos subscritos em 3.1.2.

A simbologia geral encontra-se estabelecida nesta subseção e a simbologia mais específica de algumas partes desta Norma é apresentada nas seções pertinentes, com o objetivo de simplificar a compreensão e, portanto, a aplicação dos conceitos estabelecidos.

##### 3.1.1 Símbolos-base

Alguns símbolos-base apresentados a seguir estão acompanhados de símbolos subscritos, de forma a não gerar dúvidas na compreensão de seu significado.

###### 3.1.1.1 Letras romanas minúsculas

$a$  é a distância

$a_w$  é a espessura de garganta de solda de filete; espessura efetiva de solda de penetração

$b$  é a largura da seção transversal; largura

$b_0$  é a largura da seção transversal do banzo

$b_{ch}$  é a largura da chapa de ligação

$b_i$  é a largura da seção transversal de diagonais ou montantes em perfil tubular retangular ( $i = 1, 2, 3$ )

$b_{ef}$  é o parâmetro de largura

$b_{e,ov}$  é o parâmetro de largura

$b_{c,p}$  é o parâmetro de largura

$b_j$  é a largura da seção transversal de diagonais ou montantes sobrepostas em perfil tubular retangular ( $j = 1, 2, 3$ )

$b_p$  é a largura da chapa de reforço

$b_v$  é a distância vertical da face inferior da placa de base à extremidade da placa de cisalhamento

$c$  é a distância

$d$  é o diâmetro; distância; dimensão

$d_i$  é o diâmetro de diagonal ou montante em perfil tubular circular ( $i = 1, 2, 3$ )



$d_0$  é o diâmetro de banzo em perfil tubular circular

$d_b$  é o diâmetro do parafuso

$e$  é a excentricidade; comprimento; distância

$e_c$  é a excentricidade da ligação concêntrica

$e_n$  é a distância da face inferior da placa de base ao bloco de fundação (camada do *grout*)

$f$  é o parâmetro relacionado à geometria

$f_b$  é a tensão normal

$f_{ck}$  é a resistência característica do concreto à compressão

$f_u$  é a resistência à ruptura do aço à tração

$f_{ub}$  é a resistência à ruptura do aço do parafuso

$f_{uch}$  é a resistência à ruptura à tração do aço da chapa

$f_y$  é a resistência ao escoamento do aço

$f_{ych}$  é a tensão relacionada à resistência ao escoamento do aço da chapa

$f_{yk}$  é a tensão relacionada à resistência ao escoamento do aço do perfil do banzo

$f_{yp}$  é a resistência ao escoamento do aço do perfil da chapa

$f_{y0}$  é a resistência ao escoamento do aço do perfil do banzo

$g$  é o comprimento do afastamento entre diagonais ou montantes longitudinal ao banzo

$g_t$  é o comprimento do afastamento entre diagonais ou montantes transversal ao banzo

$h$  é a largura, altura

$h_0$  é a altura da seção transversal do banzo

$h_{ch}$  é a altura da chapa de ligação

$h_i$  é a altura da seção transversal de diagonais ou montantes em perfil tubular retangular ( $i = 1, 2, 3$ )

$h_w$  é a altura da alma do perfil I ou H

$k$  é o fator; parâmetro

$l$  é o comprimento

$l_c$  é o comprimento efetivo da ligação concêntrica, comprimento do trecho da placa sujeito à pressão de contato do

concreto



$l_p$  é o comprimento da chapa de reforço

$l_d$  é o diâmetro externo do flange ou da placa de base

$l_x$  é a largura da placa de base na direção x

$l_y$  é a largura da placa de base na direção y

$m$  é o parâmetro geométrico

$n$  é o número (quantidade); parâmetro; razão de tensão no banzo

$n_p$  é a razão de tensão no banzo de ligações com chapa

$n_b$  é o número de chumbadores da ligação

$p$  é o comprimento; comprimento da área de contato projetada da diagonal sobreposta na face do banzo, na ausência da diagonal sobreposta; parâmetro; largura tributária de um parafuso

$p_{ef}$  é o comprimento efetivo

$p_{ef,s}$  é o comprimento efetivo do enrijecedor

$q$  é o comprimento da sobreposição, medido na face do banzo, entre as diagonais

$r$  é o raio de laminação; comprimento; parâmetro

$r_m$  é a distância do eixo do perfil tubular circular ao ponto médio da espessura do perfil circular

$r_w$  é a distância do eixo do perfil tubular circular ao ponto médio da espessura da garganta da solda

$s$  é a distância entre barras de armadura

$t$  é a espessura

$t_0$  é a espessura da parede de banzo em perfil tubular

$t_f$  é a espessura da parede do flange de perfil I ou H

$t_i$  é a espessura da parede de diagonal ou montante em perfil tubular ( $i = 1, 2, 3$ )

$t_p$  é a espessura da chapa de reforço

$t_{pv}$  é a espessura da placa de cisalhamento

$t_c$  é a espessura da chapa da ligação concêntrica

$t_{ch}$  é a espessura da chapa da ligação

$t_s$  é a espessura do enrijecedor

$t_w$  é a espessura da alma do perfil I ou H



$h_w$  é a altura da alma do perfil I ou H

$z$  é a distância

### 3.1.1.2 Letras romanas maiúsculas

$A$  é a área

$A_0$  é a área da seção transversal do banzo

$A_b$  é a maior dimensão em planta do bloco de fundação

$A_v$  é a área de cisalhamento

$A_g$  é a área bruta da seção transversal

$B_b$  é a menor dimensão em planta do bloco de fundação

$C_t$  é o coeficiente de redução usado no cálculo da área líquida efetiva

$E, E_a$  é o módulo de elasticidade do aço

$E_c$  é o módulo de elasticidade secante do concreto

$E_s$  é o módulo de elasticidade do aço da armadura do concreto

$(EI)_e$  é a rigidez efetiva à flexão de pilar misto

$F$  é a força; valor de ação

$F_{t,Rd}$  é a força de tração resistente de cálculo do parafuso

$F_{t,i,Sd}$  é a força de tração solicitante de cálculo em um chumbador

$G$  é o centro geométrico

$H_b$  é a altura do bloco de fundação

$I$  é o momento de inércia

$K_a$  é o fator de seção

$L$  é o comprimento da barra

$M$  é o momento fletor

$M_{0,Sd}$  é o momento fletor solicitante de cálculo na ligação

$M_{ip,ch,Rd}$  é o momento fletor resistente de cálculo, da chapa, no plano;

$M_{ip,ch,Sd}$  é o momento fletor solicitante de cálculo, da chapa, no plano;

$M_{ip,i,Rd}$  é o momento fletor resistente de cálculo de diagonal ou montante na ligação, no plano ( $i = 1, 2, 3$ )

$M_{ip,i,Sd}$  é o momento fletor solicitante de cálculo de diagonal ou montante na ligação, no plano ( $i = 1, 2, 3$ )



$M_{op, ch, Rd}$  é o momento fletor resistente de cálculo, da chapa, fora do plano;

$M_{op, ch, Sd}$  é o momento fletor solicitante de cálculo, da chapa, fora do plano.

$M_{op, i, Rd}$  é o momento fletor resistente de cálculo de diagonal ou montante na ligação, fora do plano ( $i = 1, 2, 3$ )

$M_{op, i, Sd}$  é o momento fletor solicitante de cálculo de diagonal ou montante na ligação, fora do plano ( $i = 1, 2, 3$ )

$M_{0, Sd}$  é o momento fletor solicitante de cálculo na ligação

$M_{pl, Rd}$  é o momento fletor de plastificação da seção transversal

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

$M_{x, Sd}$  é o momento fletor solicitante de cálculo em relação ao eixo x da seção transversal do pilar misto

$M_{y, Sd}$  é o momento fletor solicitante de cálculo em relação ao eixo y da seção transversal do pilar misto

$M_{x, Rd}$  é o momento fletor resistente de cálculo em relação ao eixo x da seção transversal do pilar misto

$M_{y, Rd}$  é o momento fletor resistente de cálculo em relação ao eixo y da seção transversal do pilar misto

$M_{pl, x, Rd}$  é o momento fletor de plastificação de cálculo em relação ao eixo x da seção transversal do pilar misto

$M_{pl, y, Rd}$  é o momento fletor de plastificação de cálculo em relação ao eixo y da seção transversal do pilar misto

$N$  é a força axial

$N_{c, Rd}$  é a força axial de compressão resistente de cálculo referente apenas à parcela do concreto

$N_{ch, Rd}$  é a força axial resistente de cálculo da chapa;

$N_{ch, Sd}$  é a força axial solicitante de cálculo da chapa;

$N_e$  é a força axial de flambagem elástica

$N_{i, Rd}$  é a força axial resistente de cálculo de diagonal ou montante na ligação ( $i = 1, 2, 3$ )

$N_{i, Sd}$  é a força axial solicitante de cálculo de diagonal ou montante na ligação ( $i = 1, 2, 3$ )

$N_{0, Sd}$  é a força axial solicitante de cálculo no banzo

$N_{op, Sd}$  é o valor de  $N_{0, Sd}$  excluindo as forças de cálculo dadas pelas componentes das diagonais projetadas no eixo longitudinal do banzo da ligação

$N_{pl, 0, Rd}$  é a força axial de plastificação da seção do banzo

$N_{Sd}$  é a força axial solicitante de cálculo

$Q$  é o fator de redução total associado à flambagem local

$Q_{al}$  é a força decorrente do efeito de alavanca

$R_u$  é a abertura da raiz

$S$  é o espaçamento da armadura

$V$  é a força cortante

$V_{0,Sd}$  é a força cortante solicitante de cálculo no banzo

$V_{pl,Rd}$  é a força cortante resistente de plastificação do banzo em perfil I ou H

$V_{pl,0,Rd}$  é a força cortante de plastificação da seção do banzo

$V_{Rd}$  é a força cortante resistente de cálculo

$V_{Rd,i}$  é a força cortante resistente de cálculo de um chumbador

$V_{Sd}$  é a força cortante solicitante de cálculo

$W$  é o módulo de resistência elástico

$W_0$  é o módulo de resistência elástico da seção transversal do banzo

### 3.1.1.3 Letras gregas minúsculas

$\alpha$  é um parâmetro

$\beta$  é um parâmetro

$\eta$  é um parâmetro

$\delta$  é um parâmetro

$\psi$  é o ângulo do diedro local

$\phi$  é o ângulo entre diagonais nas ligações multiplanares, diâmetro de barra de armadura

$\theta_i$  é o ângulo entre diagonal e banzo ( $i = 1, 2, 3$ )

$\gamma$  é a relação geométrica

$\gamma_a$  é o coeficiente de ponderação da resistência

$\gamma_n$  é o coeficiente de ajustamento

$\lambda_0$  é o índice de esbeltez reduzido

$\lambda_{ov}$  é um parâmetro relacionado às dimensões  $p$  e  $q$

$\mu$  é o fator de redução para ligações multiplanares, coeficiente de atrito entre a placa de base e a fundação

$\chi$  é o fator de redução associado à resistência à compressão



$\rho$  é um parâmetro; ângulo

$\sigma$  é a tensão normal

$\sigma_{0,Sd}$  é a máxima tensão de compressão de cálculo do banzo na superfície de contato com diagonais ou montantes

$\sigma_{0p,Sd}$  é a máxima tensão de compressão de cálculo do banzo na superfície de contato com as diagonais ou montantes, no lado oposto da ligação

$\sigma_{c,Sd}$  é a tensão de compressão solicitante de cálculo

$\sigma_{c,Rd}$  é a tensão de compressão resistente de cálculo

### 3.1.2 Símbolos subscritos

#### 3.1.2.1 Letras romanas minúsculas

b é um parafuso; chumbador; flexão

c é o concreto; compressão

ch é a chapa

d é a chapa de ligações flangeadas entre perfis tubulares circulares

eq é o equivalente

ef é o efetivo

f é a mesa de perfil I ou H, chapa de ligação flangeada, furo

g é a bruta

i é o número da diagonal ou montante (i = 1, 2, 3)

j é o número da diagonal ou montante sobrepostas (j = 1, 2, 3)

min é o mínimo

o é o oposto

p é a chapa de reforço, placa de base

pℓ é a plastificação

st é o enrijecedor

t é a tração

td é a tração do lado direito



te é a tração do lado esquerdo

u é a ruptura

w é a alma de perfil I ou H; solda

x é o relativo ao eixo x

y é o escoamento; relativo ao eixo y

### 3.1.2.2. Letras romanas maiúsculas

$R_d$  é a resistência de cálculo

$R_k$  é a resistência nominal

$S_d$  é a solicitante de cálculo

### 3.1.2.3 Números

0 - banzo

1, 2, 3 – diagonais e montantes, números sequenciais

## 3.2 Unidades

A maioria das expressões apresentadas nesta Norma possui homogeneidade dimensional. Em algumas expressões, as unidades são indicadas de acordo com o Sistema Internacional (SI).

## 4 Análise estrutural de treliças

**4.1** Esta Seção aplica-se à determinação de esforços solicitantes, deslocamentos e comprimentos de flambagem em treliças cujas ligações dos nós sejam projetadas conforme a Seção 6, exceto as que utilizam chapas.

**4.2** As forças axiais nas barras das treliças podem ser determinadas considerando que os nós sejam rotulados, desde que:

- as geometrias dos nós e barras estejam nas faixas de validade especificadas na Seção 6;
- a razão entre o comprimento, medido entre os nós, e a altura da seção transversal das barras no plano da treliça não seja inferior a 6.

**4.3** Atendidas as condições dadas em 4.2, as diagonais e os montantes podem ser considerados rotulados nos banzos e estes podem ser considerados rotulados nos nós ou como barras contínuas simplesmente apoiadas nos nós.

**4.4** Os momentos fletores resultantes das forças transversais aplicadas nas barras, entre os nós da treliça, devem ser levados em consideração no dimensionamento dessas barras. Nessa situação, os banzos devem ser considerados como barras contínuas simplesmente apoiadas nos nós.

**4.5** Os momentos fletores resultantes de excentricidade podem ser desprezados no dimensionamento das diagonais e montantes. No entanto, devem ser considerados no dimensionamento dos banzos e devem ser distribuídos entre as barras de cada lado do nó do banzo, com base em seus coeficientes de rigidez relativa,  $I/L$ ,

onde  $I$  é o momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo perpendicular ao plano da treliça, e  $L$  o comprimento da barra medido entre os nós. Essa distribuição pode ser feita diretamente, utilizando-se o modelo de análise apresentado na Figura 1.

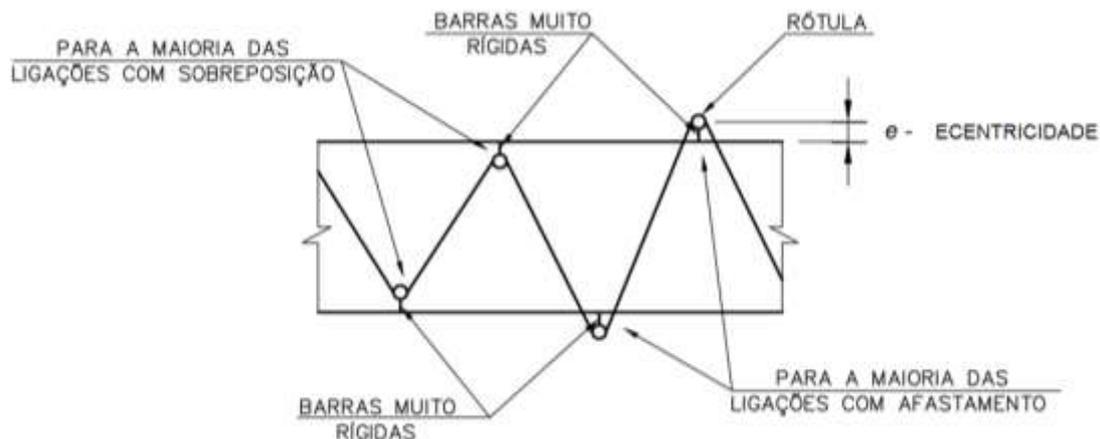


Figura 1 Modelo de análise

4.6 Os momentos fletores resultantes de excentricidades podem ser desprezados no dimensionamento de ligações se a excentricidade estiver dentro dos seguintes limites:

- $-0,55 d_0 \leq e \leq 0,25 d_0$ , para tubos circulares;
- $-0,55 h_0 \leq e \leq 0,25 h_0$ , para tubos retangulares.

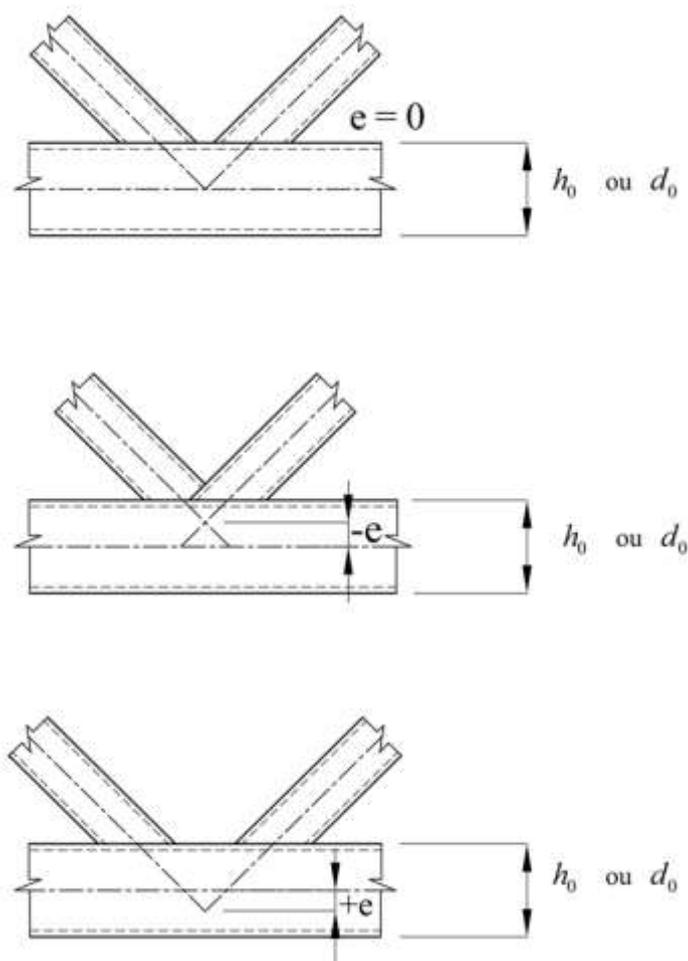
onde:

$e$  é a excentricidade, definida na Figura 2;

$d_0$  é o diâmetro do banzo;

$h_0$  é a altura da seção transversal do banzo no plano da treliça.

Caso contrário, esses momentos fletores devem ser considerados nas ligações.



**Figura 2 – Excentricidade das ligações**

**4.7** As tensões resultantes (ver 6.1.3.2) dos momentos fletores oriundos das forças transversais aplicadas nas barras, entre os nós da treliça, e os de excentricidade, fora dos limites dados em 4.6, devem ser consideradas na determinação dos fatores  $k_p$ ,  $k_n$  e  $k_m$ , dados nas Tabelas 3, 4 e 21, Tabelas 7 a 10 e Tabela 22, respectivamente.

**4.8** Nas treliças formadas apenas por perfis tubulares, mesmo com a consideração de que os nós sejam rotulados:

- o comprimento de flambagem dos banzos pode ser tomado igual a  $0,9 L$ , no plano e fora do plano, onde  $L$  é o comprimento da barra, medido entre os nós no plano e o comprimento entre duas contenções laterais fora do plano;
- se diagonais e montantes forem ligados aos banzos diretamente por meio de solda, em todo o seu perímetro, o comprimento de flambagem dessas barras, no plano e fora do plano, pode ser tomado igual a:

-  $0,90 L$  para  $\beta > 0,60$

-  $0,75 L$  para  $\beta \leq 0,60$

onde  $L$  é a distância entre nós e  $\beta$  é definido em 6.1.3.

Valores menores de comprimento de flambagem podem ser utilizados desde que justificados por análise.

## 5 Dimensionamento de barras tracionadas e comprimidas

O dimensionamento de barras submetidas à força axial de tração e compressão deve ser efetuado conforme as prescrições da ABNT NBR 8800. Porém, o coeficiente de redução da área líquida ( $C_t$ ) de barras tracionadas e o fator de redução de barras comprimidas ( $\chi$ ) podem ser determinados conforme 5.1 e 5.2, respectivamente.

### 5.1 Coeficiente de redução da área líquida em barras tracionadas

5.1.1 O coeficiente de redução da área líquida,  $C_t$ , para os perfis tubulares circulares e retangulares, com e sem costura, quando a força de tração for transmitida por meio de uma chapa de ligação concêntrica, pode ser dado por:

$$C_t = \left[ 1 + \left( \frac{e_c}{\ell_c} \right)^{3,2} \right]^{-10}$$

onde:

$t_c$  é a espessura da chapa de ligação concêntrica;

$e_c$  é a excentricidade da ligação, igual à distância do centro geométrico,  $G$ , a cada plano de cisalhamento da ligação (Figura 3);

$\ell_c$  é o comprimento efetivo da ligação (esse comprimento, nas ligações soldadas, é igual ao comprimento da solda na direção da força axial).



Figura 3 – Ilustração do valor de  $e_c$

5.1.2 As ligações entre a chapa concêntrica e o tubo devem ser executadas conforme a Figura 4. Devem ser atendidas, ainda, as seguintes relações:

a) nos perfis tubulares circulares:  $d/t \leq 45$ ;

b) nos perfis tubulares retangulares:  $h/t \leq 45$ , onde  $h$  é altura da seção transversal perpendicular à chapa de ligação.

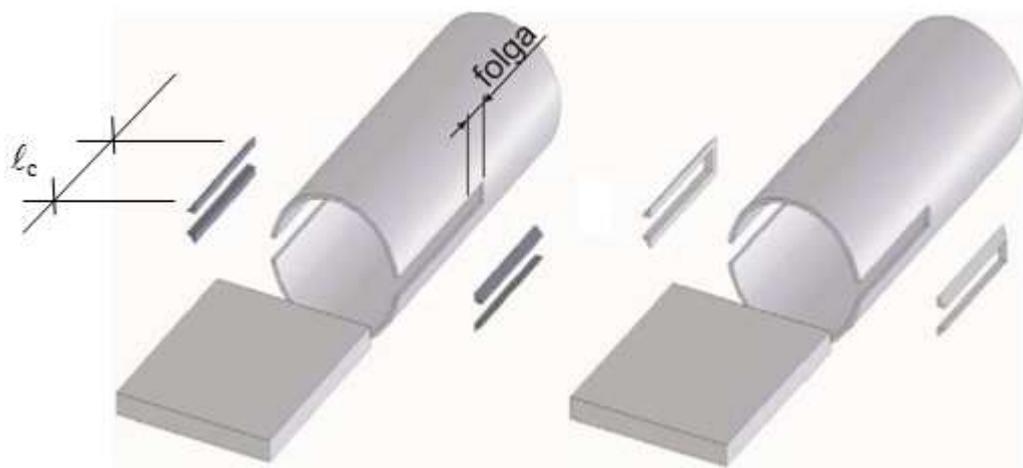


Figura 4 – Tipos de ligação entre a chapa de ligação e o perfil tubular

## 5.2 Fator de redução de barras comprimidas

O fator de redução associado à força axial de compressão resistente,  $\chi$ , para os perfis tubulares, laminados a quente (sem costura) ou tratados termicamente para alívio de tensões (com ou sem costura), pode ser dado por:

$$\chi = \frac{1}{(1 + \lambda_0^{4,48})^{1/2,24}}$$

onde  $\lambda_0$  é o índice de esbeltez reduzido dado por:

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q A_g f_y}{N_e}}$$

onde:

$A_g$  é a área bruta da seção transversal;

$N_e$  é a força axial de flambagem elástica, obtida conforme a ABNT NBR 8800;

$Q$  é o fator de redução total associado à flambagem local, obtido conforme a ABNT NBR 8800.

O valor de  $\chi$  pode ser também obtido da Tabela 1, para os casos em que  $\lambda_0$  não supere 3,0.

**Tabela 1 — Valor de  $\chi$  em função do índice de esbeltez  $\lambda_0$**

$\lambda_0$	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	$\lambda_0$
0,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,0
0,1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,1
0,2	1,000	1,000	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,998	0,2
0,3	0,998	0,998	0,997	0,997	0,996	0,996	0,995	0,995	0,994	0,993	0,3
0,4	0,993	0,992	0,991	0,990	0,989	0,988	0,987	0,985	0,984	0,982	0,4
0,5	0,981	0,979	0,977	0,975	0,973	0,971	0,968	0,966	0,963	0,961	0,5
0,6	0,958	0,955	0,952	0,948	0,945	0,941	0,938	0,934	0,930	0,925	0,6
0,7	0,921	0,917	0,912	0,907	0,902	0,897	0,892	0,886	0,881	0,875	0,7
0,8	0,869	0,864	0,858	0,851	0,845	0,839	0,832	0,826	0,819	0,812	0,8
0,9	0,805	0,799	0,792	0,784	0,777	0,770	0,763	0,756	0,748	0,741	0,9
1,0	0,734	0,727	0,719	0,712	0,704	0,697	0,690	0,682	0,675	0,668	1,0
1,1	0,660	0,653	0,646	0,639	0,632	0,625	0,617	0,610	0,604	0,597	1,1
1,2	0,590	0,583	0,576	0,570	0,563	0,556	0,550	0,544	0,537	0,531	1,2
1,3	0,525	0,519	0,513	0,507	0,501	0,495	0,489	0,483	0,478	0,472	1,3
1,4	0,467	0,461	0,456	0,451	0,445	0,440	0,435	0,430	0,425	0,420	1,4
1,5	0,416	0,411	0,406	0,402	0,397	0,393	0,388	0,384	0,379	0,375	1,5
1,6	0,371	0,367	0,363	0,359	0,355	0,351	0,347	0,344	0,340	0,336	1,6
1,7	0,333	0,329	0,326	0,322	0,319	0,315	0,312	0,309	0,306	0,302	1,7
1,8	0,299	0,296	0,293	0,290	0,287	0,284	0,281	0,279	0,276	0,273	1,8
1,9	0,270	0,268	0,265	0,262	0,260	0,257	0,255	0,252	0,250	0,248	1,9
2,0	0,245	0,243	0,241	0,238	0,236	0,234	0,232	0,229	0,227	0,225	2,0
2,1	0,223	0,221	0,219	0,217	0,215	0,213	0,211	0,209	0,208	0,206	2,1
2,2	0,204	0,202	0,200	0,199	0,197	0,195	0,194	0,192	0,190	0,189	2,2
2,3	0,187	0,185	0,184	0,182	0,181	0,179	0,178	0,176	0,175	0,174	2,3
2,4	0,172	0,171	0,169	0,168	0,167	0,165	0,164	0,163	0,161	0,160	2,4
2,5	0,159	0,158	0,156	0,155	0,154	0,153	0,152	0,150	0,149	0,148	2,5
2,6	0,147	0,146	0,145	0,144	0,143	0,142	0,141	0,140	0,138	0,137	2,6
2,7	0,136	0,135	0,134	0,134	0,133	0,132	0,131	0,130	0,129	0,128	2,7
2,8	0,127	0,126	0,125	0,124	0,123	0,123	0,122	0,121	0,120	0,119	2,8
2,9	0,118	0,118	0,117	0,116	0,115	0,115	0,114	0,113	0,112	0,111	2,9
3,0	0,111	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,0

## 6 Ligações

### 6.1 Generalidades

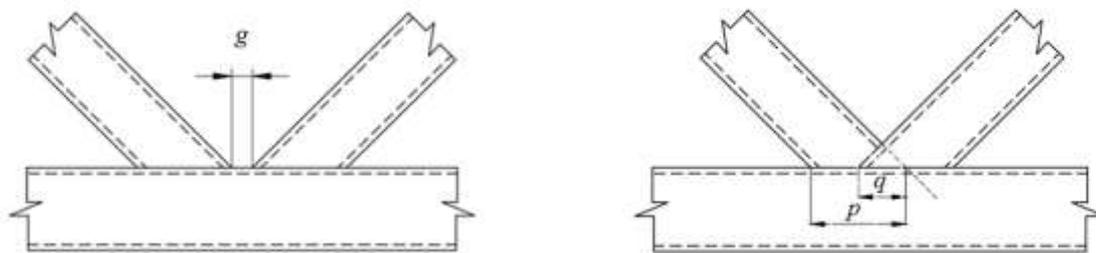
#### 6.1.1 Escopo

**6.1.1.1** Esta seção apresenta procedimentos para determinar a resistência de cálculo de ligações uniplanares e multiplanares em estruturas constituídas de perfis tubulares e de perfis de seção aberta com perfis tubulares. As chapas componentes das ligações devem ser dimensionadas de acordo com os conceitos e prescrições da ABNT NBR 8800.

**6.1.1.2** A resistência das ligações é expressa em termos de força axial resistente de cálculo ou momento fletor resistente de cálculo de diagonais, montantes ou chapas.

**6.1.1.3** As ligações das diagonais e montantes com os banzos podem ser com afastamento ou com sobreposição, conforme ilustra a Figura 5. Os tipos de ligações considerados são indicados na Figura 6.

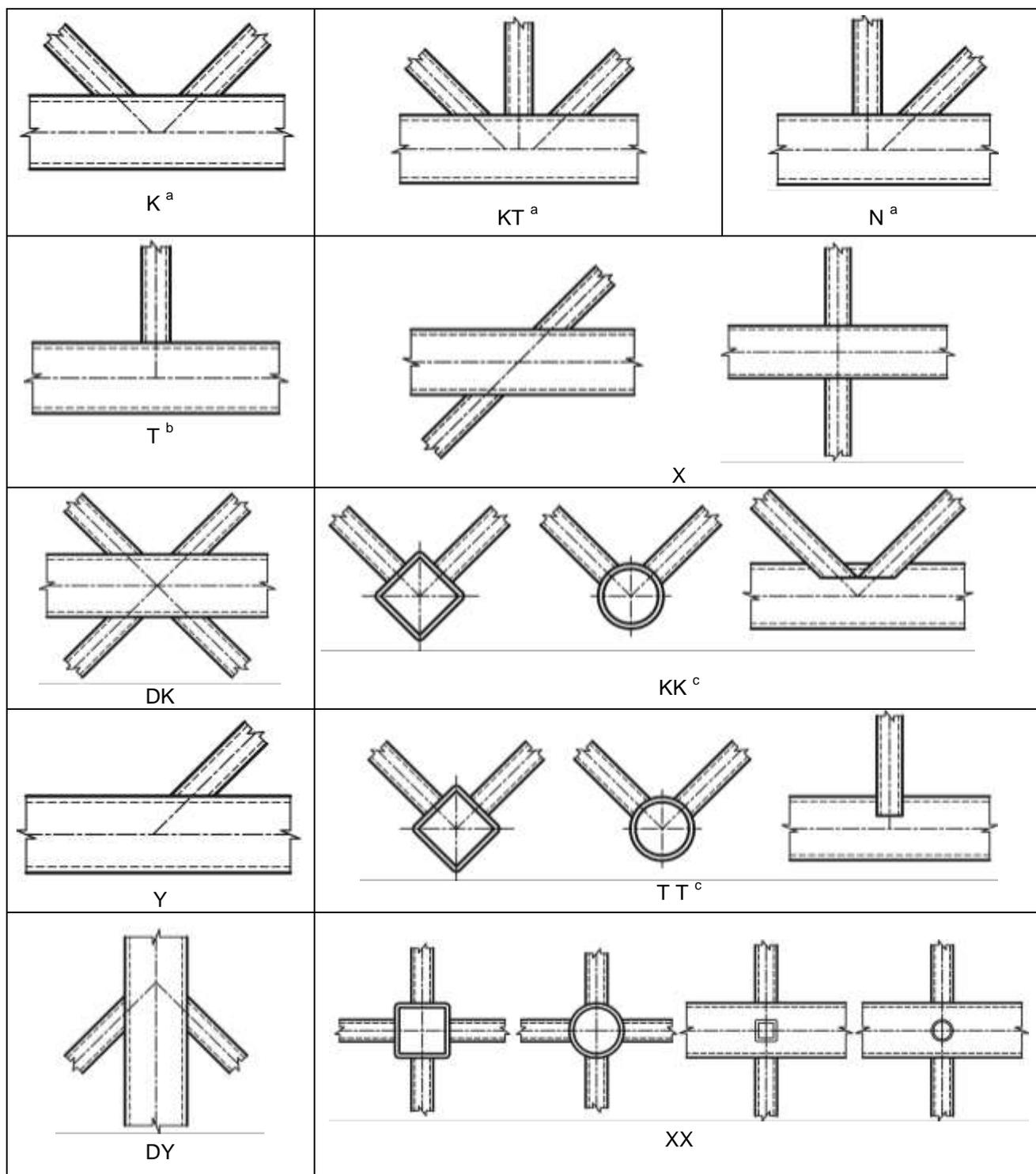
**6.1.1.4** Para efeito desta Norma, o termo banzo pode ser entendido também como um pilar ou elemento principal da ligação.



(a) Com afastamento

(b) Com sobreposição

**Figura 5 — Ligações com afastamento e com sobreposição**



<sup>a</sup> Se houver forças externas aplicadas no nó, cuja resultante perpendicular ao banzo (em módulo) seja superior a 20% da maior projeção perpendicular ao banzo (em módulo) das forças das diagonais ou montantes, a ligação deverá ser classificada como DK.

<sup>b</sup> Se houver forças externas aplicadas no nó, cuja resultante perpendicular ao banzo (em módulo) seja superior a 20% da maior projeção perpendicular ao banzo (em módulo) das forças das diagonais ou montantes, a ligação deverá ser classificada como X.

<sup>c</sup> Se houver forças externas aplicadas no nó, sua resultante perpendicular ao banzo (em módulo) não pode ser superior a 20% a maior projeção perpendicular ao banzo (em módulo) das forças das diagonais ou montantes.

Figura 6 — Tipos de ligações com perfis tubulares

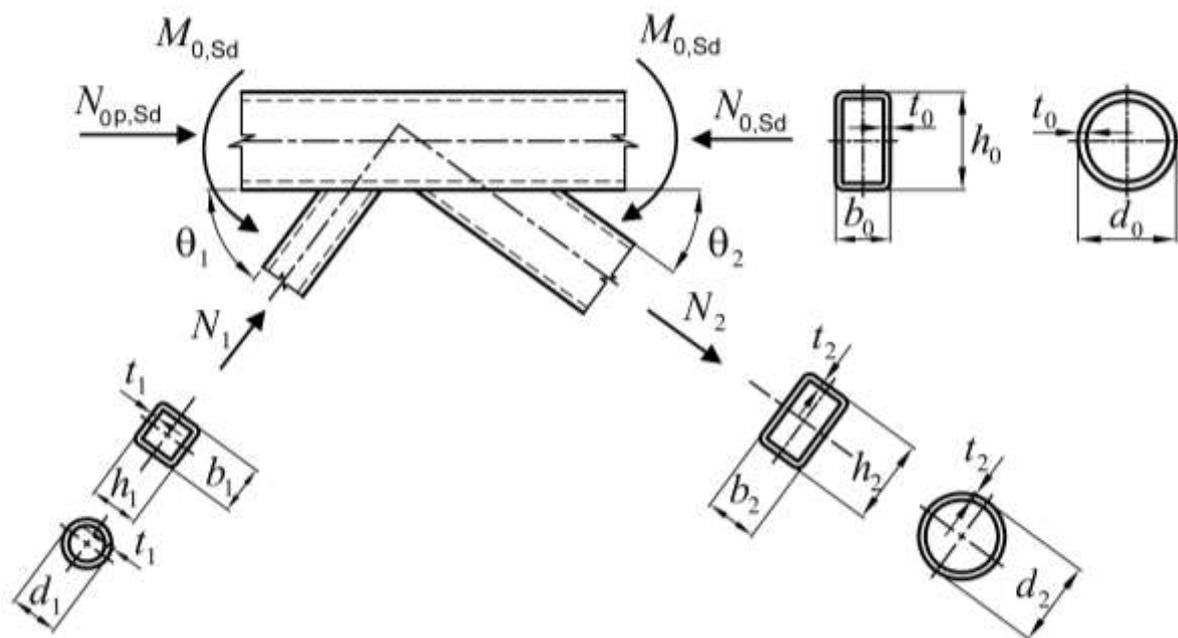
### 6.1.2 Requisitos necessários

Para que os procedimentos de cálculo apresentados nesta Seção sejam válidos, devem ser obedecidos os seguintes requisitos:

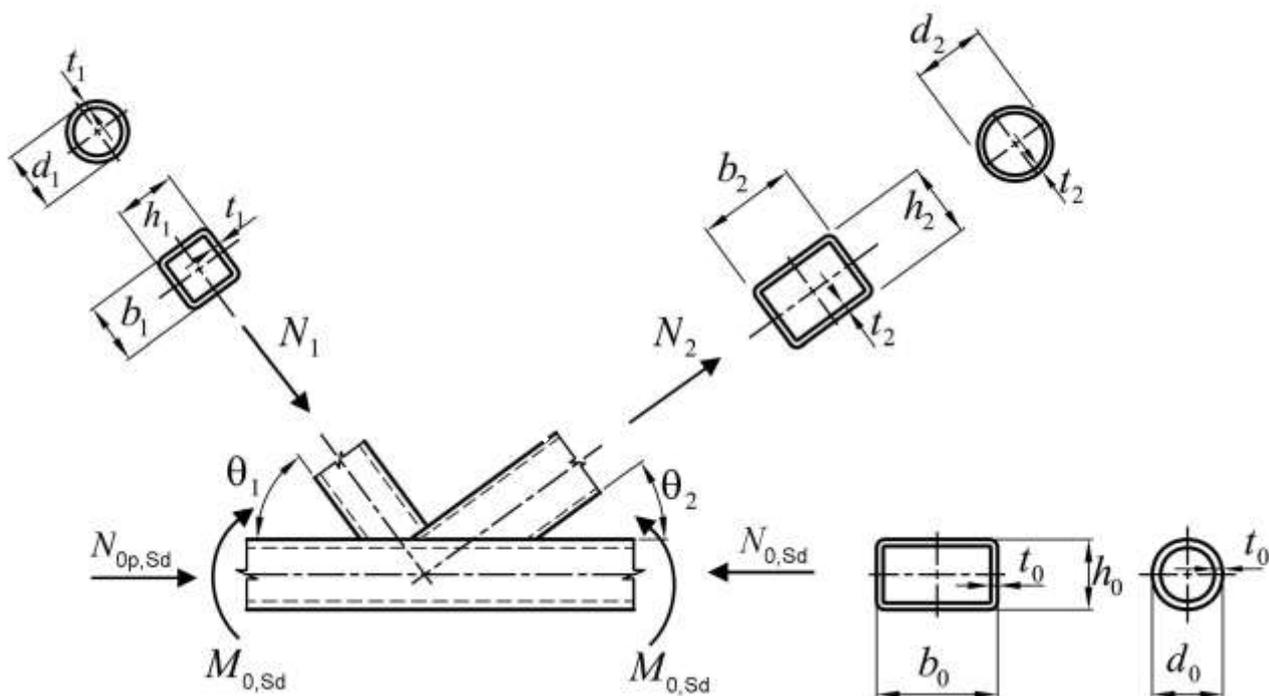
- a) os ângulos  $\theta_i$  entre o banzo e as diagonais e entre montantes e diagonais adjacentes não podem ser inferiores a  $30^\circ$ ;
- b) as extremidades dos tubos que se encontram em uma ligação devem ser preparadas de modo que a forma da seção transversal não seja modificada. Ligações de tubos com extremidades amassadas não são previstas;
- c) em ligações com afastamento (Figura 5-a)), visando a permitir soldagem adequada, a dimensão  $g$  deve ser igual ou superior à soma das espessuras das diagonais ou montantes ligados;
- d) em ligações com sobreposição (Figura 5-b)), a ligação deve ter dimensão suficiente para garantir a adequada transferência dos esforços de uma barra para a outra. Para isso, a razão entre a sobreposição  $q$  e a dimensão  $p$  deve ser maior ou igual a 0,25;
- e) quando as barras sobrepostas tiverem espessuras ou resistências ao escoamento diferentes, a barra com menor produto entre essas duas grandezas deve se sobrepor à outra;
- f) quando as barras sobrepostas tiverem larguras diferentes no plano da ligação, a barra com menor largura deve se sobrepor à mais larga;
- g) para perfis de aço com resistência ao escoamento superior a 350 MPa, a resistência de cálculo, dada nesta Seção, deve ser dividida, ainda, por um coeficiente de ajustamento,  $\gamma_n$ , igual a 1,1, com a exceção da resistência da solda, dada em 6.1.5 e no Anexo A;
- h) a espessura nominal da parede dos perfis tubulares não pode ser inferior a 2,5 mm.

### 6.1.3 Parâmetros e convenções

**6.1.3.1** Para as ligações tubulares uniplanares, são definidos os parâmetros e as convenções mostradas na Figura 7.



(a) Ligação com afastamento



(b) Ligação com sobreposição

Figura 7 – Parâmetros e convenções

6.1.3.2. As tensões  $\sigma_{0,Sd}$  ou  $\sigma_{p,Sd}$  no banzo de uma ligação são dadas por:

$$\sigma_{0,Sd} = \frac{N_{0,Sd}}{A_0} + \frac{M_{0,Sd}}{W_0} \quad \text{para banzos de perfil retangular}$$

$$\sigma_{0p,Sd} = \frac{N_{0p,Sd}}{A_0} + \frac{M_{0,Sd}}{W_0} \quad \text{para banzos de perfil circular}$$

onde:

$\sigma_{0,Sd}$  é a máxima tensão de compressão solicitante de cálculo no banzo em um determinado nó, causada pela força  $N_{0,Sd}$  e pelo momento  $M_{0,Sd}$ ;

$\sigma_{0p,Sd}$  é o valor de  $\sigma_{0,Sd}$ , excluindo-se as tensões provenientes das componentes das forças nas diagonais e montantes, paralelas ao eixo do banzo (ver a seguir a definição de  $N_{0p,Sd}$ );

$N_{0,Sd}$  é a força axial solicitante de cálculo no banzo que contribui para tensão  $\sigma_{0,Sd}$ ;

$N_{0p,Sd}$  é dada por:

$$N_{0p,Sd} = N_{0,Sd} - \sum N_{i,Sd} \cos \theta_i$$

$N_{i,Sd}$  e  $\theta_i$  são as forças axiais solicitantes de cálculo e suas inclinações, em relação ao eixo do banzo, das diagonais e montantes no nó;

$M_{0,Sd}$  é o momento fletor solicitante de cálculo na ligação;

$A_0$  é a área da seção transversal do banzo;

$W_0$  é o módulo de resistência elástico da seção transversal do banzo.

6.1.3.3. São definidos, ainda, os seguintes parâmetros:

a) relação entre o diâmetro médio ou largura da diagonal ou montante e o diâmetro ou a largura do banzo, representada por  $\beta$ , é dada por:

- para ligações T, Y ou X

$$\beta = \frac{d_1}{d_0} \quad \text{ou} \quad \beta = \frac{d_1}{b_0} \quad \text{ou} \quad \beta = \frac{b_1}{b_0}$$

- para ligações K e N

$$\beta = \frac{d_1 + d_2}{2d_0} \quad \text{ou} \quad \beta = \frac{d_1 + d_2}{2b_0} \quad \text{ou} \quad \beta = \frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4b_0}$$

- para ligações KT

$$\beta = \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3d_0} \quad \text{ou} \quad \beta = \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3b_0} \quad \text{ou} \quad \beta = \frac{b_1 + b_2 + b_3 + h_1 + h_2 + h_3}{6b_0}$$



b) relação entre a largura ou o diâmetro do banzo e duas vezes a sua espessura, representada por  $\gamma$ , e dada por:

$$\gamma = \frac{d_0}{2t_0} \text{ ou } \gamma = \frac{b_0}{2t_0} \text{ ou } \gamma = \frac{b_0}{2t_f}$$

c) relação, em porcentagem, entre as grandezas  $p$  e  $q$ , mostradas na figura 5-b, representada por  $\lambda_{ov}$ , e dada por:

$$\lambda_{ov} = 100 \left( \frac{q}{p} \right)$$

d) fator geométrico para ligação com banzo circular, representado por  $k_g$ , e dado por:

- para ligações com afastamento

$$k_g = \gamma^{0,2} \left( 1 + \frac{0,024\gamma^{1,2}}{1 + \exp(0,5g/t_0 - 1,33)} \right)$$

- para ligações com sobreposição

$$k_g = \gamma^{0,2} \left( 1 + \frac{0,024\gamma^{1,2}}{1 + \exp(-0,5q/t_0 - 1,33)} \right)$$

e) fator relacionado às tensões no banzo circular, representado por  $k_p$ , e dado por:

- para  $n_p < 0$

$$k_p = 1 + 0,3n_p - 0,3n_p^2$$

- para  $n_p \geq 0$

$$k_p = 1,0$$

onde

$$n_p = \sigma_{0p,Sd} / f_{y0}, \text{ considerando } \sigma_{0p,Sd} \text{ com o sinal negativo para compressão;}$$

f)  $k_n$  é um fator relacionado às tensões no banzo retangular

- para  $n < 0$

$$k_n = 1,3 + \frac{0,4n}{\beta} \leq 1,0$$

- para  $n \geq 0$

$$k_n = 1,0$$

onde

$n = \sigma_{0,Sd} / f_{y0}$ , considerando  $\sigma_{0,Sd}$  com o sinal negativo para compressão;

g)  $k_m$  é um fator relacionado às tensões no banzo retangular relacionadas a ligações com chapa de nó

- para  $n < 0$

$$k_m = 1,3 (1+n) \leq 1,0$$

- para  $n \geq 0$

$$k_m = 1,0$$

onde

$n = \sigma_{0,Sd} / f_{y0}$ , considerando  $\sigma_{0,Sd}$  com o sinal negativo para compressão

#### 6.1.4 Modos de falha

As capacidades resistentes de cálculo das ligações entre perfis tubulares e entre perfis tubulares e perfis de seção aberta são baseadas nos seguintes modos de falha:

Modo A – Plastificação da face ou de toda a seção transversal do banzo, junto a diagonais ou montantes;

Modo B – Plastificação, amassamento ou instabilidade da face lateral da seção transversal do banzo junto a diagonais ou montantes sob compressão;

Modo C – Plastificação ou instabilidade por cisalhamento do banzo, junto a diagonais ou montantes;

Modo D – Ruptura por punção da parede do banzo na área de contato com diagonais ou montantes;

Modo E – Ruptura ou plastificação na região da solda ou flambagem localizada de diagonais ou montantes devido a distribuição não uniforme de tensão;

Modo F – Flambagem localizada de diagonais ou montantes comprimidos ou do banzo, na região da ligação.

A Figura 8 ilustra os modos de falha para ligações entre banzo e diagonais ou montantes em perfis tubulares circulares, a Figura 9 para ligações entre banzo retangular e diagonais ou montantes em perfis tubulares retangulares ou circulares e a Figura 10 para ligações entre diagonais ou montantes em perfis tubulares circulares ou retangulares e banzos em perfil I ou H.

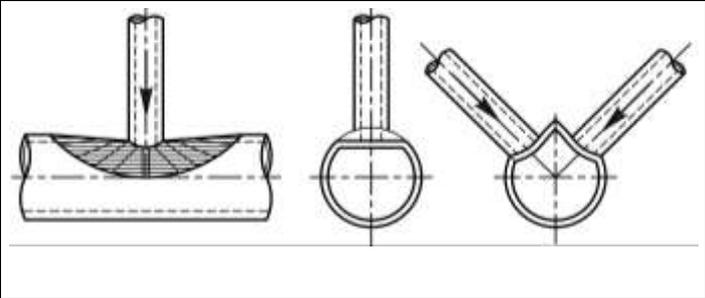
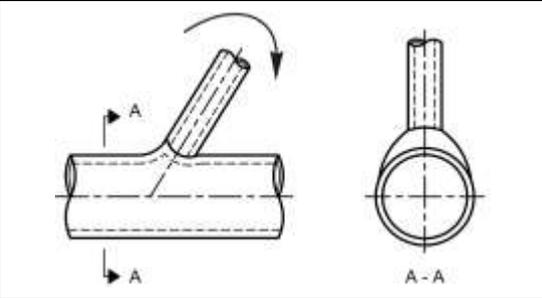
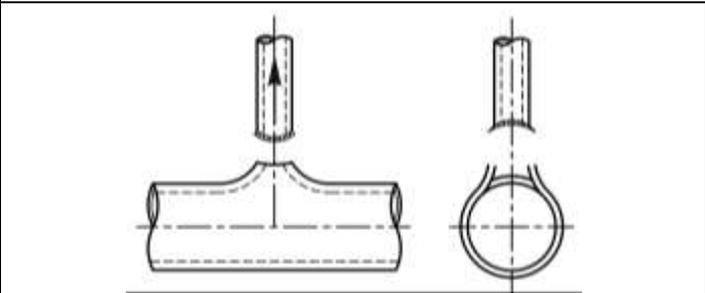
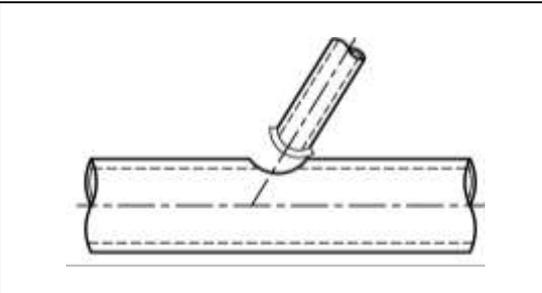
Modo	Força Axial	Momento Fletor
A		
D		

Figura 8 — Modos de falha em ligações entre perfis tubulares circulares

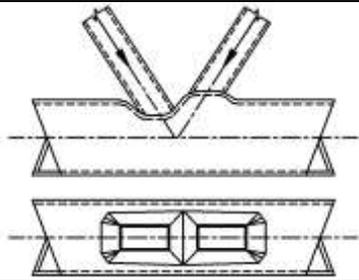
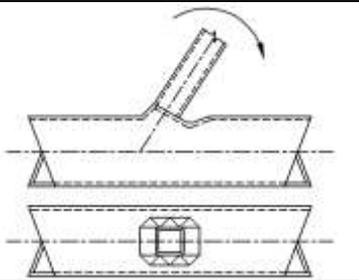
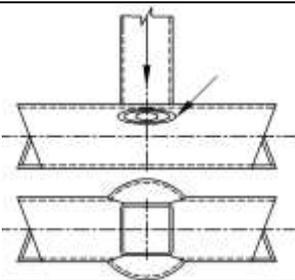
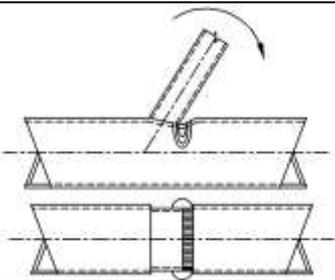
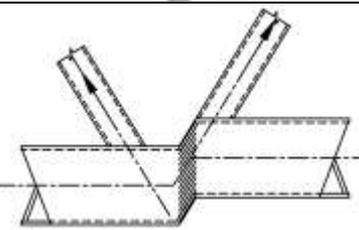
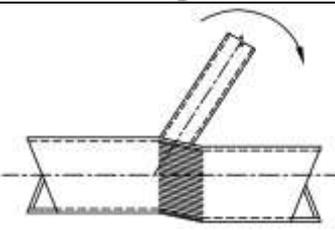
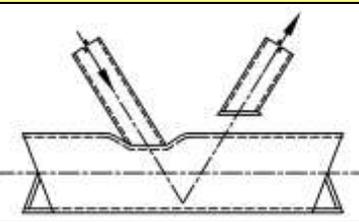
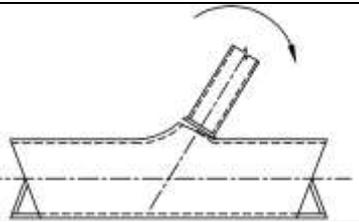
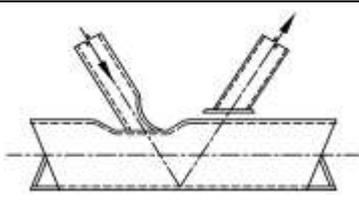
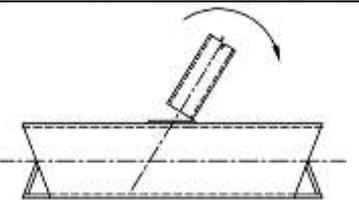
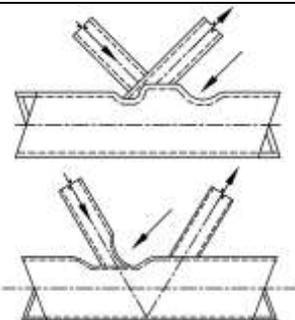
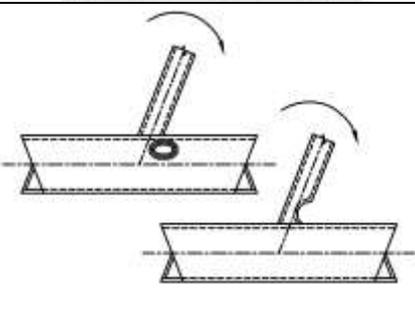
Modo	Força Axial	Momento Fletor
A		
B		
C		
D		
E		
F		

Figura 9 — Modos de falha em ligações entre perfis tubulares retangulares no banzo e circular ou retangular na diagonal ou montante

Modo	Força Axial	Momento Fletor
B		
C		
E		
F		

Figura 10 — Modos de falha em ligações entre diagonais de perfil tubular circular ou retangular e banzo de seção I ou H

### 6.1.5 Solda

**6.1.5.1** A força resistente de cálculo da solda deve ser determinada de acordo com a ABNT NBR 8800. Adicionalmente, devem ser obedecidas, quando aplicáveis, as prescrições do Anexo A.

**6.1.5.2** A solda deve ser executada em todo o perímetro do tubo, exceto em ligações parcialmente sobrepostas, onde a parte não visível da ligação não precisa ser soldada, desde que as forças nas diagonais e montantes sejam tais que suas projeções perpendiculares ao eixo do banzo não difiram em mais de 20% em módulo.

**6.1.5.3** A qualidade da solda depende fundamentalmente da concordância entre as superfícies dos tubos ligados. As extremidades dos tubos podem ser cortadas de maneira adequada, tanto por processos que se utilizam da geometria descritiva para obter um contato perfeito entre os elementos quanto por processos que utilizam métodos aproximados.

**6.1.5.4** Devido à diferença de rigidez relativa entre as paredes do tubo (banzo), carregadas transversalmente à sua superfície, e as barras carregadas axialmente (diagonais, montantes ou chapas), soldadas a elas, a tensão ao longo da área efetiva da solda é não uniforme, podendo levar ao estado-limite último, denominado falha ou ruptura progressiva da solda. Para que esse estado-limite não seja violado e que a ligação soldada tenha comportamento dúctil, uma das alternativas dadas em 6.1.5.5 e 6.1.5.6 deve ser adotada. O metal da solda deve atender às exigências de 6.2.4 da ABNT NBR 8800:2008. Para as chapas, caso a solda seja de filete ou de penetração parcial, ambas as faces da chapa devem ser soldadas ao banzo.

**6.1.5.5** A força resistente de cálculo da solda deve ser igual ou superior à força solicitante de cálculo do perfil (diagonal ou montante) ou da chapa, calculada conforme as prescrições da ABNT NBR 8800, porém considerando a área efetiva de acordo com A.3.1 e A.4.1. Não é permitido usar o procedimento dado em 6.2.5.2 da ABNT NBR 8800:2008, que considera o aumento de resistência da solda de filete, conforme o ângulo de atuação da força.

**6.1.5.6** A condição de ductilidade, exigida em 6.1.5.4, pode ser considerada atendida se a resistência de cálculo da solda por unidade de comprimento for igual ou superior à menor das resistências seguintes:

a) resistência local (punção ou cisalhamento da parede) do elemento principal (banzo) por unidade de comprimento do perímetro soldado da seção transversal do tubo (diagonal ou montante) ou da chapa;

b) resistência da seção transversal do tubo (diagonal ou montante) ou da chapa por unidade de comprimento do perímetro soldado.

**6.1.5.7** Nesta Norma, considera-se que a condição exigida em 6.1.5.6 seja atendida, sem necessidade de cálculos adicionais, se:

a) forem utilizadas as ligações pré-qualificadas do Anexo A ou

b) a espessura da garganta da solda de filete for igual ou superior a:

-  $1,0 t$  para  $f_y \leq 280$  MPa

-  $1,1 t$  para  $280 \text{ MPa} < f_y \leq 350$  MPa

-  $1,5 t$  para  $350 \text{ MPa} < f_y \leq 450$  MPa

onde  $t$  é a espessura do tubo (diagonal ou montante). Para chapa soldada ao banzo, submetida a força perpendicular à parede do banzo que passe pelo centro de gravidade da solda (filete duplo), a espessura da garganta efetiva de cada filete deve ser igual ou superior à metade dos valores acima. Nesse caso,  $t$  é a espessura da chapa.

## 6.2 Ligações soldadas entre perfis tubulares circulares

### 6.2.1 Requisitos necessários

A força resistente de cálculo das ligações deve ser tomada como o menor valor encontrado entre os modos de falha A e D, conforme 6.2.2 e 6.2.3, desde que sejam atendidas às seguintes condições:

a)  $0,2 \leq d_i / d_0 \leq 1,0$ , para todas as ligações;

b)  $10,0 \leq d_0 / t_0 \leq 50,0$ , para todas as ligações, exceto tipo X;

- c)  $10,0 \leq d_0 / t_0 \leq 40,0$ , para ligação tipo X;
- d)  $10,0 \leq d_i / t_i \leq 50,0$ , para todas as ligações;
- e) os perfis devem ser compactos, conforme a ABNT NBR 8800.

## 6.2.2 Ligações uniplanares

**6.2.2.1** Nas ligações de diagonais ou montantes, a força axial resistente de cálculo,  $N_{i,Rd}$ , deve ser obtida das Tabelas 2, 3 ou 5, a que for aplicável. Nas Tabelas 2 e 3, deve-se ter  $N_{i,Sd} \leq N_{i,Rd}$ . Nos casos especiais da Tabela 5, devem ser obedecidos os critérios de cálculo específicos apresentados.

**6.2.2.2** As ligações de diagonais ou montantes das Tabelas 3, sujeitas a combinação de força axial e momento fletor, devem atender à seguinte condição:

$$\frac{N_{i,Sd}}{N_{i,Rd}} + \left[ \frac{M_{ip,i,Sd}}{M_{ip,i,Rd}} \right]^2 + \frac{M_{op,i,Sd}}{M_{op,i,Rd}} \leq 1,0$$

onde:

$N_{i,Rd}$  é a força axial resistente de cálculo da diagonal ou montante;

$N_{i,Sd}$  é a força axial solicitante de cálculo da diagonal ou montante;

$M_{ip,i,Rd}$  é o momento fletor resistente de cálculo, da diagonal ou montante, no plano;

$M_{ip,i,Sd}$  é o momento fletor solicitante de cálculo, da diagonal ou montante, no plano;

$M_{op,i,Rd}$  é o momento fletor resistente de cálculo, da diagonal ou montante, fora do plano;

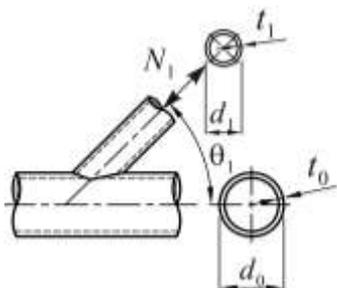
$M_{op,i,Sd}$  é o momento fletor solicitante de cálculo, da diagonal ou montante, fora do plano.

**6.2.2.3** Os momentos fletores solicitantes de cálculo  $M_{ip,i,Sd}$  e  $M_{op,i,Sd}$  podem ser obtidos no ponto onde os eixos das diagonais ou montantes encontram a face do banzo.

**6.2.2.4** O momento fletor resistente de cálculo no plano,  $M_{ip,i,Rd}$ , e o momento fletor resistente de cálculo fora do plano,  $M_{op,i,Rd}$ , devem ser obtidos das Tabelas 3 ou 4, a que for aplicável.

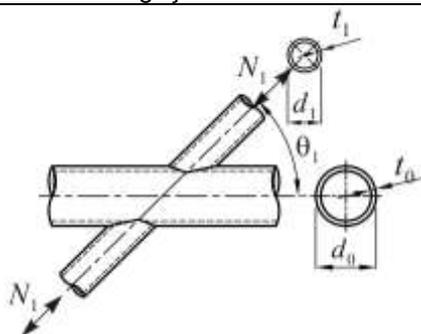
Tabela 2 — Força axial resistente de cálculo de ligações soldadas entre perfis tubulares circulares

Modo de falha A – Ligações T e Y (ver observação (b) Figura 6)



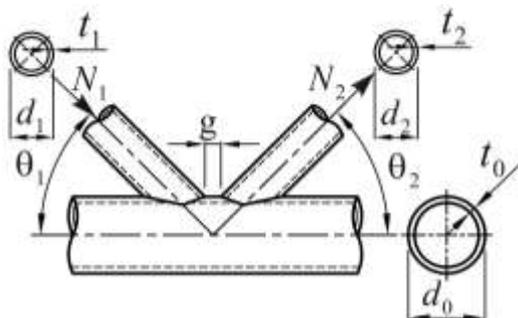
$$N_{1,Rd} = \frac{\gamma^{0,2} k_p f_{y0} t_0^2}{\text{sen}\theta_1} (3,08 + 15,62\beta^2) / \gamma_{al}$$

Modo de falha A – Ligações X



$$N_{1,Rd} = \frac{k_p f_{y0} t_0^2}{\text{sen}\theta_1} \frac{5,72}{(1 - 0,81\beta)} / \gamma_{al}$$

Modo de falha A – Ligações K e N com afastamento e com sobreposição (ver observação (a) Figura 6)



$$N_{1,Rd} = \frac{k_g k_p f_{y0} t_0^2}{\text{sen}\theta_1} \left( 1,98 + 11,22 \frac{d_1}{d_0} \right) / \gamma_{al}$$

$$N_{2,Rd} = \frac{\text{sen}\theta_1}{\text{sen}\theta_2} N_{1,Rd}$$

Modo de falha D – Ligações K, N e KT com afastamento e todas as T, Y e X [i = 1, 2 ou 3]

Quando  $d_i \leq d_0 - 2t_0$ :  $N_{i,Rd} = 0,66 f_{y0} t_0 \pi d_i \left( \frac{1 + \text{sen}\theta_i}{2 \text{sen}^2 \theta_i} \right) / \gamma_{al}$

Fatores  $k_g$  e  $k_p$

$$k_g = \gamma^{0,2} \left( 1 + \frac{0,024 \gamma^{1,2}}{1 + \exp(0,5g/t_0 - 1,33)} \right), \text{ para ligações com afastamento}$$

$$k_g = \gamma^{0,2} \left( 1 + \frac{0,024 \gamma^{1,2}}{1 + \exp(-0,5q/t_0 - 1,33)} \right), \text{ para ligações com sobreposição}$$

Para  $n_p < 0$ :  $k_p = 1 + 0,3n_p - 0,3n_p^2$

Para  $n_p \geq 0$ :  $k_p = 1,0$

onde  $n_p = \sigma_{0pSd} / f_{y0}$ , considerando  $\sigma_{0pSd}$  com o sinal negativo para compressão

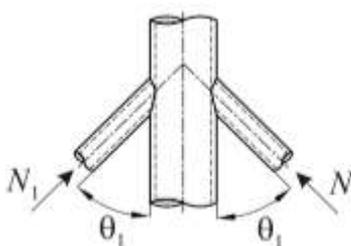
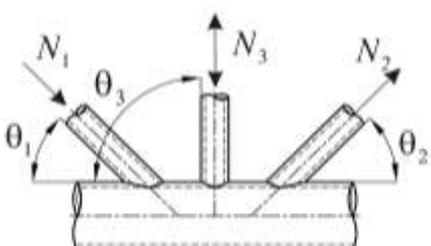
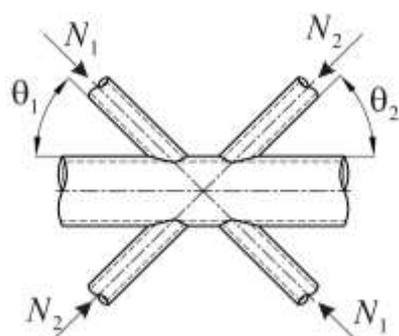
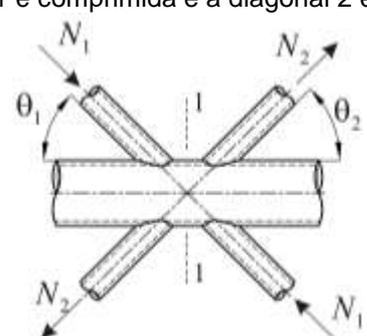
Tabela 3 — Força axial e momento fletor resistentes de cálculo das ligações soldadas entre montantes de perfil I, H ou tubular retangular e banzos de perfil tubular circular

Modo de falha A	
	$N_{1,Rd} = k_p f_{y0} t_0^2 (4,4 + 22\beta^2) (1 + 0,25\eta) / \gamma_{al}$ $M_{ip,1,Rd} = h_1 N_{1,Rd} / (1 + 0,25\eta)$ $M_{op,1,Rd} = 0,5 b_1 N_{1,Rd}$ (ver observação (b) Figura 6)
	$N_{1,Rd} = \frac{5,5 k_p f_{y0} t_0^2}{1 - 0,81\beta} (1,0 + 0,25\eta) / \gamma_{al}$ $M_{ip,1,Rd} = h_1 N_{1,Rd} / (1 + 0,25\eta)$ $M_{op,1,Rd} = 0,5 b_1 N_{1,Rd}$
	$N_{1,Rd} = k_p f_{y0} t_0^2 (4,4 + 22\beta^2) (1 + 0,25\eta) / \gamma_{al}$ $M_{ip,1,Rd} = h_1 N_{1,Rd}$ $M_{op,1,Rd} = 0,5 b_1 N_{1,Rd}$ (ver observação (b) Figura 6)
	$N_{1,Rd} = \frac{5,5 k_p f_{y0} t_0^2}{(1 - 0,81\beta)} (1,0 + 0,25\eta) / \gamma_{al}$ $M_{ip,1,Rd} = h_1 N_{1,Rd}$ $M_{op,1,Rd} = 0,5 b_1 N_{1,Rd}$
Modo de falha D	
Seção I ou H: $\sigma_{\max} t_1 = (N_{Sd} / A + M_{Sd} / W) t_1 \leq 2,2 t_0 (0,60 f_{y0}) / \gamma_{al}$ Seção tubular retangular $\sigma_{\max} t_1 = (N_{Sd} / A + M_{Sd} / W) t_1 \leq 1,1 t_0 (0,60 f_{y0}) / \gamma_{al}$	
Faixa de validade	Fator $k_p$
Adicionalmente a 6.2.1, devem ser observados os limites: $\beta \geq 0,4$ e $\eta \leq 4$ onde $\beta = b_1 / d_o$ e $\eta = h_1 / d_o$	Para $n_p < 0$ : $k_p = 1 + 0,3 n_p - 0,3 n_p^2$ Para $n_p \geq 0$ : $k_p = 1,0$ onde $n_p = \sigma_{op,Sd} / f_{y0}$ e $\sigma_{op,Sd}$ deve ser determinada considerando o sinal negativo para compressão

Tabela 4 — Momento fletor resistente de cálculo das ligações soldadas entre montantes e banzos de perfil tubular circular

<b>Modo de falha A – ligações T, X, e Y</b>	
	$M_{ip,1Rd} = 5,34 \frac{f_{y0} t_0^2 d_1}{\text{sen} \theta_1} \sqrt{\gamma} \beta k_p / \gamma_{al}$
<b>Modo de falha A – ligações K, N, T, X e Y</b>	
	$M_{op,1Rd} = \frac{f_{y0} t_0^2 d_1}{\text{sen} \theta_1} \frac{2,97}{1 - 0,81 \beta} k_p / \gamma_{al}$
<b>Modo de falha D – Ligações K e N com afastamento e todas as T, Y e X</b>	
Quando $d_1 \leq d_0 - 2t_0$ :	
$M_{ip,1Rd} = 0,60 f_{y0} t_0 d_1^2 \frac{1,1 + 3,3 \text{sen} \theta_1}{4 \text{sen}^2 \theta_1} / \gamma_{al}$	
$M_{op,1Rd} = 0,60 f_{y0} t_0 d_1^2 \frac{3,3 + 1,1 \text{sen} \theta_1}{4 \text{sen}^2 \theta_1} / \gamma_{al}$	
<b>Fator <math>k_p</math></b>	
Para $n_p < 0$ : $k_p = 1 + 0,3n_p - 0,3n_p^2$	
Para $n_p \geq 0$ : $k_p = 1,0$	
onde $n_p = \sigma_{0p,Sd} / f_{y0}$ e $\sigma_{0p,Sd}$ deve ser determinada considerando o sinal negativo para compressão	

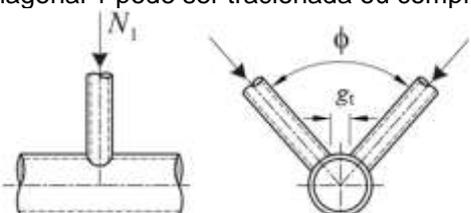
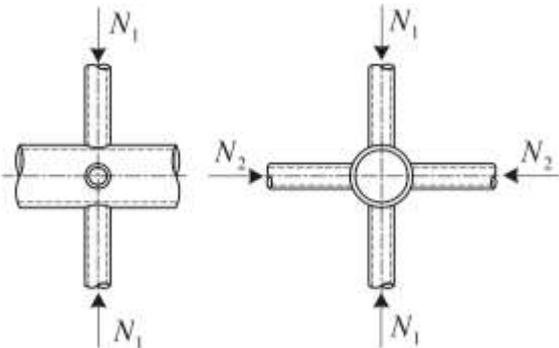
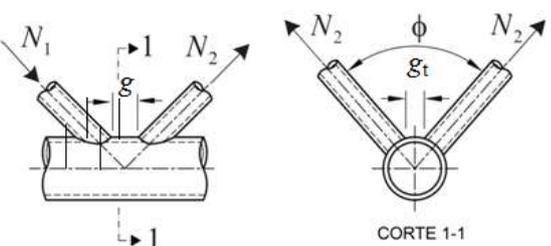
**Tabela 5 — Critério de cálculo para casos especiais de ligações uniplanares soldadas entre diagonais e banzos de perfis tubulares circulares**

Tipo de ligação	Critério de cálculo
<p>DY</p> <p>As forças podem ser de tração ou compressão, mas devem ter sempre o mesmo sentido</p> 	$N_{1,Sd} \leq N_{1,Rd}$ <p>em que <math>N_{1,Rd}</math> é o valor de <math>N_{1,Rd}</math> para ligação X dado na Tabela 2</p>
<p>KT</p> <p>A diagonal 1 é comprimida e a diagonal 2 é tracionada</p> 	$N_{1,Sd} \sin \theta_1 + N_{3,Sd} \sin \theta_3 \leq N_{1,Rd} \sin \theta_1$ $N_{2,Sd} \sin \theta_2 \leq N_{1,Rd} \sin \theta_1$ <p>onde <math>N_{1,Rd}</math> é o valor de <math>N_{1,Rd}</math> para uma ligação K da Tabela 2, mas com <math>\frac{d_1}{d_0}</math> substituída por: <math>\frac{d_1 + d_2 + d_3}{3d_0}</math></p> <p>(ver observação (a) Figura 6)</p>
<p>DK</p> <p>As forças das diagonais devem ter sempre o mesmo sentido</p> 	$N_{1,Sd} \sin \theta_1 + N_{2,Sd} \sin \theta_2 \leq k_p f_{y0} t_0^2 \frac{5,72}{(1 - 0,81\beta)} / \gamma_{a1}$
<p>A diagonal 1 é comprimida e a diagonal 2 é tracionada</p> 	$N_{1,Sd} \leq N_{1,Rd}$ <p>onde <math>N_{i,Rd}</math> é o valor para uma ligação K da Tabela 2, desde que, em uma ligação com afastamento, na seção 1-1 se tenha:</p> $\left[ \frac{N_{0,Sd}}{N_{pl,0Rd}} \right]^2 + \left[ \frac{V_{0,Sd}}{V_{pl,0Rd}} \right]^2 \leq 1,0$ <p>com <math>V_{0,Sd} = N_1 \sin \theta_1 + N_2 \sin \theta_2</math>, e</p> $V_{pl,0Rd} = 0,30 A_0 f_{y0} / \gamma_{a1}$

### 6.2.3 Ligações multiplanares

As resistências de cálculo para cada plano de ligação multiplanar devem ser determinadas aplicando-se o fator de redução  $\mu$  apropriado, dado na Tabela 6, às resistências correspondentes das ligações uniplanares, calculadas de acordo com 6.2.2.

**Tabela 6 — Fatores de redução para ligações multiplanares**

Tipo de ligação	Fator de redução $\mu$
<p>TT (ver observação (c) Figura 6)</p> <p>A diagonal 1 pode ser tracionada ou comprimida</p> 	<p><math>60^\circ \leq \phi \leq 90^\circ</math></p> <p><math>\mu = 1,0</math></p>
<p>XX</p>  <p>As diagonais 1 e 2 podem ser comprimidas ou tracionadas. <math>N_{2,Sd} / N_{1,Sd}</math> é negativo se uma diagonal está tracionada e a outra comprimida</p>	<p><math>\mu = 1,0 + 0,33N_{2,Sd} / N_{1,Sd}</math></p> <p>levando em conta o sinal de <math>N_{1,Sd}</math> e <math>N_{2,Sd}</math>, onde</p> <p><math> N_{2,Sd}  \leq  N_{1,Sd} </math></p>
<p>KK (ver observação (c) Figura 6)</p> <p>A diagonal 1 é sempre comprimida e a diagonal 2 é sempre tracionada.</p> 	<p><math>60^\circ \leq \phi \leq 90^\circ</math></p> <p><math>\mu = 0,9</math></p> <p>desde que, em ligação com afastamento, na seção 1-1 a seguinte equação seja satisfeita:</p> $\left[ \frac{N_{0,Sd}}{N_{pl,0,Rd}} \right]^2 + \left[ \frac{V_{0,Sd}}{V_{pl,0,Rd}} \right]^2 \leq 1,0$ <p>com <math>V_{0,Sd} = 2N_1 \text{sen} \theta_1 \cos \left( \frac{\phi}{2} \right)</math> ou</p> <p><math>V_{0,Sd} = 2N_2 \text{sen} \theta_2 \cos \left( \frac{\phi}{2} \right)</math>, o que for maior, e</p> <p><math>V_{pl,0,Rd} = 0,30A_0 f_{y0} / \gamma_{a1}</math></p> <p>onde <math>\theta_i</math> é o ângulo no plano formado pela diagonal e o banzo (<math>i=1</math> ou <math>2</math>)</p>

### 6.3 Ligações soldadas entre perfis tubulares circulares ou retangulares com bantos de perfis tubulares retangulares

#### 6.3.1 Requisitos necessários

A força resistente de cálculo das ligações deve ser tomada como o menor valor encontrado entre os modos de falha “A” até “F”, conforme 6.3.2 e 6.3.3, desde que sejam atendidas às condições da Tabela 7.

**Tabela 7 — Condições de validade de ligações soldadas entre diagonais e montantes de perfis tubulares circulares ou retangulares e bantos de perfis tubulares retangulares**

Perfil das diagonais ou montantes e tipo de ligação	Condições de validade									
	Compressão	Tração	Tração ou compressão							
Retangular T, Y ou X	$\frac{b_i}{t_i} \leq \begin{cases} 36 \\ 1,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \end{cases}$	$\frac{b_i}{b_0} \geq 0,25$	$\frac{b_0}{t_0} \leq \begin{cases} 36 \\ 1,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \end{cases}$	$\frac{h_0}{t_0} \leq \begin{cases} 36 \\ 1,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \end{cases}$	-					
Retangular K e N com afastamento						$\frac{b_i}{t_i} \leq 35$ $\frac{h_i}{t_i} \leq 35$	$\frac{b_i}{b_0} \geq \begin{cases} 0,35 \\ 0,1 + 0,01 \frac{b_0}{t_0} \end{cases}$	$\frac{b_0}{t_0} \leq \begin{cases} 36 \\ 1,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \end{cases}$ $\frac{h_0}{t_0} \leq \begin{cases} 36 \\ 1,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \end{cases}$	$\frac{g}{b_0} \leq 1,5(1-\beta)$ $\frac{g}{b_0} \geq 0,5(1-\beta)$	$0,5 \leq \frac{h_0}{b_0} \leq 2,0$ $0,5 \leq \frac{h_i}{b_i} \leq 2,0$
Retangular K e N com sobreposição						$\frac{b_i}{t_i} \leq 1,10 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ $\frac{h_i}{t_i} \leq 1,10 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	$\frac{b_i}{b_0} \geq 0,25$	$\frac{b_0}{t_0} \leq \begin{cases} 36 \\ 1,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \end{cases}$ $\frac{h_0}{t_0} \leq \begin{cases} 36 \\ 1,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \end{cases}$	$\lambda_{ov} \geq 25\%$ $\lambda_{ov} \leq 100\%$ $\frac{b_i}{b_j} \geq 0,75^d$	
Circular	$\frac{d_i}{t_i} \leq 0,05 \frac{E}{f_y}$	$\frac{d_i}{t_i} \leq 50$	$0,4 \leq \frac{d_i}{b_0} \leq 0,8$	$\frac{d_0}{t_0} \leq \begin{cases} 50 \\ 0,05 \frac{E}{f_y} \end{cases}$	Conforme acima, substituindo $b_i$ por $d_i$ e $b_j$ por $d_j$ , onde aplicável.					

<sup>a</sup> Se  $\frac{g}{b_0} > 1,5(1-\beta)$  e  $g > t_1 + t_2$ , tratar a ligação como duas ligações T separadas ou como duas ligações Y separadas.

<sup>b</sup> A sobreposição pode ser aumentada para permitir que a extremidade da barra sobreposta seja soldada no banto.

<sup>c</sup>  $\lambda_{ov}$  igual a  $100 \frac{g}{p}$  (ver Figura 5).

<sup>d</sup> Nas ligações com sobreposição, i = diagonais ou montantes subpostas, j = diagonais ou montantes sobrepostas.

### 6.3.2 Ligações Uniplanares

#### 6.3.2.1 Ligações sem reforço

**6.3.2.1.1** Para ligações soldadas entre diagonais ou montantes de perfis tubulares quadrados ou circulares e banzos de perfis tubulares quadrados, obedecidas as condições adicionais dadas na Tabela 8, a força axial resistente de cálculo,  $N_{i,Rd}$ , deve ser obtida da Tabela 9.

**6.3.2.1.2** Para ligações soldadas entre diagonais ou montantes de perfis tubulares retangulares ou circulares e banzos de perfis tubulares retangulares, a força axial resistente de cálculo,  $N_{i,Rd}$ , deve ser obtida das Tabelas 6.8 a 6.10, a que for aplicável. Nos casos especiais das Tabelas 9 e 11, devem ser obedecidos os critérios específicos de cálculo apresentados.

**6.3.2.1.3** As ligações de diagonais ou montantes das Tabelas 13 a 14 sujeitas a combinação de força axial e momento fletor devem satisfazer à seguinte condição:

$$\frac{N_{1,Sd}}{N_{1,Rd}} + \frac{M_{ip,i,Sd}}{M_{ip,i,Rd}} + \frac{M_{op,i,Sd}}{M_{op,i,Rd}} \leq 1,0$$

**6.3.2.1.4** Os momentos solicitantes de cálculo  $M_{ip,i,Sd}$  e  $M_{op,i,Sd}$  podem ser obtidos no ponto onde os eixos das diagonais ou montantes encontram a face do banzo.

**6.3.2.1.5** O momento resistente de cálculo no plano,  $M_{ip,i,Rd}$ , e o momento resistente de cálculo fora do plano,  $M_{op,i,Rd}$ , devem ser obtidos das Tabelas 12, a que for aplicável.

**Tabela 8 — Condições adicionais para o uso da Tabela 9**

Tipos de perfis	Tipo de ligações	Parâmetros de ligações	
Perfis tubulares quadrados	T, Y ou X	$\frac{b_1}{b_0} \leq 0,85$	$\frac{b_0}{t_0} \geq 10$
	K e N com afastamento	$0,6 \leq \frac{b_1 + b_2}{2b_1} \leq 1,3$	$\frac{b_0}{t_0} \geq 15$
Perfis tubulares circulares	T, Y ou X	-	$\frac{b_0}{t_0} \geq 10$
	K e N com afastamento	$0,6 \leq \frac{d_1 + d_2}{2d_1} \leq 1,3$	$\frac{b_0}{t_0} \geq 15$

Tabela 9 — Força axial resistente de cálculo de ligações soldadas entre diagonais ou montantes de perfis tubulares circulares ou quadrados e banzos de perfis tubulares quadrados

<b>Modo de falha A – Ligações T, Y e X</b>		$\beta \leq 0,85$
	$N_{1,Rd} = \frac{k_n f_{y0} t_0^2}{(1-\beta) \text{sen}\theta_1} \left( \frac{2,2\beta}{\text{sen}\theta_1} + 4,4\sqrt{1-\beta} \right) / \gamma_{al}$	
<b>Modo de falha A – Ligações K e N com afastamento (ver observação (a) Figura 6)</b>		$\beta \leq 1,0$
	$N_{1,Rd} = \frac{9,79\gamma^{0,5} k_n f_{y0} t_0^2}{\text{sen}\theta_1} \left( \frac{b_1 + b_2}{2b_0} \right) / \gamma_{al}$ $N_{2,Rd} = \frac{\text{sen}\theta_1}{\text{sen}\theta_2} N_{1,Rd}$	
<b>Modo de falha E – Ligações K e N com sobreposição<sup>a</sup> (ver observação (a) Figura 6)</b>		
	Para $25\% \leq \lambda_{ov} < 50\%$	
	$N_{1,Rd} = 1,1 f_{y1} t_1 \left( b_{ef} + b_{e,ov} + \frac{\lambda_{ov}}{50} (2h_1 - 4t_1) \right) / \gamma_{al}$	
	Para $50\% \leq \lambda_{ov} < 80\%$	
	$N_{1,Rd} = 1,1 f_{y1} t_1 (b_{ef} + b_{e,ov} + 2h_1 - 4t_1) / \gamma_{al}$	
	Para $\lambda_{ov} \geq 80\%$	
$N_{1,Rd} = 1,1 f_{y1} t_1 (b_1 + b_{e,ov} + 2h_1 - 4t_1) / \gamma_{al}$		$N_{2,Rd} = N_{1,Rd} \left( \frac{A_2 f_{y2}}{A_1 f_{y1}} \right)$
Parâmetros $b_{ef}$ , $b_{e,ov}$ e $k_n$		
$b_{ef} = \frac{10}{b_0/t_0} \frac{f_{y0} t_0}{f_{y1} t_1} b_1, \text{mas } b_{ef} \leq b_1$	Para $n < 0$ $k_n = 1,3 + \frac{0,4n}{\beta}$	
$b_{e,ov} = \frac{10}{b_2/t_2} \frac{f_{y2} t_2}{f_{y1} t_1} b_1, \text{mas } b_{e,ov} \leq b_1$	Para $n \geq 0$ $k_n = 1,0$	
onde $n = \sigma_{0,Sd} / f_{y0}$ , sendo $\sigma_{0,Sd}$ determinado considerando sinal negativo para compressão.		
Para diagonais e montantes com perfil circular, multiplicar as resistências por $(\pi/4)$ , substituindo $b_i$ e $h_i$ por $d_i$ e substituindo $b_2$ e $h_2$ por $d_2$ .		
<sup>a</sup> Para ligações com sobreposição, 1 = diagonal ou montante sobreposto, 2 = diagonal ou montante subposto.		

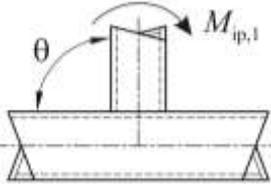
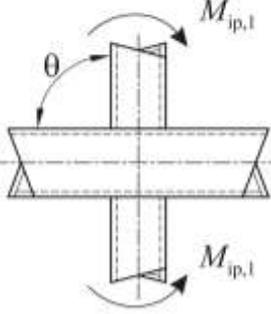
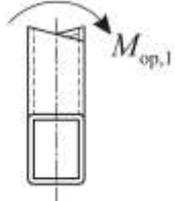
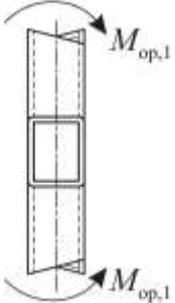
**Tabela 10 — Força axial resistente de cálculo de ligações soldadas T, X e Y entre diagonais de perfis tubulares retangulares ou circulares e banzos de perfis tubulares retangulares**

	<b>Modo de falha A</b> <span style="float: right;"><math>\beta \leq 0,85</math></span>
	$N_{1,Rd} = \frac{k_n f_y t_0^2}{(1-\beta) \text{sen}\theta_1} \left( \frac{2,2\eta}{\text{sen}\theta_1} + 4,4\sqrt{1-\beta} \right) / \gamma_{al}$
	<b>Modo de falha B<sup>a</sup></b> <span style="float: right;"><math>\beta = 1,0</math><sup>b</sup></span>
	$N_{1,Rd} = \frac{f_b t_0^2}{\text{sen}\theta_1} \left( \frac{2,2h_1}{\text{sen}\theta_1} + 1,1t_0 \right) / \gamma_{al}$
	<b>Modo de falha E</b> <span style="float: right;"><math>\beta \geq 0,85</math></span>
$N_{1,Rd} = f_y t_1 (2,2h_1 - 4,4t_1 + 2,2b_{ef}) / \gamma_{al}$	
<b>Modo de falha D</b> <span style="float: right;"><math>0,85 \leq \beta \leq (1-1/\gamma)</math></span>	
$N_{1,Rd} = \frac{0,60 f_y t_0}{\text{sen}\theta_1} \left( \frac{2,2h_1}{\text{sen}\theta_1} + 2,2b_{e,p} \right) / \gamma_{al}$	
<p><sup>a</sup> Para ligações X com <math>\theta &lt; 90^\circ</math>, usar o menor entre este valor e o da resistência de cálculo de cisalhamento das paredes do banzo, dadas para ligações com afastamento K e N, na Tabela 11.</p> <p><sup>b</sup> Para <math>0,85 \leq \beta \leq 1,0</math> usar interpolação linear entre o valor do modo de falha A com <math>\beta = 0,85</math> e o menor valor dos modos de falha B e C (Tabela 11) com <math>\beta = 1,0</math>, (flambagem da parede ou cisalhamento do banzo). O modo de falha C aplica-se apenas para ligações X com <math>\theta &lt; 90^\circ</math>.</p> <p>Para diagonais e montantes de perfil circular, multiplicar as forças axiais resistentes acima por <math>(\pi / 4)</math>, substituindo <math>b_1</math> e <math>h_1</math> por <math>d_1</math> e substituindo <math>b_2</math> e <math>h_2</math> por <math>d_2</math>.</p>	
Para tração: $f_b = f_{y0}$	$b_{ef} = \frac{10}{b_0/t_0} \frac{f_y t_0}{f_y t_1} b_1 \quad , \text{mas } b_{ef} \leq b_1$
Para compressão: $f_b = \chi f_{y0}$ (Ligação T e Y) $f_b = 0,8\chi f_{y0} \text{sen}\theta_1$ (Ligação X)	$b_{e,p} = \frac{10}{b_0/t_0} b_1 \quad , \text{mas } b_{e,p} \leq b_1$
onde $\chi$ é dado em 5.2 ou obtido conforme a ABNT NBR 8800, o que for aplicável, usando um índice de esbeltez reduzido igual a:	Para $n < 0$ $k_n = 1,3 + \frac{0,4n}{\beta}$ Para $n \geq 0$ $k_n = 1,0$ onde $n = \sigma_{0,Sd} / f_{y0}$ , sendo $\sigma_{0,Sd}$ determinado considerando sinal negativo para compressão.
$\lambda_0 = 3,46 \frac{\left( \frac{h_0}{t_0} - 2 \right) \sqrt{\frac{1}{\text{sen}\theta_1}}}{\pi \sqrt{\frac{E}{f_{y0}}}}$	

Tabela 11 — Força axial resistente de cálculo de ligações soldadas K e N entre diagonais de perfis tubulares retangulares ou circulares e banzos de perfis tubulares retangulares

K e N com afastamento	<b>Modo de falha A</b> (ver observação (a) Figura 6)
	$N_{1,Rd} = \frac{9,79k_n f_{y0} t_0^2 \sqrt{\gamma}}{\text{sen}\theta_1} \left( \frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4b_0} \right) / \gamma_{al}$ $N_{2,Rd} = \frac{\text{sen}\theta_1}{\text{sen}\theta_2} N_{1,Rd}$
	<b>Modo de falha C</b>
	$N_{1,Rd} = \frac{0,66 f_{y0} A_v}{\text{sen}\theta_1} / \gamma_{al} \quad N_{2,Rd} = \frac{\text{sen}\theta_1}{\text{sen}\theta_2} N_{1,Rd}$ $N_{0,Rd} = 1,1 \left[ (A_0 - A_v) f_{y0} + A_v f_{y0} \sqrt{1 - (V_{Sd} / V_{pl,Rd})^2} \right] / \gamma_{al}$
	<b>Modo de falha E</b>
	$N_{1,Rd} = 1,1 f_{y1} t_1 (2h_1 - 4t_1 + b_1 + b_{1,ef}) / \gamma_{al}$ $N_{2,Rd} = 1,1 f_{y2} t_2 (2h_2 - 4t_2 + b_2 + b_{2,ef}) / \gamma_{al}$
<b>Modo de falha D</b> $\beta \leq (1 - 1/\gamma)$	
$N_{1,Rd} = \frac{0,66 f_{y0} t_0}{\text{sen}\theta_1} \left( \frac{2h_1}{\text{sen}\theta_1} + b_1 + b_{1,ep} \right) / \gamma_{al}$ $N_{2,Rd} = \frac{0,66 f_{y0} t_0}{\text{sen}\theta_2} \left( \frac{2h_2}{\text{sen}\theta_2} + b_2 + b_{2,ep} \right) / \gamma_{al}$	
K e N com sobreposição	Utilizar Tabela 9
<p>Para diagonais e montantes de perfil circular, multiplicar as resistências acima por <math>(\pi/4)</math>, substituindo <math>b_1</math> e <math>h_1</math> por <math>d_1</math> e substituindo <math>b_2</math> e <math>h_2</math> por <math>d_2</math>. Exceto para o modo de falha C</p>	
$A_v = (2h_0 + \alpha b_0) t_0$ <p>Para diagonais e montantes de perfil retangular:</p> $\alpha = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4g^2}{3t_0^2}}}$ <p>onde <math>g</math> é o afastamento, ver Figura 5.</p> <p>Para diagonais e montantes de perfil circular: <math>\alpha = 0</math></p>	$b_{i,ef} = \frac{10}{b_0/t_0} \frac{f_{y0} t_0}{f_{yi} t_i} b_i \leq b_i \quad (i=1 \text{ ou } 2)$ $b_{i,ep} = \frac{10}{b_0/t_0} b_i \leq b_i \quad (i=1 \text{ ou } 2)$ <p>Para <math>n &lt; 0</math> <math>k_n = 1,3 + \frac{0,4n}{\beta}</math></p> <p>Para <math>n \geq 0</math> <math>k_n = 1,0</math></p> <p>onde <math>n = \sigma_{0,Sd} / f_{y0}</math>, sendo <math>\sigma_{0,Sd}</math> determinado considerando sinal negativo para compressão.</p>

Tabela 12 — Momento fletor resistente de cálculo para ligações soldadas tipos T e X entre diagonais ou montantes e banzos de perfis tubulares retangulares

Momentos no plano ( $\theta = 90^\circ$ )	<b>Modo de falha A</b> (para $\beta \leq 0,85$ )
	$M_{ip,1Rd} = 1,1k_n f_{y0} t_0^2 h_1 \left( \frac{1}{2\eta} + \frac{2}{\sqrt{1-\beta}} + \frac{\eta}{1-\beta} \right) / \gamma_{a1}$
	<b>Modo de falha B</b> (para $0,85 \leq \beta \leq 1,0$ )
	$M_{ip,1Rd} = 0,5 f_{yk} t_0 (1,1h_1 + 5,5t_0)^2 / \gamma_{a1}$ <p><math>f_{yk} = f_{y0}</math> para ligações T</p> <p><math>f_{yk} = 0,8 f_{y0}</math> para ligações X</p>
	<b>Modo de falha E</b> (para $0,85 \leq \beta \leq 1,0$ )
	$M_{ip,1Rd} = 1,1 f_{y1} [Z_1 - (1 - b_{ef} / b_1) b_1 h_1 t_1] / \gamma_{a1}$
Momentos fora do plano ( $\theta = 90^\circ$ )	<b>Modo de falha A</b> (para $\beta \leq 0,85$ )
	$M_{op,1Rd} = 1,1k_n f_{y0} t_0^2 \left( \frac{h_1(1+\beta)}{2(1-\beta)} + \sqrt{\frac{2b_0 b_1(1+\beta)}{1-\beta}} \right) / \gamma_{a1}$
	<b>Modo de falha B</b> (para $0,85 \leq \beta \leq 1,0$ )
	$M_{op,1Rd} = 1,1 f_{yk} t_0 (b_0 - t_0) (h_1 + 5t_0) / \gamma_{a1}$ <p><math>f_{yk} = f_{y0}</math> para ligações T</p> <p><math>f_{yk} = 0,8 f_{y0}</math> para ligações X</p>
	<b>Modo de falha por distorção do banzo</b> (para ligações T) <sup>a</sup>
	$M_{op,1Rd} = 2,2 f_{y0} t_0 (h_1 t_0 + \sqrt{b_0 h_0 t_0 (b_0 + h_0)}) / \gamma_{a1}$
	<b>Modo de falha E</b> (para $0,85 \leq \beta \leq 1,0$ )
	$M_{op,1Rd} = 1,1 f_{y1} (Z_1 - 0,5(1 - b_{ef} / b_1)^2 b_1^2 t_1) / \gamma_{a1}$
<b>Parâmetros <math>b_{ef}</math> e <math>k_n</math></b>	
$b_{ef} = \frac{10}{b_0 / t_0} \frac{f_{y0} t_0}{f_{y1} t_1} b_1, \text{ mas } b_{ef} \leq b_1$	<p>Para <math>n &lt; 0</math> <math>k_n = 1,3 + \frac{0,4n}{\beta}</math></p> <p>Para <math>n \geq 0</math> <math>k_n = 1,0</math></p> <p>onde <math>n = \sigma_{0,Sd} / f_{y0}</math>, sendo <math>\sigma_{0,Sd}</math> determinado considerando sinal negativo para compressão.</p>
<sup>a</sup> O modo de falha por distorção é caracterizado pela alteração da forma da seção transversal do banzo. Não aplicável quando a distorção do banzo de alguma maneira for impedida.	

**Tabela 13 — Critério de cálculo para tipos especiais de ligações soldadas uniplanares entre diagonais ou montantes e banzos de perfis tubulares retangulares**

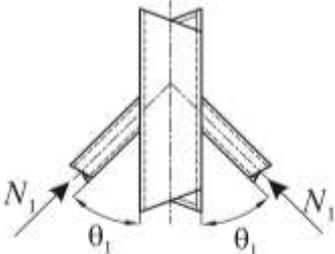
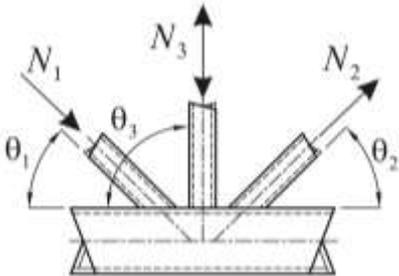
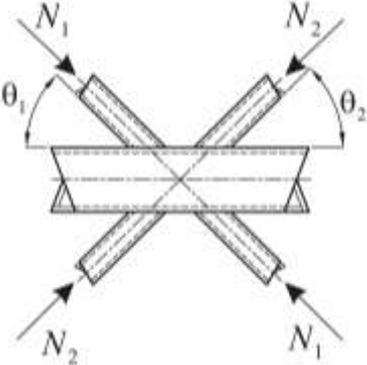
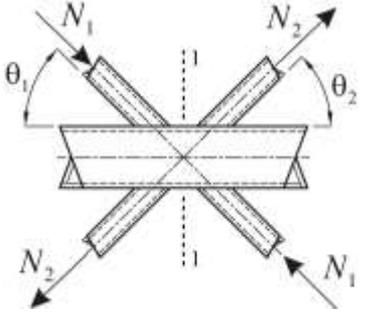
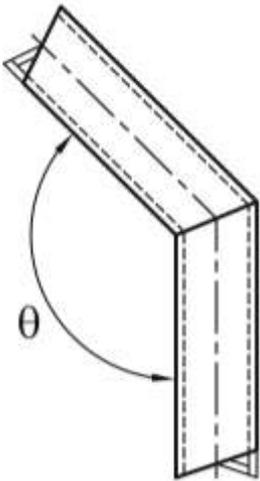
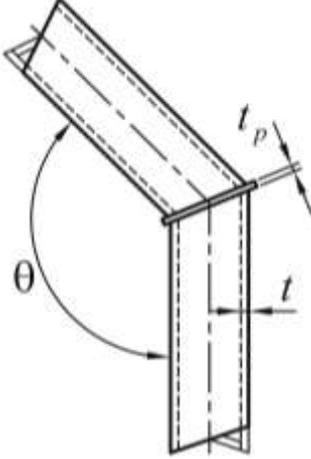
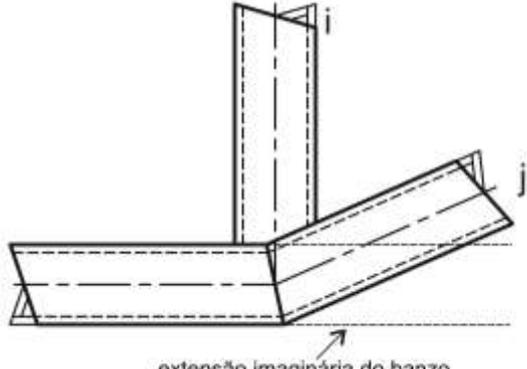
Tipo de ligação	Critério de cálculo
<p>As forças podem ser de tração ou compressão, mas devem atuar no mesmo sentido para ambas as diagonais</p> 	$N_{1,Sd} \leq N_{1,Rd}$ <p>onde <math>N_{1,Rd}</math> é o valor de <math>N_{1,Rd}</math> para uma ligação X da Tabela 10.</p>
<p>A diagonal 1 é comprimida e a diagonal 2 é tracionada</p> 	<p>(ver observação (a) Figura 6)</p> $N_{1,Sd} \cdot \text{sen}\theta_1 + N_{3,Sd} \cdot \text{sen}\theta_3 \leq N_{1,Rd} \cdot \text{sen}\theta_1$ $N_{2,Sd} \cdot \text{sen}\theta_2 \leq N_{1,Rd} \cdot \text{sen}\theta_1$ <p>onde <math>N_{1,Rd}</math> é o valor de <math>N_{1,Rd}</math> para uma ligação K da Tabela 11, mas substituindo-se <math>\frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4b_0}</math> por <math>\frac{b_1 + b_2 + b_3 + h_1 + h_2 + h_3}{6b_0}</math></p>
<p>Todas as diagonais devem ser comprimidas ou tracionadas</p> 	$N_{1,Sd} \cdot \text{sen}\theta_1 + N_{2,Sd} \cdot \text{sen}\theta_2 \leq N_{x,Rd} \cdot \text{sen}\theta_x$ <p>onde <math>N_{x,Rd}</math> é o valor de <math>N_{x,Rd}</math> para uma ligação X da Tabela 10, e <math>N_{x,Rd} \cdot \text{sen}\theta_x</math> é o maior valor entre <math> N_{1,Rd} \cdot \text{sen}\theta_1 </math> e <math> N_{2,Rd} \cdot \text{sen}\theta_2 </math></p>
<p>A diagonal 1 é comprimida e a diagonal 2 é tracionada</p> 	$N_{1,Sd} \leq N_{1,Rd}$ <p>onde <math>N_{1,Rd}</math> é o valor de <math>N_{1,Rd}</math> para uma ligação K da Tabela 11, desde que, em uma ligação com afastamento, na seção 1-1, o banzo satisfaça à condição:</p> $\left[ \frac{N_{0,Sd}}{N_{pl,0,Rd}} \right]^2 + \left[ \frac{V_{0,Sd}}{V_{pl,0,Rd}} \right]^2 \leq 1,0$ <p>com <math>V_{0,Sd} = N_1 \cdot \text{sen}\theta_1 + N_2 \cdot \text{sen}\theta_2</math>, e <math>V_{pl,0,Rd} = 1,2(h_0 - 4t_0)t_0 f_{y0} / \gamma_{al}</math></p>

Tabela 14 — Critério de cálculo de ligações soldadas aporticadas ou com banzos inclinados de perfis tubulares retangulares

Tipo de ligação	Critério de cálculo
<p>Ligações aporticadas</p> 	$N_{Sd} \leq 0,2N_{pl,Rd}$ $\frac{N_{Sd}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{Sd}}{M_{pl,Rd}} \leq \kappa$ <p>onde</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- se <math>\theta \leq 90^\circ</math>: <math>\kappa = \frac{3\sqrt{b_0/h_0}}{[b_0/t_0]^{0,8}} + \frac{1}{1+2b_0/h_0}</math></li> <li>- se <math>90^\circ &lt; \theta \leq 180^\circ</math>: <math>\kappa = 1 - (\sqrt{2} \cos(\theta/2))(1 - \kappa_{90})</math></li> </ul> <p>sendo <math>\kappa_{90}</math> o valor de <math>\kappa</math> para <math>\theta = 90^\circ</math></p> <p>Adicionalmente, a seção transversal deve ser compacta.</p>
	$\frac{N_{Sd}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{Sd}}{M_{pl,Rd}} \leq 1,0$ <p>Adicionalmente, <math>t_p</math> não pode ser inferior a <math>1,5t</math> e a 9,5 mm. Ver ainda 6.1.1.1.</p>
<p>Ligações com banzo inclinado</p> 	$N_{i,Sd} \leq N_{i,Rd}$ <p>onde <math>N_{i,Rd}</math> é o valor de <math>N_{i,Rd}</math> para uma ligação K ou N com sobreposição da Tabela 9.</p>



### **6.3.2.2 Ligações reforçadas**

**6.3.2.2.1** O tipo apropriado de reforço depende do modo de falha que determina a força axial resistente de cálculo da ligação na ausência do reforço. Para ligações T, X e Y, ver 6.3.2.2.2 e, para ligações K e N, ver 6.3.2.2.3.

**6.3.2.2.2** Para ligações T, X e Y, conforme a Tabela 15:

- para os modos de falha A, D e E, pode ser utilizada uma chapa de reforço na mesa do banzo que recebe diagonais e montantes;
- para o modo de falha B, podem ser utilizadas chapas de reforço laterais, nas duas almas do banzo.

**6.3.2.2.3** Para ligações K e N, conforme a Tabela 16:

- para os modos de falha A, D e E, pode ser utilizada uma chapa de reforço na mesa do banzo que recebe diagonais e montantes;
- para o modo de falha C, podem ser utilizadas chapas de reforço laterais, nas duas almas do banzo;
- no caso de sobreposição insuficiente de diagonais ou montantes, pode ser soldado entre esses elementos um enrijecedor vertical.

**6.3.2.2.4** As chapas de reforço não podem ter resistência ao escoamento inferior a do aço do banzo.

Tabela 15 — Força axial resistente de cálculo de ligações soldadas reforçadas T, X e Y e entre diagonais ou montantes de perfis tubulares retangulares ou circulares e banzos de perfis tubulares retangulares

Tipo de ligação	Força axial resistente de cálculo
Reforço com chapa na mesa do banzo para os modos de falha A, D e E	
Diagonal ou montante tracionado <span style="float: right;"><math>\beta \leq 0,85</math></span>	
	$N_{1,Rd} = \frac{1,1f_{yp}t_p^2}{(1-b_1/b_p)\text{sen}\theta_1} \cdot \left( \frac{2h_1/b_p}{\text{sen}\theta_1} + 4\sqrt{1-b_1/b_p} \right) / \gamma_{al}$ <p>Adicionalmente, as seguintes condições devem ser atendidas:</p> $l_p \geq \begin{cases} \frac{h_1}{\text{sen}\theta_1} + \sqrt{b_p(b_p - b_1)} \\ 1,5h_1 / \text{sen}\theta_1 \end{cases}$ $b_p \leq b_0 - 2t_0$
Diagonal ou montante comprimido <span style="float: right;"><math>\beta \leq 0,85</math></span>	
	<p>Tomar <math>N_{1,Rd}</math> como o valor de <math>N_{1,Rd}</math> da Tabela 10 para uma ligação T, X ou Y, mas com <math>k_n = 1,0</math> e <math>t_0</math> substituído por <math>t_p</math>, para os modos de falha A, D e E. Adicionalmente, as seguintes condições devem ser atendidas:</p> $l_p \geq \frac{h_1}{\text{sen}\theta_1} + \sqrt{b_p(b_p - b_1)} \geq 1,5h_1 / \text{sen}\theta_1$ $b_p \leq b_0 - 2t_0$
Reforço com chapas laterais nas duas almas do banzo para o modo de falha B	
	<p>Tomar <math>N_{1,Rd}</math> como o valor de <math>N_{1,Rd}</math> da Tabela 10 para uma ligação T, X ou Y, mas com <math>t_0</math> substituído por <math>(t_0 + t_p)</math> para o modo de falha B. Adicionalmente, deve-se ter:</p> $l_p \geq 1,5h_1 / \text{sen}\theta_1$

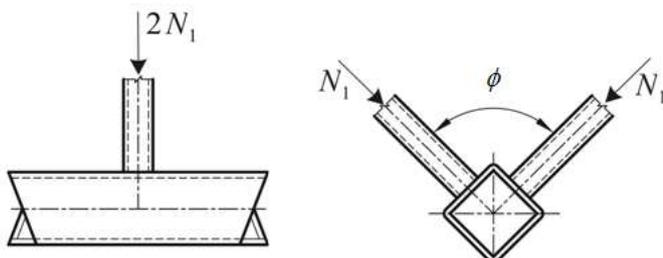
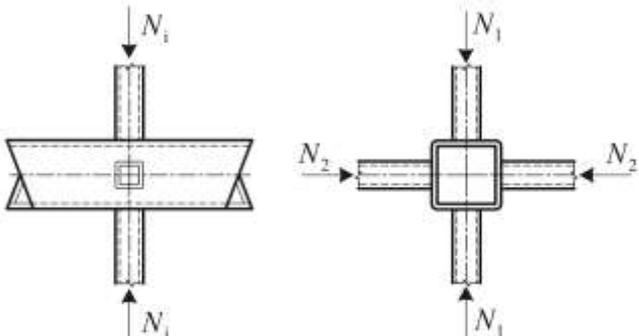
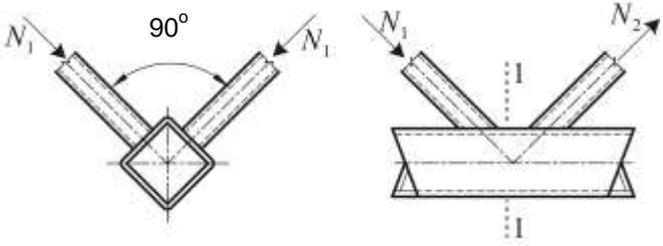
Tabela 16 — Força axial resistente de cálculo de ligações soldadas reforçadas K e N entre diagonais ou montantes de perfis tubulares retangulares ou circulares e banzos de perfis tubulares retangulares

Tipo de ligação	Força axial resistente de cálculo
Reforço com chapa na mesa do banzo para os modos de falha A, D e E	
	<p>Tomar <math>N_{1,Rd}</math> e <math>N_{2,Rd}</math> como os valores de <math>N_{1,Rd}</math> e <math>N_{2,Rd}</math>, respectivamente, para ligação K ou N da Tabela 11, mas com <math>t_0</math> substituído por <math>t_p</math> para os modos de falha A, D e E. Adicionalmente, as seguintes condições devem ser atendidas:</p> $l_p \geq 1,5 \left( \frac{h_1}{\text{sen}\theta_1} + g + \frac{h_2}{\text{sen}\theta_2} \right)$ $b_p \leq b_0 - 2t_0$ $t_p \geq \begin{cases} 2t_1 \\ 2t_2 \end{cases}$ <p>Ver ainda 6.1.1.1.</p>
Reforço com chapas laterais nas duas almas do banzo para o modo de falha C	
	<p>Tomar <math>N_{1,Rd}</math> e <math>N_{2,Rd}</math> como os valores de <math>N_{1,Rd}</math> e <math>N_{2,Rd}</math>, respectivamente, para ligação K ou N da Tabela 11, mas com <math>t_0</math> substituído por <math>(t_0 + t_p)</math> para o modo de falha C. Adicionalmente, deve-se ter:</p> $l_p \geq 1,5 \left( \frac{h_1}{\text{sen}\theta_1} + g + \frac{h_2}{\text{sen}\theta_2} \right)$ <p>Ver ainda 6.1.1.1.</p>
Reforço com enrijecedor vertical entre diagonais ou montantes para sobreposição insuficiente	
	<p>Tomar <math>N_{1,Rd}</math> e <math>N_{2,Rd}</math> como os valores de <math>N_{1,Rd}</math> e <math>N_{2,Rd}</math>, respectivamente, para ligação K ou N com sobreposição da Tabela 11, com <math>\lambda_{ov} &lt; 80\%</math>, mas com <math>b_2</math>, <math>t_2</math> e <math>f_{y2}</math> substituídos por <math>b_p</math>, <math>t_p</math> e <math>f_{yp}</math> na expressão de <math>b_{e,ov}</math> dado na Tabela 9. Adicionalmente, deve-se ter:</p> $t_p \geq \begin{cases} 2t_1 \\ 2t_2 \end{cases}$ <p>Ver ainda 6.1.1.1.</p>

### 6.3.3 Ligações multiplanares

Em cada um dos planos de uma ligação multiplanar, o critério de dimensionamento, dado em 6.3.2, deve ser satisfeito, utilizando os esforços resistentes de cálculo reduzidos pelo fator  $\mu$ , dado na Tabela 17.

Tabela 17 — Fatores de redução para ligações multiplanares

Tipo de ligação	Fator de redução $\mu$
<p>TT</p> <p>A barra 1 pode estar tracionada ou comprimida</p> 	<p><math>60^\circ \leq \phi \leq 90^\circ</math></p> <p><math>\mu = 0,9</math></p>
<p>XX</p>  <p>As barras 1 e 2 podem estar comprimidas ou tracionadas. A relação <math>N_{2,Sd}/N_{1,Sd}</math> é negativa se uma barra está tracionada e outra comprimida.</p>	<p><math>\mu = 0,9(1 + 0,33N_{2,Sd}/N_{1,Sd})</math></p> <p>levando-se em conta os sinais de <math>N_{1,Sd}</math> e <math>N_{2,Sd}</math>, onde <math> N_{2,Sd}  \leq  N_{1,Sd} </math></p>
<p>KK (ver observação c) Figura 6)</p>	<p><math>60^\circ \leq \phi \leq 90^\circ</math></p>
	<p><math>\mu = 0,9</math></p> <p>desde que, nas ligações com afastamento, a seção 1-1 do banzo satisfaça a condição:</p> $\left[ \frac{N_{0,Sd}}{N_{pl,0Rd}} \right]^2 + \left[ \frac{0,71V_{0,Sd}}{V_{pl,0Rd}} \right]^2 \leq 1,0$ <p>com <math>V_{0,Sd} = N_1 \text{sen}\theta_1</math> ou <math>V_{0,Sd} = N_2 \text{sen}\theta_2</math>, o que for maior, e <math>V_{pl,0Rd} = 1,2(h_0 - 4t_0)t_0 f_{y0} / \gamma_{a1}</math></p>

## 6.4 Ligações soldadas entre diagonais ou montantes de perfis tubulares circulares ou retangulares com banzos de perfis I ou H

### 6.4.1 Requisitos necessários

Caso sejam atendidas as condições da Tabela 18, os esforços resistentes de cálculo das ligações devem ser tomados como o menor valor encontrado entre os modos de falha, indicados nas Tabelas 19 e 20, onde aplicáveis.

**Tabela 18 — Condições de validade para ligações soldadas entre diagonais e montantes de perfis tubulares circulares ou retangulares e banzos com perfis I ou H**

Tipo de ligação	Condições de validade				
	Compressão	Tração	Tração ou compressão		
X	$\frac{b_i}{t_i} \leq \begin{cases} 36 \\ 1,10 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \end{cases}$	$\frac{b_i}{t_i} \leq 36$	$\frac{h_w}{t_w} \leq 1,10 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	$0,5 \leq \frac{h_i}{b_i} \leq 2,0$	
T ou Y			$\frac{h_i}{t_i} \leq \begin{cases} 36 \\ 1,10 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \end{cases}$		
K e N com afastamento	$\frac{d_i}{t_i} \leq \begin{cases} 50 \\ 0,05 \frac{E}{f_y} \end{cases}$	$\frac{d_i}{t_i} \leq 50$	$h_w \leq 400 \text{ mm}$	$0,5 \leq \frac{h_i}{b_i} \leq 2,0$	$\frac{b_0}{2t_f} \leq \left(\frac{b}{t}\right)_{\text{lim}}$ da Tabela F.1 da ABNT NBR 8800:2008
K e N com sobreposição					

<sup>a</sup> Nas ligações com sobreposição, i = diagonais ou montantes subpostas, j = diagonais ou montantes sobrepostas

### 6.4.2 Ligações sujeitas apenas a força axial ou momento fletor

Nas ligações de diagonais ou montantes, a força axial resistente de cálculo  $N_{i,Rd}$  deve ser obtida da Tabela 19 e o momento fletor resistente de cálculo, da Tabela 20.

### 6.4.3 Ligações sujeitas a combinação de força axial e momento fletor

**6.4.3.1** As ligações de diagonais e montantes sujeitos, simultaneamente, a força axial e momento fletor devem satisfazer à seguinte condição:

$$\frac{N_{i,Sd}}{N_{i,Rd}} + \frac{M_{ip,i,Sd}}{M_{ip,i,Rd}} \leq 1,0$$

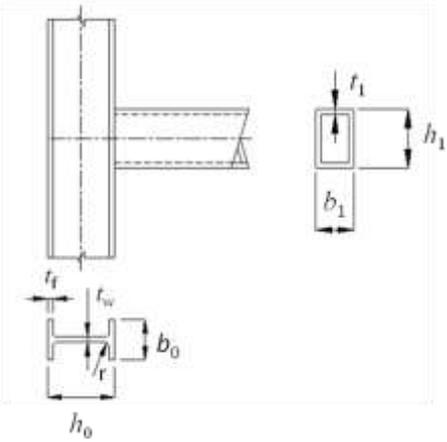
Onde  $M_{ip,i,Rd}$  e  $M_{ip,i,Sd}$  são, respectivamente, os momentos fletores resistente e solicitante de cálculo no plano.

**6.4.3.2** O momento solicitante de cálculo,  $M_{ip,i,Sd}$ , pode ser tomado no ponto onde o eixos da diagonal ou montante encontram a face do banzo.

Tabela 19 — Força axial resistente de cálculo de ligações soldadas entre diagonais ou montantes de perfis tubulares retangulares e circulares e banzos de perfis I ou H

Tipo de ligação	Força axial resistente de cálculo <sup>a, e</sup>	
T, Y e X	<b>Modo de falha: plastificação da alma do banzo</b>	
	$N_{1,Rd} = \frac{1,1 f_{y0} t_w b_w}{\text{sen} \theta_1} / \gamma_{al}$	
	Modo de falha E	$N_{1,Rd} = 2,2 f_{y1} t_1 p_{ef} / \gamma_{al}$
K e N com afastamento	<b>Modo de falha: Instabilidade da alma do banzo</b>	
	$N_{1,Rd} = \frac{1,1 f_{y0} t_w h_w}{\text{sen} \theta_1} / \gamma_{al} \quad N_{2,Rd} = \frac{\text{sen} \theta_1}{\text{sen} \theta_2} N_{1,Rd}$	
	Modo de falha E <sup>b</sup>	$N_{1,Rd} = 2,2 f_{y1} t_1 p_{ef} / \gamma_{al} \quad N_{2,Rd} = \frac{\text{sen} \theta_1}{\text{sen} \theta_2} N_{1,Rd}$
	<b>Modo de falha: Plastificação ou instabilidade por cisalhamento do banzo</b>	$N_{1,Rd} = \frac{0,66 f_{y0} A_v}{\text{sen} \theta_1} / \gamma_{al} \quad N_{2,Rd} = \frac{\text{sen} \theta_1}{\text{sen} \theta_2} N_{1,Rd}$ $N_{0,Rd} = 1,1 \left[ (A_0 - A_v) f_{y0} + A_v f_{y0} \sqrt{1 - (V_{Sd} / V_{pl,Rd})^2} \right] / \gamma_{al}$
	K e N com sobreposição <sup>c, d</sup>	Modo de falha E <span style="float: right;"><math>25\% \leq \lambda_{ov} &lt; 50\%</math></span>
	$N_{1,Rd} = 1,1 f_{y1} t_1 (p_{ef} + b_{e,ov} + (h_1 - 2t_1) \lambda_{ov} / 50) / \gamma_{al}$	
	Modo de falha E <span style="float: right;"><math>50\% \leq \lambda_{ov} &lt; 80\%</math></span>	$N_{1,Rd} = 1,1 f_{y1} t_1 (p_{ef} + b_{e,ov} + h_1 - 2t_1) / \gamma_{al}$
	Modo de falha E <span style="float: right;"><math>\lambda_{ov} \geq 80\%</math></span>	$N_{1,Rd} = 1,1 f_{y1} t_1 (b_1 + b_{e,ov} + 2h_1 - 4t_1) / \gamma_{al}$
	$A_v = A_0 - (2 - \alpha) b_0 t_f + (t_w + 2r) t_f$ <p>Para diagonal com perfil retangular:</p> $\alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + 4g^2 / 3t_f^2}}$ <p>Para diagonal com perfil circular, <math>\alpha = 0</math></p>	$p_{ef} = t_w + 2r + 7t_f f_{y0} / f_{y1}, \text{mas}$ $p_{ef} \leq b_1 + h_1 - 2t_1$ $b_{e,ov} = \frac{10}{b_2 / t_2} \frac{f_{y2} t_2}{f_{y1} t_1} b_1, \text{mas } b_{e,ov} \leq b_1$
<sup>a</sup> As expressões das forças resistentes apresentadas são válidas para diagonais com perfis retangulares. Para diagonais com perfis circulares, multiplicar essas expressões por $(\pi / 4)$ , substituindo $b_1$ e $h_1$ por $d_1$ e substituindo $b_2$ e $h_2$ por $d_2$ ; <sup>b</sup> O modo de falha E não precisa ser verificado se: $g / t_f \leq 20 - 28\beta$ ; $\beta \leq 1,0 - 0,03\gamma$ onde $\gamma = b_0 / 2t_f$ , e, para tubos circulares: $0,75 \leq d_1/d_2 \leq 1,33$ , $0,75 \leq b_1/b_2 \leq 1,33$ ; <sup>c</sup> Para ligações com sobreposição, 1 = diagonal ou montante subposto, 2 = diagonal ou montante sobreposto; <sup>d</sup> Apenas a diagonal ou montante subposto 1 precisa ser verificado. A eficiência da diagonal ou montante sobreposto 2 (isto é, a resistência de cálculo da ligação dividida pela resistência plástica de cálculo da diagonal ou montante) deve ser tomada como igual à do subposto. <sup>e</sup> Adicionalmente nas ligações tipo X deve ser verificado o item 5.7.6 da NBR8800.	$b_w = \frac{h_1}{\text{sen} \theta_1} + 5(t_f + r)$ <p>mas</p> $b_w \leq 2t_1 + 10(t_f + r)$	

**Tabela 20 — Momento fletor resistente de cálculo de ligações soldadas entre diagonais ou montantes de perfis tubulares retangulares e banzos de perfis I ou H**

Tipo de ligação	Momento fletor resistente de cálculo
T e Y	Modo de falha: Plastificação da alma do banzo
	$M_{ip,1,Rd} = 0,55 f_{y0} t_w b_w h_1 / \gamma_{al}$
	Modo de falha E
	$M_{ip,1,Rd} = 1,1 f_y t_1 p_{ef} (h_1 - t_1) / \gamma_{al}$
Parâmetros $p_{ef}$ e $b_w$	
$p_{ef} = t_w + 2r + 7t_f f_{y0} / f_{y1} \leq b_1$	$b_w = \frac{h_1}{\text{sen}\theta_1} + 5(t_f + r) \leq 2t_1 + 10(t_f + r)$

**6.4.3.3** Se forem usados enrijecedores no banzo (ver figura 11), a força axial resistente de cálculo de diagonal ou montante em ligações T, X, Y e também K e N, com afastamento, é determinada como segue:

$$N_{i,Rd} = 1,1 f_{yi} t_i (2p_{ef} + 2p_{ef,s}) / \gamma_{al}$$

onde:

$$p_{ef} = t_w + 2r + 7t_f f_{y0} / f_{yi} \leq b_i + h_i - 2t_i$$

$$p_{ef,s} = t_s + 2a_w + 7t_f f_{y0} / f_{yi} \leq b_i + h_i - 2t_i$$

$$p_{ef} + p_{ef,s} \leq b_i + h_i - 2t_i$$

sendo  $a_w$  a espessura da garganta de solda dos enrijecedores (" $2a_w$ " torna-se " $a_w$ " se for usada solda de filete apenas em um lado do enrijecedor), com o índice s referindo-se ao enrijecedor, que deve ter no mínimo a espessura da alma do perfil I (ver ainda 6.1.1.1).

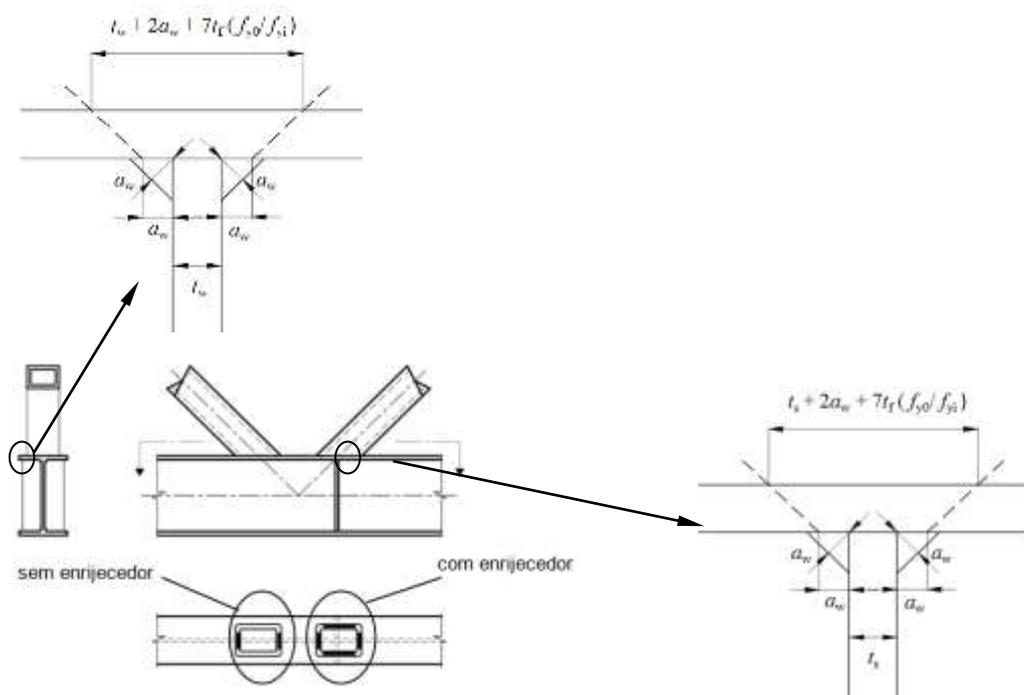


Figura 11 — Perímetro efetivo da diagonal para banzo de perfil I

## 6.5 Ligações entre chapas e perfis tubulares circulares ou retangulares

### 6.5.1 Requisitos necessários

6.5.1.1 Para as ligações entre chapas e perfis tubulares circulares, devem ser atendidas às condições dadas nas alíneas (b), (c), e (e) de 6.2.1.

6.5.1.2 Para as ligações entre chapas e perfis tubulares retangulares, estes devem ser compactos. Adicionalmente, deve-se ter  $\frac{b_0}{t_0} \leq 30$  e  $\frac{h_0}{t_0} \leq 35$ .

### 6.5.2 Critérios de Cálculo

6.5.2.1 Nas ligações entre chapas e perfis tubulares circulares e entre chapas e perfis tubulares retangulares, a força axial resistente de cálculo,  $N_{ch,Rd}$ , deve ser obtida das Tabelas 21 e 22, respectivamente. Nessas Tabelas, deve-se ter  $N_{ch,Sd} \leq N_{ch,Rd}$ . Nos casos especiais das Tabelas 21 e 22, devem ser obedecidos os critérios específicos apresentados.

6.5.2.2 As ligações das Tabelas 21 e 22, sujeitas a combinação de força axial e momento fletor, devem atender à seguinte condição:

$$\frac{N_{ch,Sd}}{N_{ch,Rd}} + \left[ \frac{M_{ip,ch,Sd}}{M_{ip,ch,Rd}} \right]^n + \frac{M_{op,ch,Sd}}{M_{op,ch,Rd}} \leq 1,0$$



onde:

$n = 1$  é para perfis retangulares;

$n = 2$  é para perfis circulares;

$N_{ch, Rd}$  é a força axial resistente de cálculo da chapa;

$N_{ch, Sd}$  é a força axial solicitante de cálculo da chapa;

$M_{ip, ch, Rd}$  é o momento fletor resistente de cálculo da chapa, no plano;

$M_{ip, ch, Sd}$  é o momento fletor solicitante de cálculo da chapa, no plano;

$M_{op, ch, Rd}$  é o momento fletor resistente de cálculo da chapa, fora do plano;

$M_{op, ch, Sd}$  é o momento fletor solicitante de cálculo da chapa, fora do plano.

**6.5.2.3** Os momentos fletores solicitantes de cálculo  $M_{ip, ch, Sd}$  e  $M_{op, ch, Sd}$  podem ser obtidos no encontro entre a chapa e a face do banzo.

**6.5.2.4** O momento fletor resistente de cálculo no plano,  $M_{ip, ch, Rd}$ , e o momento fletor resistente de cálculo fora do plano,  $M_{op, ch, Rd}$ , devem ser obtidos das Tabelas 21 e 22, a que for aplicável.

Tabela 21 — Força axial e momento fletor resistente de cálculo de ligações com chapas soldadas em perfil tubular circular

Modo de falha A	
	$N_{ch,Rd} = \frac{k_p f_{y0} t_o^2 (4,4 + 22\beta^2)}{\text{sen}\theta} / \gamma_{al}$ $M_{ip,ch,Rd} = 0$ $M_{op,ch,Rd} = 0,5b_1 N_{ch,Rd}$
	$N_{ch,Rd} = \frac{5,5k_p f_{y0} t_o^2}{(1 - 0,81\beta)\text{sen}\theta} / \gamma_{al}$ $M_{ip,ch,Rd} = 0$ $M_{op,ch,Rd} = 0,5b_{ch} N_{ch,Rd}$
	$N_{ch,Rd} = \frac{5,5k_p f_{y0} t_o^2 (1 + 0,25\eta)}{\text{sen}\theta} / \gamma_{al}$ $M_{ip,ch,Rd} = 0,8h_{ch} N_{ch,Rd}$ $M_{op,ch,Rd} = 0$
	$N_{ch,Rd} = \frac{5,5k_p f_{y0} t_o^2 (1 + 0,25\eta)}{\text{sen}\theta} / \gamma_{al}$ $M_{ip,ch,Rd} = 0,8h_{ch} N_{ch,Rd}$ $M_{op,ch,Rd} = 0$
Modo de falha D	
$\sigma_{max} t_{ch} = (N_{Sd} / A + M_{Sd} / W) t_{ch} \leq 2,2t_o (0,6f_{y0}) / \gamma_{al}$ , onde as propriedades A e W são da chapa de nó.	

Tabela 21 — Força axial e momento fletor resistentes de cálculo de ligações com chapas soldadas em perfil tubular circular (continuação)

Modo de falha por punção da parede do tubo	
	$t_{ch} \leq \frac{f_{uch}}{f_{ych}} t$ <p>Aplicável somente a sistemas com rotação autolimitada como, por exemplo, ligações de extremidades de vigas biapoiadas. Ver ainda 6.1.1.1</p>
T de extremidade	Modo de falha por escoamento localizado da extremidade do tubo
	$N_{ch,Rd} = 2,2 f_y t (5t_{ch1} + t_{ch2} + 2k) / \gamma_{al} \leq (f_y A)$ <p><math>k</math> é o raio de concordância do perfil T laminado ou a garganta da solda, <math>a_w</math>, do perfil T soldado</p>
Faixa de validade	Fator $k_p$
<p>Adicionalmente a 6.2.1, devem ser observados os limites:  <math>\beta \geq 0,4</math> e <math>\eta \leq 4</math>            onde <math>\beta = b_{ch} / d_0</math> e <math>\eta = h_{ch} / d_0</math></p>	<p>Para <math>n_p &lt; 0</math>: <math>k_p = 1 + 0,3n_p - 0,3n_p^2</math>            Para <math>n_p \geq 0</math>: <math>k_p = 1,0</math>            onde <math>n_p = \sigma_{0pSd} / f_{y0}</math>, considerando <math>\sigma_{0pSd}</math> com o sinal negativo para compressão</p>

Tabela 22 — Força axial e momento fletor resistentes de cálculo de ligações soldadas entre chapa ou perfis I ou H e perfis tubulares retangulares

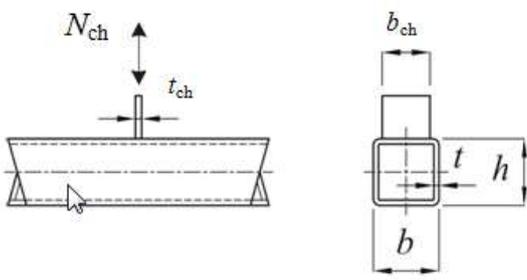
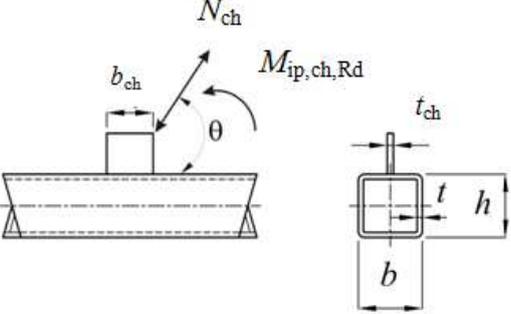
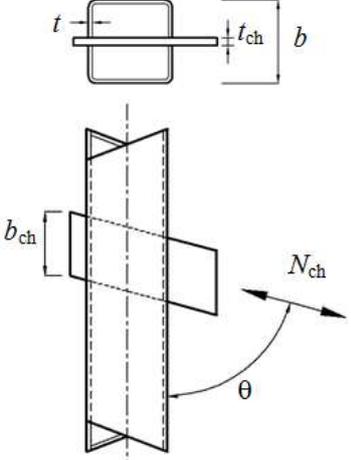
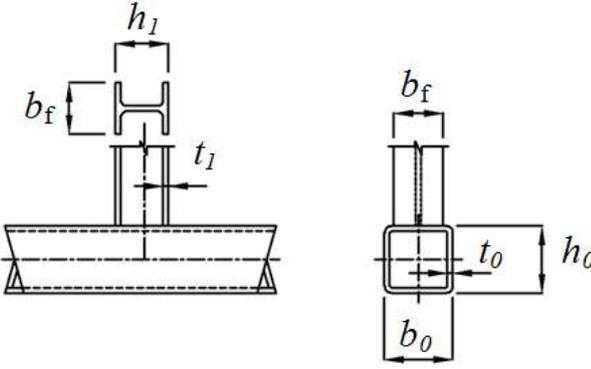
<p>Chapa transversal</p> 	<p><b>Modo de falha E</b></p> $N_{ch,Rd} = f_{ych} t_{ch} b_{ef} / \gamma_{al} \quad ^a$ <p><b>Modo de falha B</b> (para <math>b_{ch} \geq b - 2t</math>)</p> $N_{ch,Rd} = 1,1 f_y t (2t_{ch} + 10t) / \gamma_{al}$ <p><b>Modo de falha D</b> (para <math>b_{ch} \leq b - 2t</math>)</p> $N_{ch,Rd} = 0,60 f_y t (2,2t_{ch} + 2,2b_{e,p}) / \gamma_{al}$
<p>Chapa longitudinal</p>  <p><math>t_{ch} / b_0 \leq 0,2</math></p>	<p><b>Modo de falha A</b></p> $N_{ch,Rd} = \frac{1,1 k_m f_y t^2}{\text{sen}\theta (1 - t_{ch} / b)} (2b_{ch} / b + 4\sqrt{1 - t_{ch} / b}) / \gamma_{al}$ $M_{ip,ch,Rd} = 0,5 b_{ch} N_{ch,Rd}$
<p>Chapa passante</p> 	<p><b>Modo de falha A</b></p> $N_{ch,Rd} = \frac{2,2 k_m f_y t^2}{\text{sen}\theta (1 - t_{ch} / b)} (2b_{ch} / b + 4\sqrt{1 - t_{ch} / b}) / \gamma_{al}$ $M_{ip,ch,Rd} = 0,5 b_{ch} N_{ch,Rd}$

Tabela 22 — Força axial e momento fletor resistentes de cálculo de ligações soldadas entre chapa ou perfis I ou H e perfis tubulares retangulares (continuação)

Chapa simples	Modo de falha por punção da parede do tubo
	$t_{ch} \leq \frac{f_u}{f_{ych}} t$ <p>Aplicável somente a sistemas com rotação autolimitadas como por exemplo ligações de extremidades de vigas biapoiadas. Ver ainda 6.1.1.1</p>
T de extremidade	Modo de falha por escoamento localizado da extremidade do tubo
	$N_{ch,Rd} = \begin{cases} 2,2 f_y t (5t_{ch1} + t_{ch2} + 2k) \\ \text{para } (5t_{ch1} + t_{ch2} + 2k) < b \\ (f_y A) \text{ para } (5t_{ch1} + t_{ch2} + 2k) \geq b \end{cases}$ <p><math>k</math> é o raio de concordância do perfil T laminado ou a garganta da solda, <math>a_w</math>, do perfil T soldado</p>
	<p><b>Modo de falha por enrugamento da extremidade do tubo quando comprimido</b></p> $N_{ch,Rd} = 1,6t^2 \left[ 1 + \frac{6b_{ch}}{b} \left( \frac{t}{t_{ch}} \right)^{1,5} \right] \left( \sqrt{E f_y t_{ch} / t} \right)$ <p>para <math>(5t_{ch1} + t_{ch2})</math></p> <p><math>k</math> é o raio de concordância do perfil T laminado ou a garganta da solda, <math>a_w</math>, do perfil T soldado</p>

Tabela 22— Força axial e momento fletor resistentes de cálculo de ligações soldadas entre chapa ou perfis I ou H e perfis tubulares retangulares (continuação)

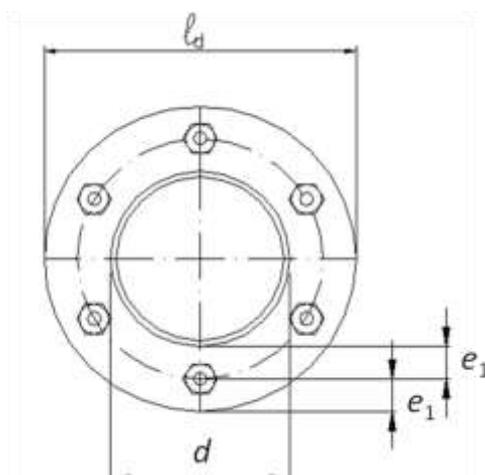
I ou H	
	<p>De modo aproximado, se <math>n \geq 2\sqrt{1-\beta}</math>, <math>N_{1,Rd}</math> pode ser tomado igual à soma das resistências de cálculo de duas chapas transversais de mesmas dimensões das mesas da seção I ou H.</p> <p>Se <math>n &lt; 2\sqrt{1-\beta}</math>, uma interpolação linear entre uma e duas chapas deve ser feita.</p> $M_{ip,1,Rd} = N_{1,Rd}(h_1 - t_1)$ $\beta = \frac{b_1}{b_0} \quad 0,5 \leq \beta \leq 1,0$
Parâmetros $b_{ef}$ , $b_{e,p}$ e $k_m$	
$b_{ef} = \frac{10}{b_0/t_0} \frac{f_{y0}t_0}{f_{ych}t_{ch}} b_{ch}, \text{ mas } b_{ef} \leq b_{ch}$	<p>Para <math>n &lt; 0</math>, <math>k_m = 1,3(1+n)</math></p> <p>Para <math>n \geq 0</math>, <math>k_m = 1,0</math></p>
$b_{e,p} = \frac{10}{b_0/t_0} b_{ch}, \text{ mas } b_{e,p} \leq b_{ch}$	<p>onde <math>n = \sigma_{0,Sd} / f_{y0}</math>, sendo <math>\sigma_{0,Sd}</math> determinado considerando sinal negativo para compressão.</p>
<p><sup>a</sup> A ligação com solda de filete deve ser calculada de acordo com 6.1.5</p>	

## 7 Ligações flangeadas

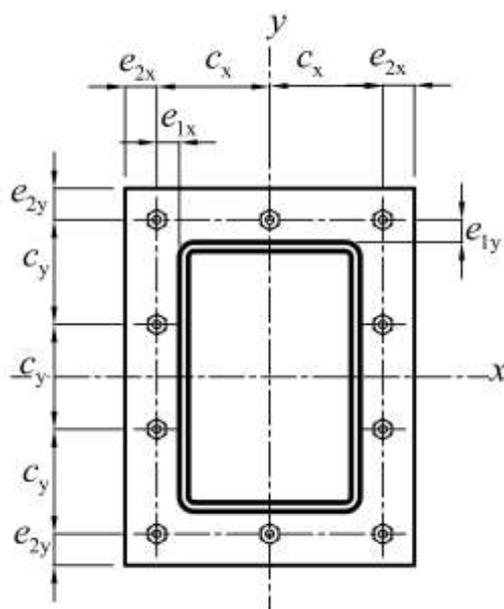
### 7.1 Considerações gerais

7.1.1 Esta Seção trata das ligações flangeadas entre perfis tubulares circulares ou retangulares, sob atuação de força axial de tração.

7.1.2 As ligações flangeadas são constituídas por duas placas (placas do flange) ligadas por solda de filete na extremidade dos perfis a serem conectados, com as placas unidas entre si por parafusos (Figura 12). Essas ligações são denominadas flangeadas circulares e flangeadas retangulares, quando aplicadas a perfis tubulares circulares e perfis tubulares retangulares, respectivamente.



(a) Circular



$$c \geq 2(d_b + e_1)$$

$$1,25d_b \leq e_1 \leq 2d_b$$

(b) Retangular

Figura 12 – Ligação flangeada em perfis tubulares circulares e retangulares

**7.1.3** Para o dimensionamento das ligações flangeadas, os estados-limites últimos a serem observados são: escoamento das placas do flange, ruptura por tração dos parafusos e ruptura por cisalhamento da solda de filete.

**7.1.4** Em 7.2 e 7.3, são apresentadas as prescrições para dimensionamento das ligações flangeadas circulares e retangulares, respectivamente, válidas para as placas do flange contínuas e parafusos dispostos simetricamente. Além disso, as ligações flangeadas retangulares devem possuir parafusos posicionados junto aos quatro lados dos perfis tubulares.

**7.1.5** Considera-se que a solda de ligação entre o perfil tubular e a placa de flange tenha sido devidamente dimensionada conforme os critérios desta Norma ou da ABNT NBR 8800, onde aplicáveis.

## 7.2 Dimensionamento das ligações flangeadas circulares

**7.2.1** Para que o estado-limite último de escoamento das placas dos flanges circulares não ocorra, essas placas devem possuir uma espessura,  $t_f$ , que atenda à condição:

$$t_f \geq \sqrt{\frac{2\gamma_{al}N_{0,Sd}}{\pi f_3 f_y}}$$

com

$$f_3 = \frac{1}{2k_1} \left( k_2 + \sqrt{k_2^2 - 4k_1} \right)$$

sendo

$$k_1 = \ln \left( \frac{r_2}{r_3} \right)$$

$$k_2 = k_1 + 2$$

$$r_2 = \frac{d}{2} + e_1$$

$$r_3 = \frac{d - t_0}{2}$$

onde

$d$  (diâmetro do perfil tubular circular) e  $e_1$  (distância entre a face do perfil tubular circular e o eixo dos parafusos) estão representados na Figura 12 (a).

**7.2.2** Para que o estado-limite último de escoamento por ruptura por tração dos parafusos dos flanges circulares não ocorra, o número de parafusos,  $n$ , não pode ser inferior a 5 e deve ainda atender à condição:

$$n \geq \frac{N_{0,Sd}}{F_{t,Rd}} \left( 1 - \frac{1}{f_3} + \frac{1}{f_3 k_3} \right)$$



onde  $F_{t,Rd}$  é a força de tração resistente de cálculo de um parafuso, determinada segundo a ABNT NBR 8800, e

$$k_3 = \ln\left(\frac{r_1}{r_2}\right)$$

com

$$r_1 = \frac{d}{2} + 2e_1$$

Adicionalmente, a distância  $e_1$  deve atender à condição:

$$\frac{\pi(d + 2e_1)}{n_b} \geq 3d_b$$

onde

$d_b$  é o diâmetro dos parafusos.

### 7.3 Dimensionamento das ligações flangeadas retangulares

**7.3.1** Para que o estado-limite último de escoamento por ruptura por tração dos parafusos dos flanges retangulares não ocorra, deve-se ter:

$$F_{t,Sd} + Q_{al} \leq F_{t,Rd}$$

onde  $F_{t,Sd}$  é a força de tração solicitante de cálculo de um parafuso, desconsiderando o efeito de alavanca (ver 7.3.3),  $Q_{al}$  o efeito de alavanca, se existir, correspondente a um parafuso e  $F_{t,Rd}$  a força resistente de cálculo de um parafuso.

**7.3.2** Para que o estado-limite último de escoamento das placas dos flanges retangulares não ocorra, levando-se em conta o efeito de alavanca, essas placas devem possuir uma espessura,  $t_f$ , que atenda à condição:

$$t_f \geq \sqrt{\frac{4\gamma_{al} b F_{t,Sd}}{p(1 + \delta\alpha_p) f_y}}$$

com

$$p = 2(d_b + e_1)$$

$$b = e_1 - \frac{d_b}{2}$$

$$\delta = 1 - \frac{d_f}{p}$$

e com  $\alpha_p$  igual a 1,0 se  $\beta \geq 1,0$ , ou igual ao menor valor entre 1,0 e  $\frac{1}{\delta} \left( \frac{\beta}{1-\beta} \right)$  se  $\beta < 1,0$ , sendo



$$\beta = \frac{1}{\rho} \left( \frac{F_{t,Rd}}{F_{t,Sd}} - 1 \right)$$

$$\rho = \frac{b}{a}$$

$$b = e_1 - \frac{d_b}{2}$$

$$a = e_2 + \frac{d_b}{2}, \text{ mas tomando } e_2 \leq 1,25e_1$$

onde

$e_1$  e  $e_2$  estão representados na Figura 12 (b);

$d_f$  é o diâmetro dos furos.

**7.3.3** Na determinação da força de tração solicitante de cálculo dos parafusos deve-se considerar a força adicional decorrente do efeito de alavanca (figura 13), conforme 7.3.4:

$$Q_{al} = F_{t,Rd} \left[ \delta \alpha \rho \left( \frac{t_f}{t_c} \right)^2 \right],$$

onde  $t_c$  é uma espessura de referência, dada por

$$t_c = \sqrt{\frac{4bF_{t,Sd}}{p(f_y/\gamma_{al})}}$$

e

$$\alpha = \frac{1}{\delta} \left[ \frac{F_{t,Sd}}{F_{t,Rd}} \left( \frac{t_c}{t_f} \right)^2 - 1 \right] \geq 0$$

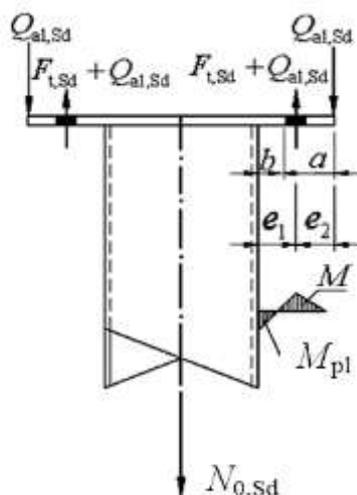


Figura 13 – Efeito de alavanca

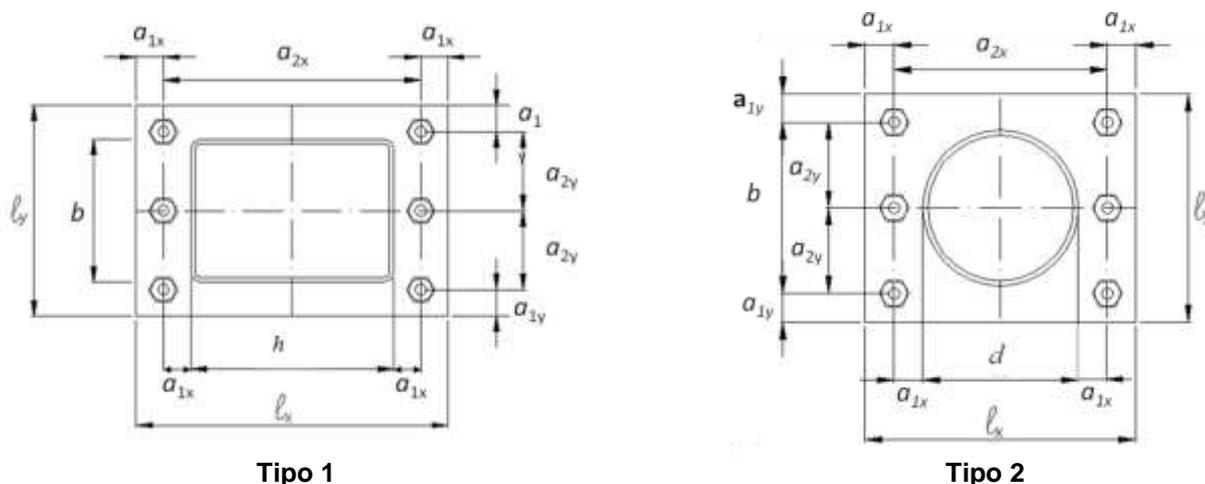
7.3.4 O efeito de alavanca pode ser desprezado se a espessura da placa de flange for igual ou superior a  $t_c$ .

## 8 Bases de Pilares

### 8.1 Considerações gerais

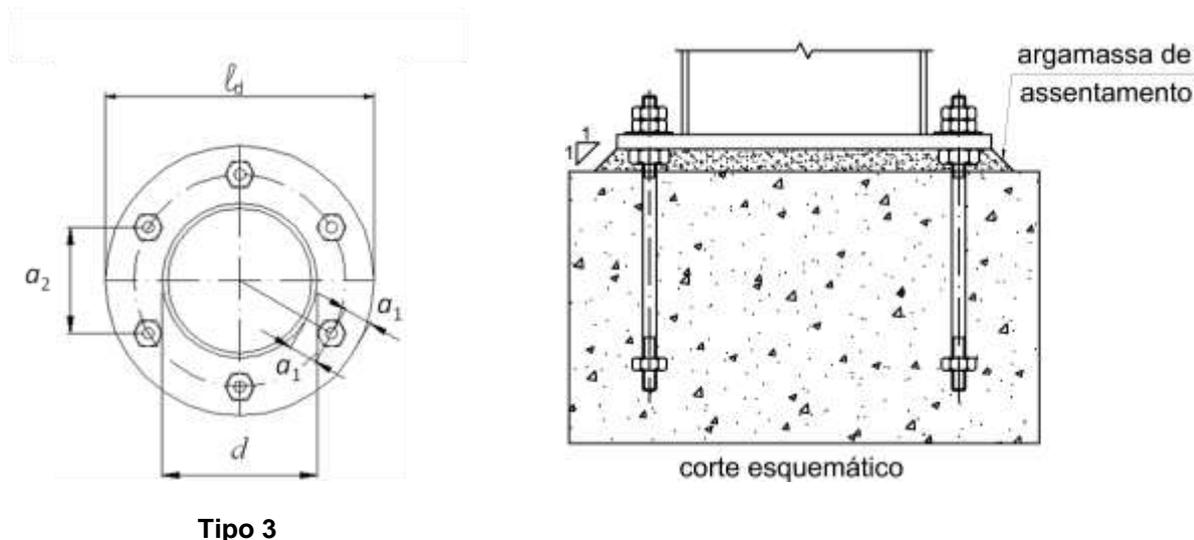
8.1.1 Esta Seção trata da ligação de pilares de aço e pilares mistos de aço e concreto à fundação de concreto armado, submetida a ações estáticas. No caso de pilares de aço, a maior dimensão da seção transversal não pode ser superior a 510mm.

8.1.2 A ligação é constituída de uma placa de base retangular ou circular soldada ao perfil de aço do pilar e fixada no bloco de fundação por meio de barras redondas rosqueadas (chumbadores), conforme mostrado na Figura 14. Para facilitar a montagem e o nivelamento, deve-se colocar argamassa expansiva de assentamento entre a face inferior da placa de base e a superfície do concreto. Os elementos componentes da ligação devem ser dimensionados de forma que seus esforços resistentes de cálculo aos estados-limites últimos aplicáveis sejam iguais ou superiores aos esforços solicitantes de cálculo, determinados pela análise da estrutura, sujeita às combinações de cálculo das ações, conforme a ABNT NBR 8800.



Tipo 1

Tipo 2

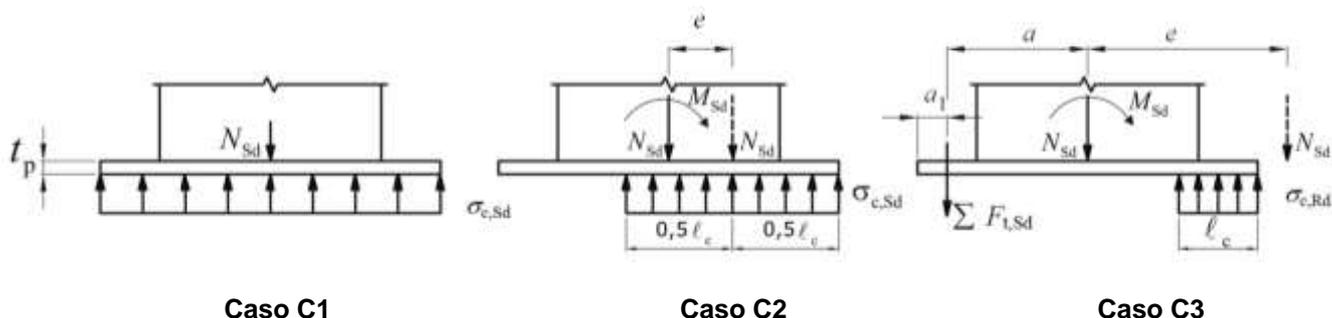


Tipo 3

Figura 14 – Tipos de ligação de apoio de pilares

**8.1.3** De maneira geral, a ligação está sujeita a força axial, de compressão ou tração, a momento fletor e força cortante, que podem induzir os seguintes estados-limites últimos: formação de charneira plástica na placa de base, ruptura por tração do chumbador, arrancamento do chumbador, esmagamento do concreto ou da argamassa expansiva de assentamento na região de contato com a placa de base e deslizamento da ligação. Considera-se que a solda de ligação do pilar à placa de base tenha sido devidamente dimensionada conforme os critérios desta Norma ou da ABNT NBR 8800, onde aplicáveis.

**8.1.4** Simplificadamente, o comportamento e a distribuição de esforços na ligação podem ser considerados conforme se apresenta na Figura 15, se a força axial for de compressão, e na Figura 16, se for de tração. Na Figura 15, o caso C1 corresponde à situação em que não há momento fletor aplicado e a pressão de contato distribui-se uniformemente sob a placa de base; o caso C2, à situação de pequena excentricidade, onde o equilíbrio é possível sem a introdução de forças de tração nos chumbadores; o caso C3, à situação de grande excentricidade, onde é necessário considerar forças de tração nos chumbadores, para se manter o equilíbrio. Na Figura 16, o caso T1 corresponde à situação em que não há momento fletor aplicado e a força axial de tração distribui-se uniformemente entre os chumbadores; o caso T2, à situação de pequena excentricidade, onde o equilíbrio é possível sem que haja pressão de contato do concreto sob a placa de base; o caso T3, à situação de grande excentricidade, onde é necessário considerar a existência de pressão de contato, para se manter o equilíbrio.



Caso C1

Caso C2

Caso C3

Figura 15 – Força axial de compressão

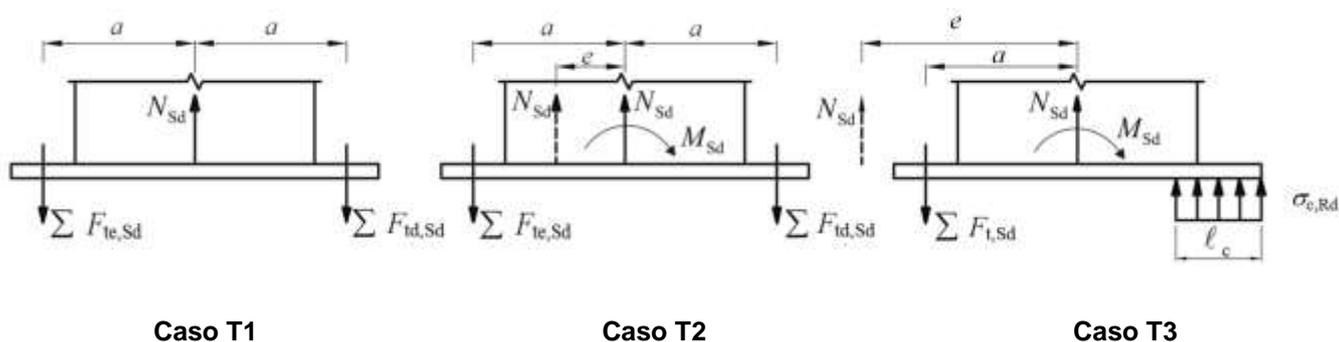


Figura 16 – Força axial de tração

8.1.5 Considera-se que os estados-limites mencionados em 8.1.3 não sejam violados se:

- $t_p \geq t_{p, \min}$ , onde  $t_p$  é a espessura da placa de base e  $t_{p, \min}$  deve ser obtido de 8.2;
- nos casos onde ocorre tração nos chumbadores (casos C3 e T1 a T3),  $d_b \geq d_{b, \min}$ , onde  $d_b$  é o diâmetro externo de um chumbador e  $d_{b, \min}$  deve ser obtido de 8.2;
- os chumbadores forem constituídos de barras redondas rosqueadas de aço ASTM A36 ou equivalente com resistência ao escoamento  $f_y$  igual a 250 MPa e, juntamente com a placa de base, forem projetados conforme as exigências e disposições construtivas dadas na Tabela 23;
- a resistência característica à compressão da argamassa expansiva de assentamento for igual ou 50% superior à do concreto do bloco de fundação e, nos casos onde ocorre pressão de contato do concreto sob a placa de base,  $\sigma_{c, Sd} \leq \sigma_{c, Rd}$ , onde  $\sigma_{c, Sd}$  é a tensão de compressão solicitante de cálculo e  $\sigma_{c, Rd}$  a tensão de compressão resistente de cálculo, obtida da ABNT NBR 8800;
- $V_{Sd} \leq V_{Rd}$ , onde  $V_{Sd}$  é a força cortante solicitante de cálculo e  $V_{Rd}$  a força cortante resistente de cálculo na face superior da placa de base obtida de 8.2.

## 8.2 Dimensionamento da ligação

8.2.1 Devem ser calculadas as seguintes grandezas:

$$e = \frac{M_{Sd}}{N_{Sd}}$$

Para ligação com placa de base retangular,

$$\ell_x = \begin{cases} h + 4a_1 & \text{para perfis tubulares retangulares} \\ d + 4a_1 & \text{para seções tubulares circulares} \end{cases}$$

$$\ell_y \geq \begin{cases} (0,5n_b - 1)a_2 + 2a_1 \\ b + 25\text{mm} \end{cases}$$

$$m = \begin{cases} \frac{\ell_x - 0,95h}{2} & \text{para seções tubulares retangulares} \\ \frac{\ell_x - 0,80d}{2} & \text{para seções tubulares circulares} \end{cases}$$

$$n = \begin{cases} \frac{\ell_y - 0,95b}{2} & \text{para seções tubulares retangulares} \\ \frac{\ell_y - 0,80d}{2} & \text{para seções tubulares circulares} \end{cases}$$

$$p = \sqrt{\ell_c(2m - \ell_c)}$$

$$\ell_{y,\text{eq}} = n_b(d_b + m - a_1) \leq \ell_y$$

$$m_{\text{eq}} = m$$

$$n_{b,\text{eq}} = n_b$$

$$\tau_{c,Rd} = 0,2 \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \leq 4\text{MPa}$$

Para ligação com placa de base circular,

$$\ell_d = d + 4a_1$$

$$\ell_x = \ell_y = 0,90\ell_d$$

$$m = n = \frac{0,90\ell_d - 0,80d}{2}$$

$$p = \sqrt{\ell_c(2m - \ell_c)}$$

$$\ell_{y,\text{eq}} = n_b(d_b + m_{\text{eq}} - a_1) \leq 0,90\ell_d$$

$$m_{\text{eq}} = \frac{\ell_d - 0,80d}{2}$$

$$n_{b,\text{eq}} = \frac{2}{3}n_b \leq 8$$



Onde

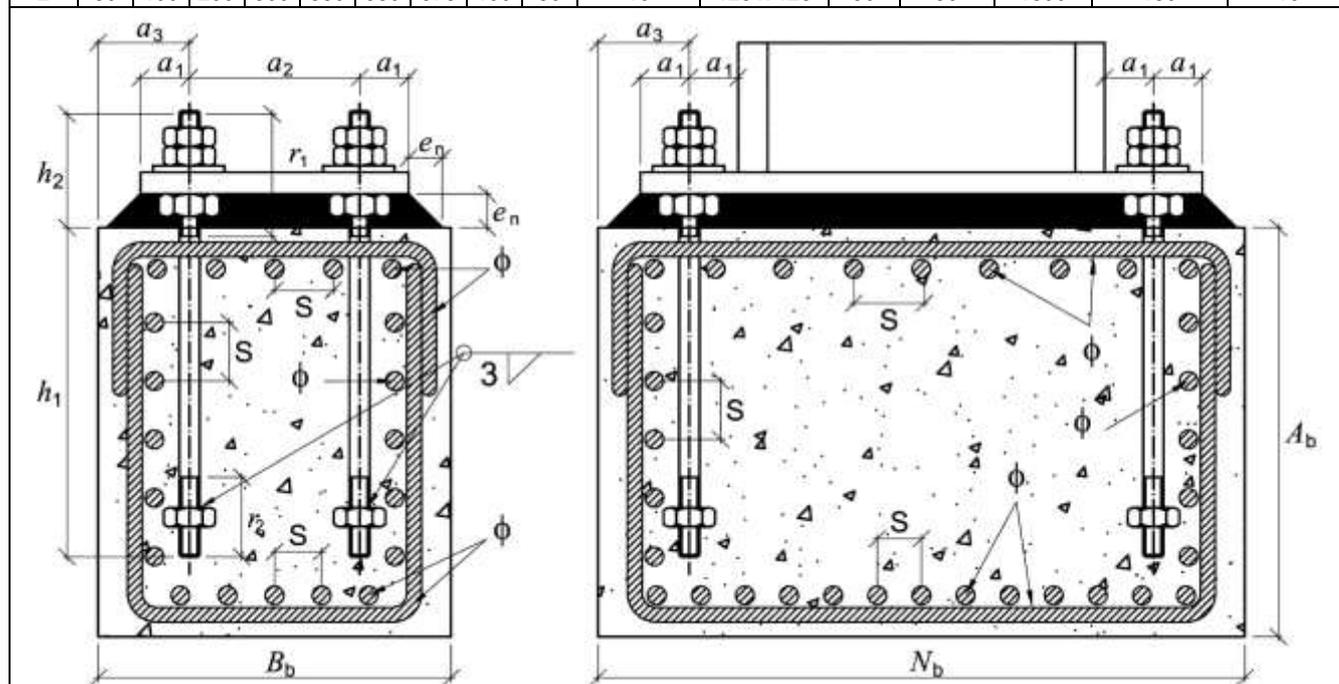
$l_c$  é o comprimento do trecho da placa sujeito à pressão de contato do concreto, calculado por expressões dadas em 8.2.2,

$n_b$  é o número de chumbadores da ligação ( $4 \leq n_b \leq 8$  para ligação tipo 1 e 2 e  $n_b \geq 8$  para ligações tipo 3),

$a$  é a distância da linha de chumbadores (ou do círculo formado pelos chumbadores, no caso de placa circular) à linha de centro da placa (ou seja, é o raio do círculo formado pelos chumbadores, no caso de placa circular, igual a  $d/2 + a_1$  e as demais grandezas estão definidas nas Figuras 14 a 16 e na Tabela 23.

Tabela 23 – Disposições Construtivas

Dimensões														Armadura mínima do bloco <sup>f</sup>		
pol	$d_b^a$ mm	$a_1$ mm	$a_2^g$ mm	$a_3$ mm	$h_1$ mm	$h_2$ mm	$r_1$ mm	$r_2$ mm	$d_f$ mm	Arruelas especiais <sup>a,c,d</sup>		$e_n$ mm	$f_{ck,min.}^b$ MPa	$N_{b,min.}^e$ mm	S mm	$\phi$ mm
										Espessura mm	Dimensões mm x mm					
3/4	19	40	80	120	450	150	175	50	33	6,3	50 x 50	40	20	900	100	10
7/8	22	45	90	140	465	200	225	50	40	6,3	65 x 65	50	20	900	100	10
1	25	50	100	160	465	200	225	50	45	8	75 x 75	60	20	900	125	12,5
1 1/4	32	65	130	190	525	225	250	60	50	9,5	75 x 75	60	20	1100	125	12,5
1 1/2	38	80	160	230	610	250	275	70	60	9,5	90 x 90	70	25	1300	150	16
1 3/4	44	90	180	270	700	300	325	70	70	12,5	100 x 100	80	25	1600	150	16
2	50	100	200	300	850	350	375	100	80	16	125 x 125	90	30	1800	150	16



<sup>a</sup> As disposições construtivas são válidas somente para chumbadores em aço ASTM A36, arruelas especiais de aço com  $f_y = 345$  MPa e para um número mínimo de quatro e um número máximo de oito chumbadores;  
<sup>b</sup>  $f_{ck,min.}$  é o menor valor de  $f_{ck}$  para não ocorrer esmagamento do concreto na região da porca de ancoragem dos chumbadores.

<sup>c</sup> O diâmetro do furo das arruelas especiais deve ser igual a  $d_b + 1,5$  mm.

<sup>d</sup> As arruelas especiais não precisam ser soldadas à placa de base, exceto quando necessário para transmitir a força cortante aos chumbadores (ver 8.2.3).

<sup>e</sup> O bloco deve ser devidamente dimensionado, conforme os critérios da ABNT NBR 6118, porém respeitando-se as seguintes dimensões mínimas:

$$N_b = \text{maior valor entre } N_{b,min.}, l_x + 2e_n \text{ e } l_x + 2(a_3 - a_1)$$

$$B_b = \text{maior valor entre } l_y + 2e_n \text{ e } l_y + 2(a_3 - a_1)$$

$$A_b = \text{maior valor entre } h_1 + 100 \text{ mm e } N_b$$

Nas expressões acima, para ligação tipo 3 (Figura 14), substituir  $l_x$  e  $l_y$  por  $l_d$

<sup>f</sup> A armadura do bloco deve ser devidamente dimensionada, conforme os critérios da ABNT NBR 6118, porém respeitando-se os valores mínimos apresentados nesta Tabela.

<sup>g</sup> Para a ligação tipo 3 (Figura 14), a dimensão  $a_2$  deve ser entendida como a distância mínima exigida entre dois chumbadores consecutivos.

8.2.2 Os valores de  $t_{p,\min}$ ,  $d_{b,\min}$  e  $V_{Rd}$  devem ser calculados por meio das seguintes expressões:

a) Para o caso C1, ou seja,  $e = 0$ :

$$t_{p,\min} = \ell_{\max} \sqrt{\frac{2\sigma_{c,Sd}}{(f_y / \gamma_{a1})}}$$

$$V_{Rd} = \mu\sigma_{c,Sd}\ell_x\ell_y \leq \tau_{c,Rd}\ell_x\ell_y$$

$$V_{Rd} = \mu\sigma_{c,Sd}\ell_c\ell_y \leq \tau_{c,Rd}\ell_x\ell_y$$

onde

$\ell_{\max}$  deve ser tomado como o maior valor entre  $m$  e  $n$ ;

$$\sigma_{c,Sd} = \frac{N_{Sd}}{\ell_x\ell_y}$$

$\mu$  é o coeficiente de atrito entre a placa de base e a fundação, podendo ser tomado igual a 0,55.

b) Para o caso C2, ou seja,  $0 < e \leq \frac{1}{2} \left( \ell_x - \frac{N_{Sd}}{\sigma_{c,Rd}\ell_y} \right)$ :

$$t_{p,\min} = \ell_{\max} \sqrt{\frac{2\sigma_{c,Sd}}{(f_y / \gamma_{a1})}}$$

$$V_{Rd} = \mu\sigma_{c,Sd}\ell_x\ell_y \leq \tau_{c,Rd}\ell_x\ell_y$$

$$V_{Rd} = \mu\sigma_{c,Sd}\ell_c\ell_y \leq \tau_{c,Rd}\ell_x\ell_y$$

onde

$\ell_{\max}$  deve ser tomado igual a:  $\begin{cases} \text{se } \ell_c \geq m, & \text{o maior valor entre } m \text{ e } n \\ \text{se } \ell_c < m, & \text{o maior valor entre } p \text{ e } n \end{cases}$

$$\ell_c = \ell_x - 2e$$

$$\sigma_{c,Sd} = \frac{N_{Sd}}{\ell_c\ell_y}$$

c) Para o caso C3, ou seja,  $e > \frac{1}{2} \left( \ell_x - \frac{N_{Sd}}{\sigma_{c,Rd}\ell_y} \right)$ :

$t_{p,\min}$  deve ser tomado como o maior valor entre  $t_{p,\min1}$  e  $t_{p,\min2}$ ;

$$d_{b,\min} = \sqrt{\frac{4F_{t,Sd}}{0,75\pi(f_{ub}/\gamma_{a2})}}$$

$$V_{Rd} = \mu\sigma_{c,Rd}\ell_c\ell_y \leq \tau_{c,Rd}\ell_x\ell_y$$

onde

$$t_{p,\min1} = \ell_{\max} \sqrt{\frac{2\sigma_{c,Rd}}{(f_y/\gamma_{a1})}}$$

$$t_{p,\min2} = \sqrt{\frac{2n_{b,eq}F_{t,Sd}(m_{eq} - a_1)}{\ell_{y,eq}(f_y/\gamma_{a1})}}$$

$\ell_{\max}$  deve ser tomado igual a:  $\begin{cases} \text{se } \ell_c \geq m, \text{ o maior valor entre } m \text{ e } n \\ \text{se } \ell_c < m, \text{ o maior valor entre } p \text{ e } n \end{cases}$

$$\ell_c = \left(\frac{\ell_x}{2} + a\right) - \sqrt{\left(\frac{\ell_x}{2} + a\right)^2 - \frac{2N_{Sd}(e+a)}{\sigma_{c,Rd}\ell_y}}, \text{ se } \left(\frac{\ell_x}{2} + a\right)^2 \geq \begin{cases} \frac{2,25N_{Sd}(e+a)}{\sigma_{c,Rd}\ell_y} \text{ para bases tipo 1 e 2} \\ \frac{3,125N_{Sd}(e+a)}{\sigma_{c,Rd}\ell_y} \text{ para bases tipo 3} \end{cases}; \text{ caso}$$

contrário, deve-se alterar a ligação;

$$F_{t,Sd} = \frac{2(\sigma_{c,Rd}\ell_c\ell_y - N_{Sd})}{n_{b,eq}}$$

d) Para o caso T1 ou seja,  $e = 0$ :

$$t_{p,\min} = \sqrt{\frac{2n_b F_{t,Sd}(m_{eq} - a_1)}{\ell_{y,eq}(f_y/\gamma_{a1})}}$$

$$d_{b,\min} = \sqrt{\frac{4F_{t,Sd}}{0,75\pi(f_{ub}/\gamma_{a2})}}$$

onde

$$F_{t,Sd} = \frac{N_{Sd}}{n_b}$$

Para a determinação de  $V_{Rd}$ , ver 8.2.3.

e) Para o caso T2, ou seja,  $0 < e \leq a$ :

$t_{p,\min}$  e  $d_{b,\min}$  devem ser calculados conforme a alínea d), porém com:

$$F_{t,Sd} = F_{te,Sd} = \frac{N_{Sd}}{n_b} + \frac{M_{Sd}}{a n_{b,eq}}$$

Para a determinação de  $V_{Rd}$ , ver 8.2.3.

$n_b$  não pode ser tomado maior que 8

f) Caso T3, ou seja,  $e > a$ :

$t_{p,\min}$  deve ser tomado como o maior valor entre  $t_{p,\min1}$  e  $t_{p,\min2}$

$$d_{b,\min} = \sqrt{\frac{4F_{t,Sd}}{\pi(f_{ub}/\gamma_{a2})}}$$

$$V_{Rd} = \mu\sigma_{c,Rd}l_c l_y \leq \tau_{c,Rd}l_x l_y$$

onde

$$t_{p,\min1} = l_{\max} \sqrt{\frac{2\sigma_{c,Rd}}{(f_y/\gamma_{a1})}}$$

$$t_{p,\min2} = \sqrt{\frac{2n_{b,eq}F_{t,Sd}(m_{eq} - a_1)}{l_{y,eq}(f_y/\gamma_{a1})}}$$

$l_{\max}$  deve ser tomado igual a:  $\begin{cases} \text{se } l_c \geq m, \text{ o maior valor entre } m \text{ e } n \\ \text{se } l_c < m, \text{ o maior valor entre } p \text{ e } n \end{cases}$

$$l_c = \left(\frac{l_x}{2} + a\right) - \sqrt{\left(\frac{l_x}{2} + a\right)^2 - \frac{2N_{Sd}(e-a)}{\sigma_{c,Rd}l_y}}, \text{ se } \left(\frac{l_x}{2} + a\right)^2 \geq \left. \begin{array}{l} \frac{2,25N_{Sd}(e+a)}{\sigma_{c,Rd}l_y} \text{ para bases tipo 1 e 2} \\ \frac{3,125N_{Sd}(e+a)}{\sigma_{c,Rd}l_y} \text{ para bases tipo 3} \end{array} \right\}; \text{ caso}$$

contrário, deve-se alterar a ligação;

$$F_{t,Sd} = \frac{2(\sigma_{c,Rd}l_c l_y + N_{Sd})}{n_{b,eq}}$$

Ver ainda 8.2.3

**8.2.3** Para os casos T1 e T2 e nas demais situações previstas em 8.2.2 em que  $V_{Sd}$  supere  $V_{Rd}$ , torna-se necessária a colocação de dispositivos especiais para a transmissão da força cortante solicitante de cálculo à fundação, como placa de cisalhamento (ver 8.2.4) ou arruelas especiais com furos-padrão soldadas à placa de base (ver Tabela 23 e 8.2.5), entre outros. Nesses casos, a determinação da força cortante resistente de cálculo,  $V_{Rd}$ , deve ser feita de acordo com o dispositivo empregado (ver 8.2.4 e 8.2.5). O bloco de concreto deve ser adequadamente dimensionado para resistir à força cortante solicitante de cálculo, levando em conta os efeitos locais no concreto.

**8.2.4** A determinação da força cortante resistente de cálculo,  $V_{Rd}$ , referente à placa de cisalhamento (Figura 16), deve ser feita de acordo com a seguinte expressão:

$$V_{Rd} = \sigma_{c,Rd} (b_v - e_n) b_h$$

onde

$b_v$  e  $b_h$  estão definidas na Figura 17 e  $\sigma_{c,Rd}$  deve ser obtido da ABNT NBR 8800:2008, considerando-se  $A_2/A_1$  igual a 4.

A espessura da placa de cisalhamento,  $t_{pv}$ , deve ser maior ou igual a  $t_{pv,min}$  dada por:

$$t_{pv,min} = \sqrt{\frac{2V_{Sd}(b_v + e_n)}{b_h(f_y / \gamma_{al})}}$$

Entretanto, a espessura da placa de cisalhamento não pode ser superior à placa de base. Caso isso seja necessário, pela expressão acima, deve-se aumentar a espessura da placa de base.

A menos que seja utilizada solda de penetração total, a solda da placa de cisalhamento com placa de base deve ser capaz de resistir à ação conjunta da força cortante resistente de cálculo,  $V_{Rd}$ , com o momento fletor solicitante de cálculo, dado por:

$$M_{Sd} = \frac{1}{2} \sigma_{c,Rd} b_h (b_v^2 - e_n^2)$$

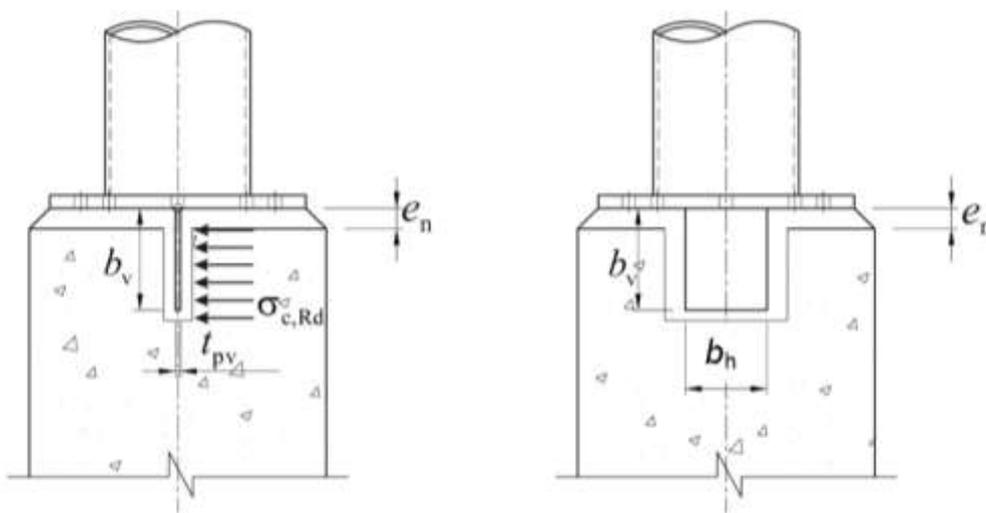


Figura 17 – Placa de cisalhamento

**8.2.5** Para o caso de arruelas soldadas à placa de base, a força cortante resistente de cálculo,  $V_{Rd}$ , deve ser determinada de acordo com a seguinte expressão:

$$V_{Rd} = \sum_{i=1}^{n_{b,eq}} F_{v,Rd,i}$$

onde

$$F_{v,Rd,i} = \frac{1}{1+a^2} \left[ \sqrt{(1+a^2)F_{v,Rd,i}^2 - (0,533F_{t,Sd,i})^2} - \alpha(0,533F_{t,Sd,i}) \right] \leq 5d_b^2 \sigma_{c,Rd}$$
$$\alpha = 1,45 \frac{(t_p + 0,5t_a) f_u \gamma_{a1}}{d_b f_y \gamma_{a2}}$$

onde  $F_{t,Sd,i}$  é a força de tração solicitante de cálculo em um chumbador (ver 8.2.2) e  $F_{v,Rd,i}$  é a força cortante resistente de cálculo de um chumbador, dada por:

A solda da arruela com a placa de base deve ser capaz de resistir à força  $F_{v,Rd,i}$ .

## 9 Vigas mistas de aço e concreto

**9.1** O dimensionamento de vigas mistas de aço e concreto, em que o componente de aço seja constituído de um perfil tubular, com uma laje de concreto ligada à sua face superior por meio de conectores de cisalhamento, pode ser feito com base na ABNT NBR 8800, observando-se as adaptações apresentadas em 9.2 e 9.3, para perfis retangulares e circulares, respectivamente. Para treliças mistas, ver 9.4.

**9.2** Para os perfis retangulares, a relação entre a altura e a espessura da alma ( $h/t_w$ ), apresentada no Anexo O da ABNT NBR 8800:2008, deve ser substituída por  $h_e/t$ , onde  $h_e$  é a distância entre as faces internas das mesas subtraída de duas vezes o raio de concordância e  $t$  é a espessura da parede do perfil. A relação  $h_p/t_w$ , deve ser substituída por  $h_p/t$ , onde o termo  $h_p$  deve ser tomado como o dobro da altura da parte comprimida da alma subtraído de duas vezes o raio de concordância. Para cálculo do momento fletor resistente de cálculo, podem ser usadas as formulações apresentadas em O.2.3 a O.2.5 da ABNT NBR 8800:2008, substituindo-se  $d$  por  $h$ ,  $b_f$  por  $b$ ,  $t_w$  por  $2t$  e  $t_f$  por  $t$ , onde  $h$  e  $b$  são a altura total e a largura do perfil tubular, respectivamente. O termo  $h_w$  deve ser tomado como a distância entre as faces internas das mesas, isto é,  $h$  menos duas vezes  $t$ , e o termo  $h_0$ , como a distância entre os centros geométricos das mesas do perfil tubular, isto é,  $h$  menos  $t$ .

**9.3** Para os perfis circulares, na falta de um cálculo mais preciso, pode-se considerar um perfil retangular equivalente com a mesma espessura da parede, em que a altura total  $h$  e a largura  $b$  sejam tomadas iguais a  $d$  e  $0,55d$ , respectivamente. Deve-se ter ainda  $d/t \leq 0,07 E/f_y$ . Nesse caso, aplica-se o disposto em 9.2.

**9.4** Para as treliças mistas, devem ser utilizadas as prescrições da ABNT NBR:8800. Permite-se, entretanto, que sejam utilizadas as prescrições desta Norma para cálculo de força axial resistente de cálculo. As ligações entre os elementos componentes devem ser dimensionadas de acordo com esta Norma.

## 10 Pilares mistos de aço e concreto

### 10.1 Generalidades

O dimensionamento de pilares mistos constituídos de perfis tubulares preenchidos com concreto deve ser feito com base na ABNT NBR 8800. Alternativamente, pode-se utilizar:

- a) a modificação, apresentada em 10.2, para o cálculo da rigidez efetiva à flexão, utilizada para a determinação da força resistente de cálculo à compressão axial;
- b) o modelo de cálculo, apresentado em 10.3, para pilares submetidos à flexo-compressão;
- c) os dispositivos especiais, apresentados em 10.4, nas regiões de introdução de cargas;
- d) na determinação da força cortante resistente de cálculo do pilar misto, uma das seguintes opções:
  - a força cortante resistente de cálculo do pilar de aço, conforme ABNT NBR:8800;
  - a força cortante resistente de cálculo do concreto armado, conforme ABNT NBR:6118;
  - a soma das forças cortantes resistente de cálculo do pilar de aço e do concreto armado, sem a consideração da parcela da força cortante resistida por mecanismos complementares ao de treliça ( $V_c$ , na nomenclatura da ABNT NBR 6118: 2007)

### 10.2 Rigidez efetiva à flexão

A rigidez efetiva à flexão pode ser dada por:

$$(EI)_e = E_a I_a + 0,70 E_c I_c + E_s I_s$$

### 10.3 Modelo de cálculo para pilares submetidos à flexo-compressão

**10.3.1** A verificação dos efeitos da força axial de compressão e dos momentos fletores pode ser feita por meio das seguintes expressões (a que for aplicável):

- a) para  $N_{Sd} \leq N_{c,Rd}$

$$\frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \leq 1,0$$

- b) para  $N_{Sd} > N_{c,Rd}$

$$\frac{N_{Sd} - N_{c,Rd}}{N_{Rd} - N_{c,Rd}} + \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \leq 1,0$$



onde:

$N_{Sd}$  é a força axial de compressão solicitante de cálculo;

$N_{c,Rd}$  é a força axial de compressão resistente de cálculo referente apenas à parcela do concreto, dada pelo produto  $\chi N_{pl,c,Rd}$ , com essas duas grandezas determinadas de acordo a ABNT NBR 8800, mas adotando-se a modificação apresentada em 10.2 para o cálculo da rigidez efetiva à flexão;

$N_{Rd}$  é a força axial de compressão resistente de cálculo, dada pelo produto  $\chi N_{pl,Rd}$ , com essas duas grandezas determinadas de acordo a ABNT NBR 8800, mas adotando-se a modificação apresentada em 10.2 para o cálculo da rigidez efetiva à flexão;

$M_{x,Sd}$  e  $M_{y,Sd}$  são os momentos fletores solicitantes de cálculo, em relação aos eixos x e y, respectivamente, da seção transversal do pilar misto;

$M_{x,Rd}$  e  $M_{y,Rd}$  são os momentos fletores resistentes de cálculo, em relação aos eixo x e y da seção transversal do pilar misto, dados por  $0,9M_{pl,x,Rd}$  e  $0,9M_{pl,y,Rd}$ , respectivamente;

$M_{pl,x,Rd}$  e  $M_{pl,y,Rd}$  são os momentos fletores de plastificação de cálculo, em relação aos eixos x e y da seção transversal do pilar misto, respectivamente, obtidos de P.5.4.1 da ABNT NBR 8800.

## 10.4 Dispositivos especiais para as regiões de introdução de carga

**10.4.1** Nas regiões de introdução de carga, como a de ligação de pilar com vigas (ver P.2.1 da ABNT NBR 8800:2008), quando as tensões de cisalhamento na interface entre o aço e o concreto, no comprimento de introdução de carga, obtidas com os esforços solicitantes de cálculo, superarem os valores de  $\tau_{Rd}$  dados na Tabela P.1 da ABNT NBR 8800:2008, devem ser utilizados dispositivos especiais para resistir à totalidade dos efeitos dos esforços solicitantes de cálculo. Nesta Norma, podem ser utilizados dispositivos similares aos tipos 1 e 2 apresentados nas Figuras 18 e 19, respectivamente. Ressalta-se que esses dispositivos devem estar situados dentro do comprimento de introdução de carga, conforme definido em P.2.1.1 da ABNT NBR 8800:2008.

**10.4.2** No dispositivo tipo 1 são usados parafusos (comuns ou de alta resistência) cujo espaçamento entre eixos, em qualquer direção, não pode ser inferior a seis vezes o seu diâmetro. Cuidados especiais devem ser tomados para evitar que os parafusos se desloquem durante a concretagem do pilar. A força resistente de cálculo de cada parafuso deve ser tomada como o menor valor obtido das seguintes expressões:

$$V_{Rd} = \ell_b d_b \sigma_{c,Rd} \leq 5d_b^2 \sigma_{c,Rd}$$

$$V_{Rd} = 0,4\pi \frac{d_b^2}{4} \frac{f_{ub}}{\gamma_{a2}} \leq 2,4d_b t \frac{f_u}{\gamma_{a2}}$$

onde:

$\ell_b$  e  $d_b$  são o comprimento líquido (descontando-se a espessura da parede do tubo) e o diâmetro dos parafusos, respectivamente,

$t$  é a espessura da parede do tubo,

$f_u$  e  $f_{ub}$  são, respectivamente, a resistência à ruptura do aço do tubo e do parafuso;

$\sigma_{c,Rd}$  deve ser obtido de 6.6.5, da ABNT NBR 8800:2008, tomando-se  $A_2/A_1$  igual a 4.

**10.4.3** No dispositivo tipo 2, são feitas aberturas nas paredes do perfil tubular de aço, nas quais soldam-se chapas com conectores de cisalhamento tipo pino com cabeça. A força resistente de cálculo de cada conector de cisalhamento deve ser obtida de O.4.2.1.1 da ABNT NBR 8800:2008, tomando-se  $R_g$  e  $R_p$  iguais a 1,0. Para isso, o espaçamento entre os eixos dos conectores, em qualquer direção, não pode ser inferior a seis vezes o seu diâmetro e a solda entre a chapa e o tubo deve ser adequadamente dimensionada, conforme os critérios da ABNT NBR 8800 e desta Norma, onde aplicáveis.

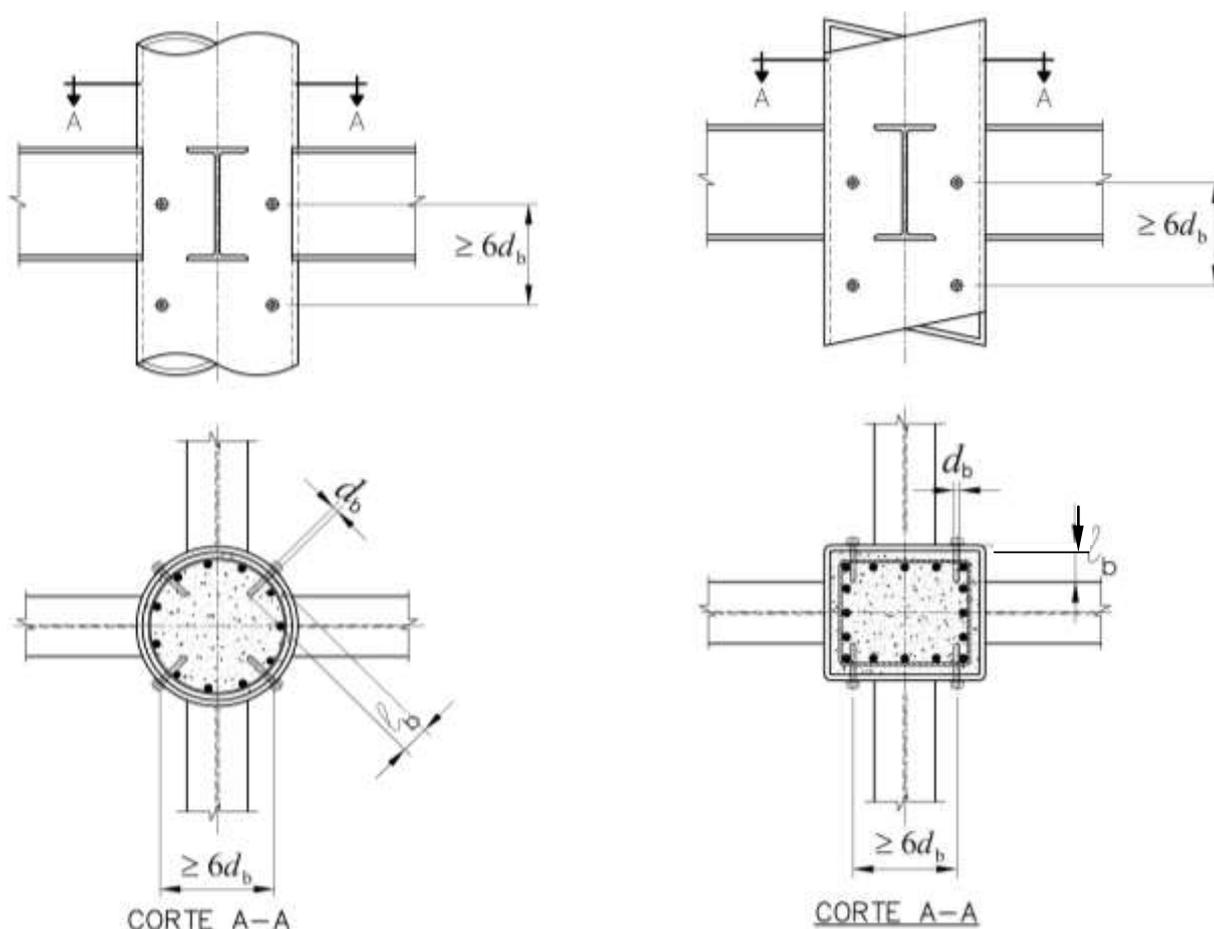


Figura 18 – Dispositivo tipo 1

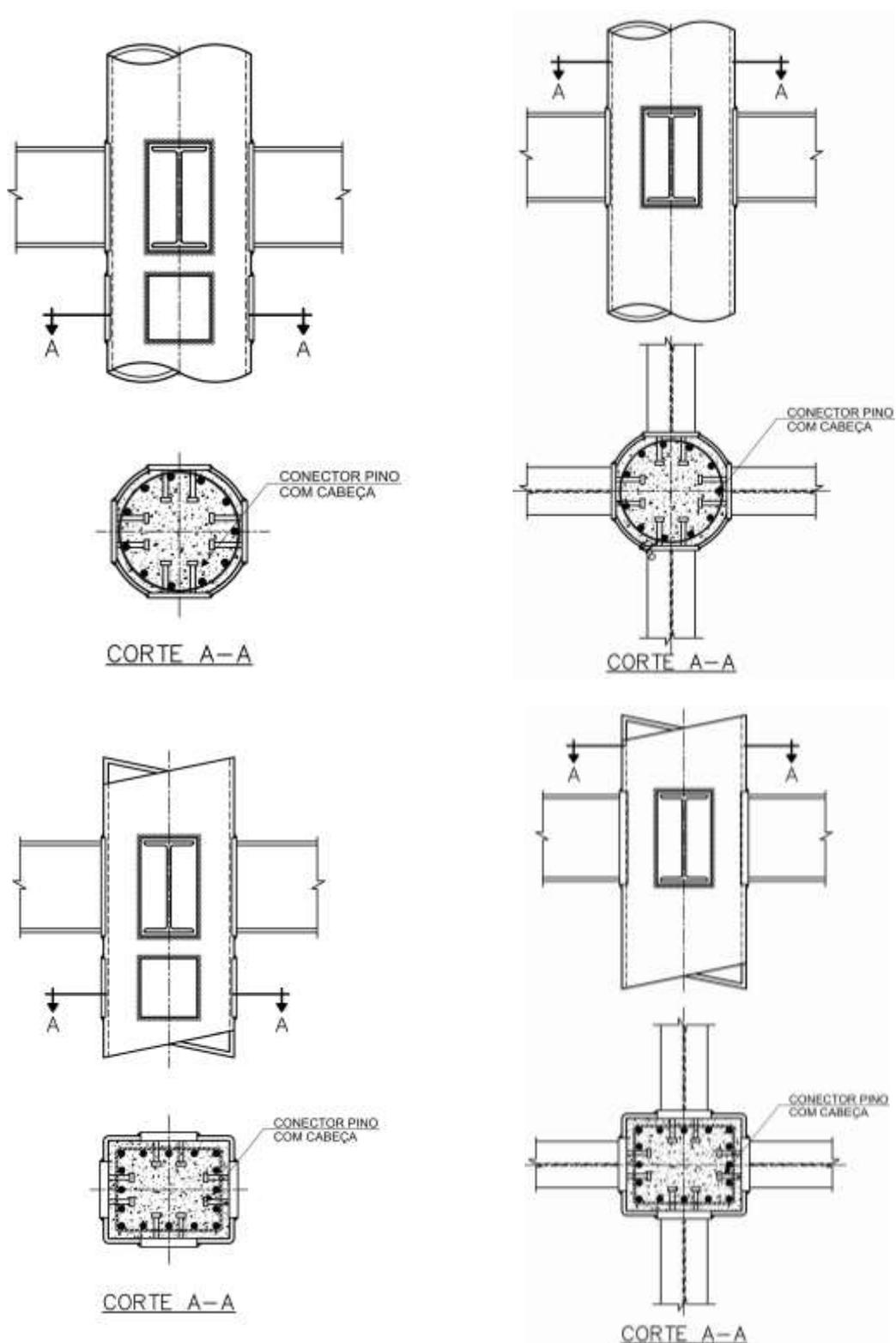


Figura 19 – Dispositivo tipo 2

## Anexo A (normativo)

### Soldas

#### A.1 Escopo

As prescrições deste Anexo A aplicam-se às ligações soldadas apresentadas na Seção 6, não sujeitas a fadiga, de perfis tubulares com espessura de parede menor ou igual a 37,5 mm, dimensionados conforme as prescrições desta Norma. Todas as disposições da ABNT NBR 8800 relativas a ligações soldadas são aplicáveis, exceto as correspondentes aos itens que tratam dos mesmos assuntos deste Anexo. Para ligações soldadas sujeitas a fadiga ou de perfis tubulares com espessura de parede superior a 37,5 mm, devem ser adotados os procedimentos da ABNT NBR 8800 e AWS D1.1, onde aplicáveis.

#### A.2 Identificações e definições

**A.2.1** As regiões soldadas e a geometria da ligação devem ser identificados de acordo com o apresentado nas Figuras A.1 e A.2, respectivamente. Nessas figuras, região interna significa o trecho soldado correspondente ao ângulo agudo; região externa, o trecho soldado correspondente ao ângulo obtuso; e região lateral, os demais trechos soldados.

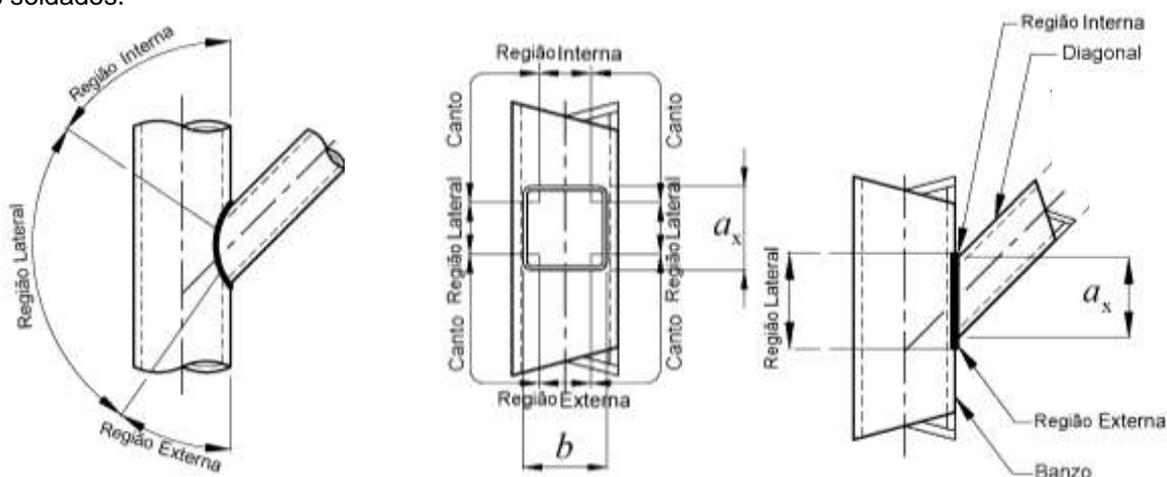


Figura A.1 – Identificação das regiões soldadas

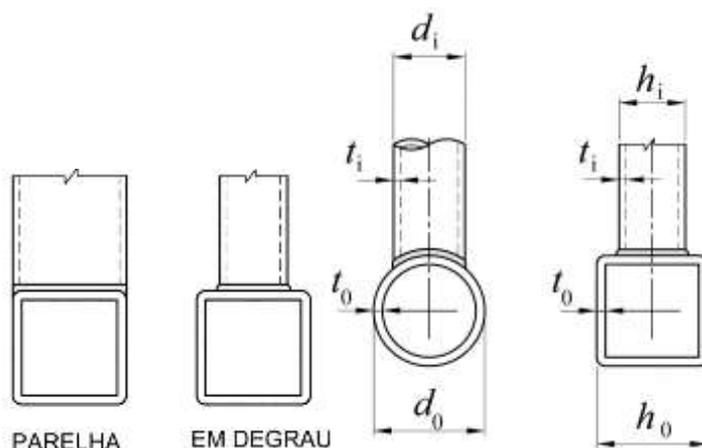


Figura A.2 – Geometria das ligações

A.2.2 O ângulo do diedro local,  $\psi$ , é o ângulo entre as tangentes das superfícies externas dos tubos ligados pela solda, medido em um plano perpendicular à linha da raiz da solda – ver Figura A.3. Nas ligações com perfis circulares, as Figuras A.4 a A.7 podem ser utilizadas para a determinação do ângulo do diedro local de cada região da solda. Nessas figuras, o ângulo  $\rho$  é medido a partir do eixo vertical da seção transversal da diagonal ou montante (ver Figura A3).

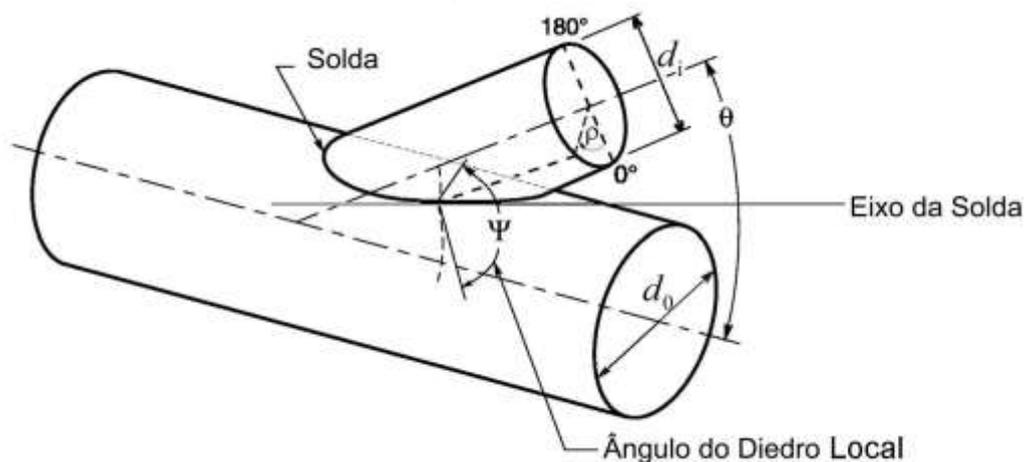


Figura A.3 – Definição do ângulo do diedro local

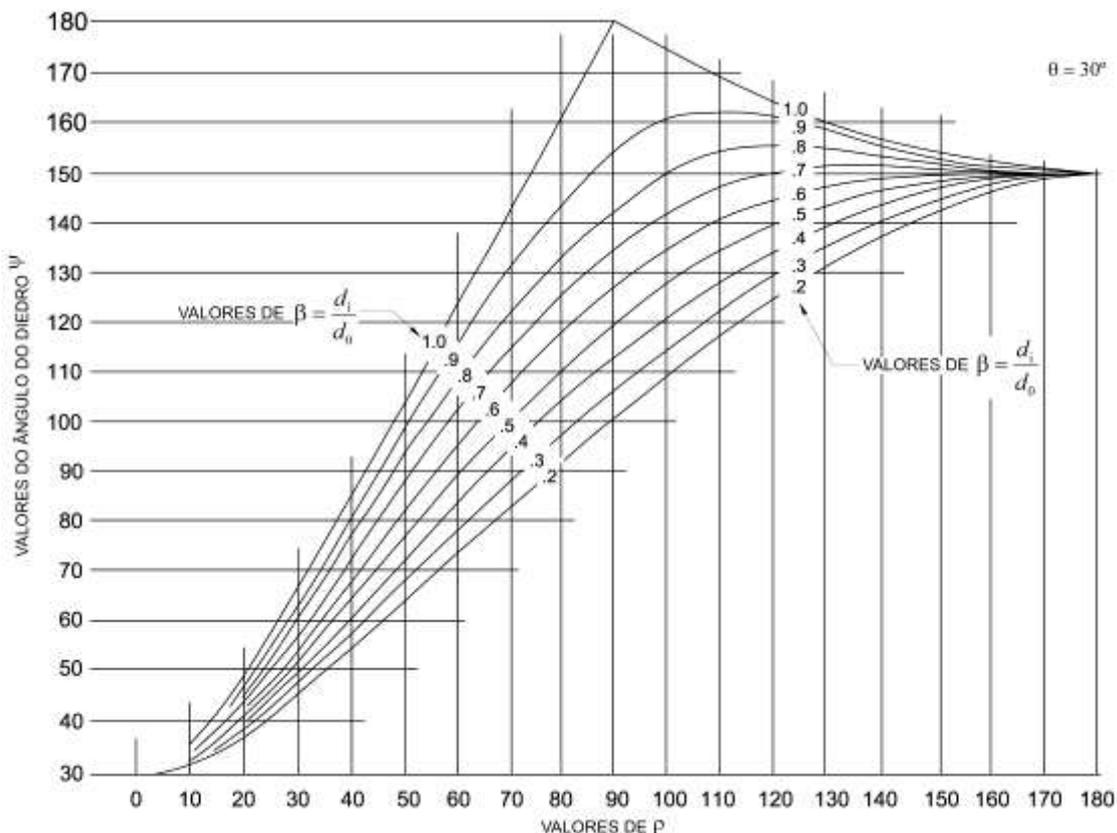


Figura A.4 – Valores do ângulo do diedro local para  $\theta = 30^\circ$

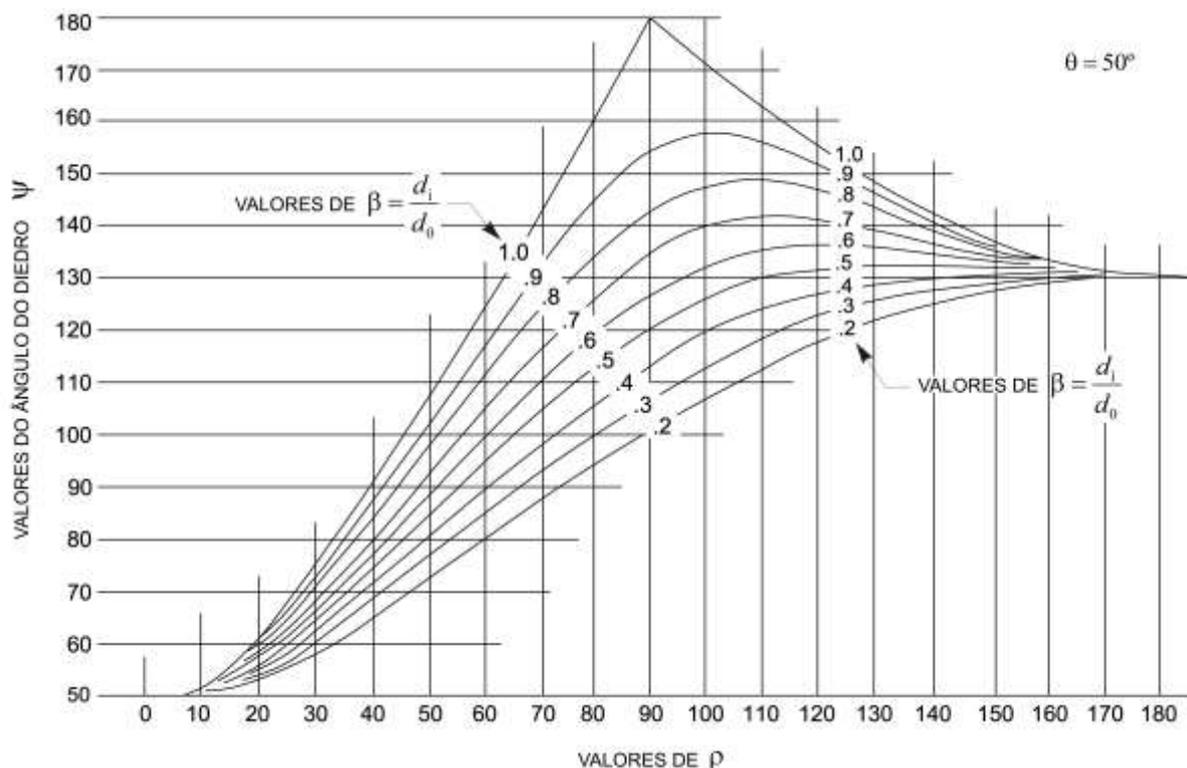


Figura A.5 – Valores do ângulo do diedro local para  $\theta = 50^\circ$

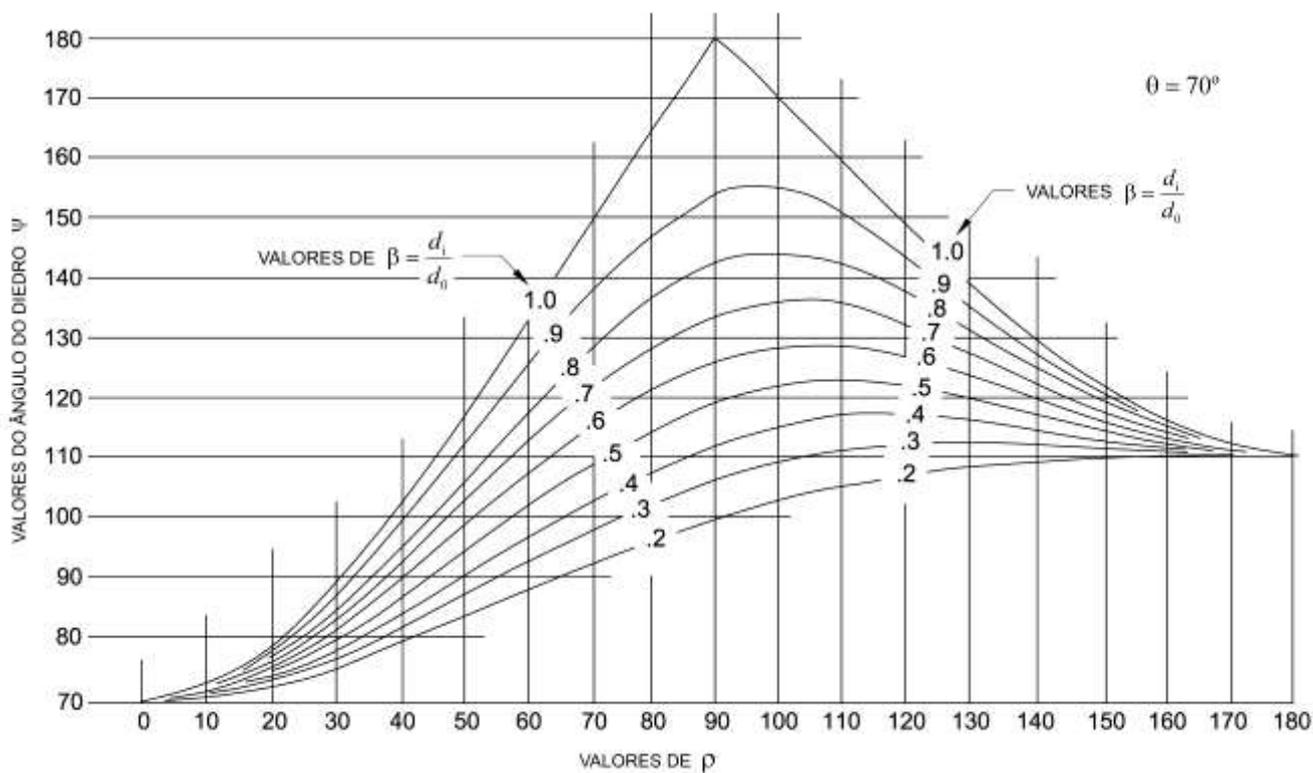


Figura A.6 – Valores do ângulo do diedro local para  $\theta = 70^\circ$

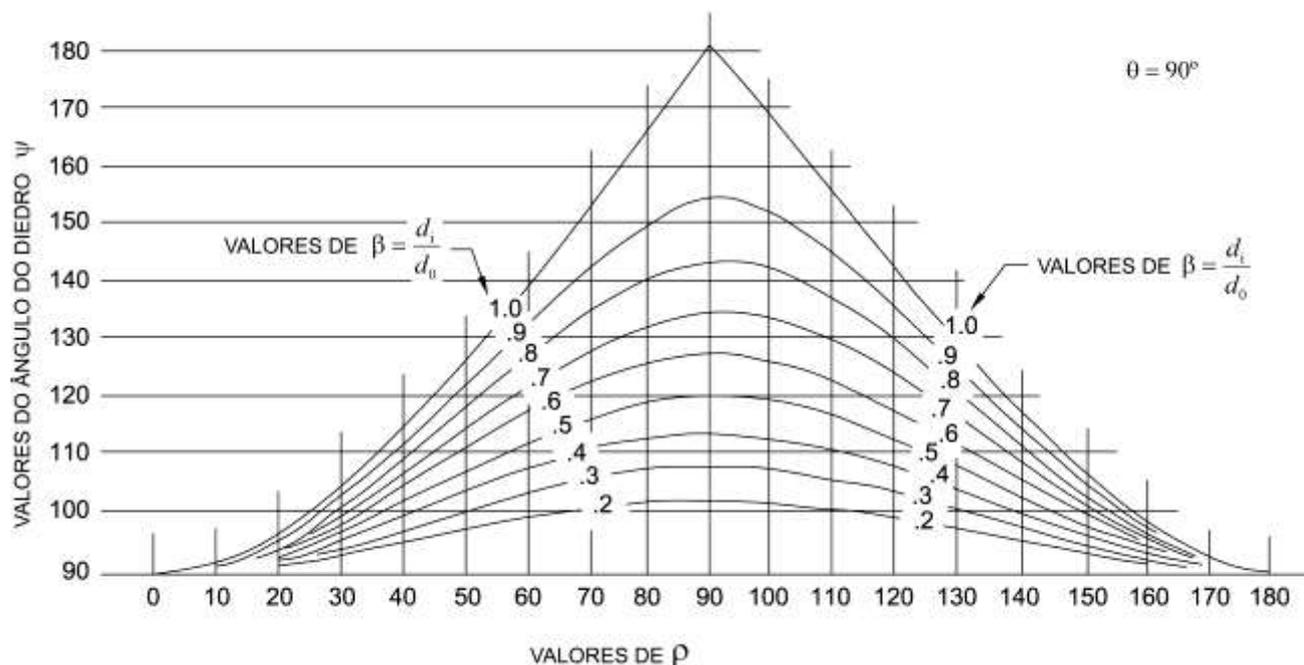


Figura A.7 – Valores do ângulo do diedro local para  $\theta = 90^\circ$

### A.3 Solda de filete

Para que uma ligação com solda de filete seja considerada pré-qualificada, devem ser adotadas as dimensões mínimas da perna do filete (excluindo-se a abertura da raiz se esta for superior a 1,5 mm), apresentadas na Tabela A.1, em função do tipo do aço e do ângulo do diedro local ( $\psi$ ), e os detalhes, conforme apresentados na Figura A.8. Esses detalhes são limitados a  $d_i/d_o \leq 1/3$ , para perfis tubulares circulares, e  $b_i/b_o \leq 0,8$ , para perfis tubulares retangulares. Na Tabela A.1,  $t$  é a espessura da menor parede soldada e  $z$  é obtido da Tabela A.2, em função do ângulo da junta e do processo de soldagem (ver Figura A.8). A abertura da raiz ( $R_v$ ) não pode ser superior a 5 mm.

Tabela A.1 – Dimensões mínimas da perna do filete

Dimensão mínima da perna do filete ( $d_w$ )		
Região	$f_y \leq 280$ MPa	$f_y > 280$ MPa
$\psi \leq 60^\circ$	$1,5t$	maior entre $1,5t$ e $1,4t + z$
$60^\circ < \psi < 100^\circ$	$1,4t$	$1,5t$
$100^\circ \leq \psi < 110^\circ$	$1,6t$	$1,75t$
$110^\circ \leq \psi \leq 120^\circ$	$1,8t$	$2,0t$
$\psi > 120^\circ$	$1,4t$ com entalhe parcial	chanfro completo com ângulo da junta entre $60^\circ$ e $90^\circ$
t é a menor espessura das partes ligadas		

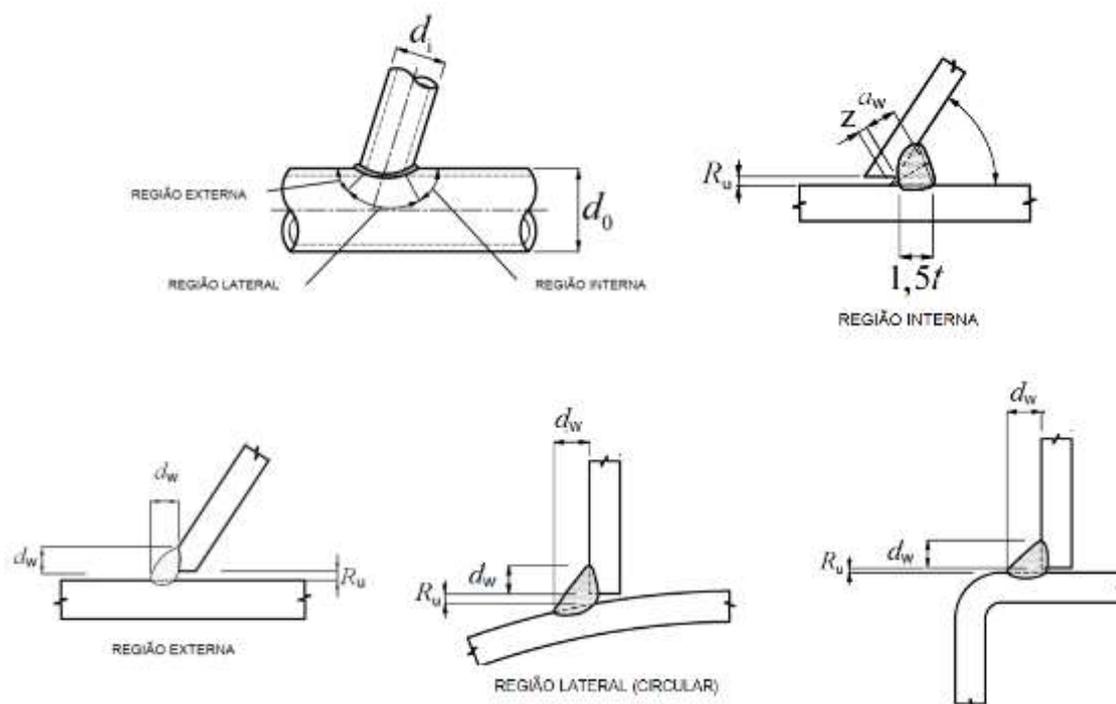


Figura A.8 – Ligações pré-qualificadas com solda de filete

### A.3.1 Área efetiva

A área efetiva deve ser calculada, conforme a ABNT NBR 8800, como o produto do comprimento efetivo da solda pela espessura da garganta efetiva,  $a_w$ . O comprimento efetivo da solda deve ser calculado conforme A.3.2.

### A.3.2 Comprimento efetivo

O comprimento efetivo da solda deve ser calculado conforme Tabela A.2 e Tabela A.3, para perfis tubulares circulares e retangulares, respectivamente. A espessura da garganta efetiva deve ser calculada conforme A.3.3.

Tabela A.2 – Comprimento efetivo da solda de perfis tubulares circulares

Perfis tubulares circulares	Comprimento efetivo da solda
	$\ell_{ef} = 2\pi r_w K_a$ $K_a = \frac{1 + 1/\sin\theta}{2}$ <p><math>\theta</math> é o ângulo agudo entre os eixos das barras.</p>

**Tabela A.3 – Comprimento efetivo da solda de perfis tubulares retangulares**

Ligações perfis tubulares retangulares	Comprimento efetivo da solda
K, N e DK com afastamento (i = 1 ou 2):	
	$l_{ef} = \begin{cases} \frac{2h_i}{\text{sen}\theta} + 2b_i & \text{para } \theta \leq 50^\circ \\ \frac{2h_i}{\text{sen}\theta} + b_i & \text{para } \theta \geq 60^\circ \\ \text{interpolarm linearment e para } 50^\circ < \theta < 60^\circ \end{cases}$
K, N e DK com sobreposição (1 = diagonais e montantes subpostos, 2 = diagonais e montantes sobrepostos)	
	<p>subposto para <math>25\% \leq \lambda_{ov} &lt; 50\%</math></p> $l_{ef} = \frac{2\lambda_{ov}}{50} \left[ \left(1 - \frac{\lambda_{ov}}{100}\right) \frac{h_2}{\text{sen}\theta_2} + \frac{\lambda_{ov}}{100} \frac{h_2}{\text{sen}(\theta_1 + \theta_2)} \right] + b_{2ef} + b_{eov}$ <p>para <math>50\% \leq \lambda_{ov} &lt; 80\%</math></p> $l_{ef} = 2 \left[ \left(1 - \frac{\lambda_{ov}}{100}\right) \frac{h_2}{\text{sen}\theta_2} + \frac{\lambda_{ov}}{100} \frac{h_2}{\text{sen}(\theta_1 + \theta_2)} \right] + b_{2ef} + b_{eov}$ <p>para <math>80\% \leq \lambda_{ov} &lt; 100\%</math></p> $l_{ef} = 2 \left[ \left(1 - \frac{\lambda_{ov}}{100}\right) \frac{h_2}{\text{sen}\theta_2} + \frac{\lambda_{ov}}{100} \frac{h_2}{\text{sen}(\theta_1 + \theta_2)} \right] + b_2 + b_{eov}$ <p>onde:</p> $b_{2,ef} = \frac{10}{b_0/t_0} \left( \frac{f_y t_0}{f_y t_2} \right) b_2 \leq \begin{cases} b_2 & \text{para } b_2/b_0 \leq 0,85 \text{ e } \theta \leq 50^\circ \\ 4t_0 & \text{para } b_2/b_0 > 0,85 \text{ ou } \theta > 50^\circ \end{cases}$ $b_{e,ov} = \frac{10}{b_1/t_1} \left( \frac{f_y t_1}{f_y t_2} \right) b_2 \leq \begin{cases} b_2 & \text{para } b_2/b_1 \leq 0,85 \text{ e } (180 - \theta_1 - \theta_2) \leq 50^\circ \\ 4t_1 & \text{para } b_2/b_1 > 0,85 \text{ ou } (180 - \theta_1 - \theta_2) < 50^\circ \end{cases}$ <p>sobreposto</p> $l_{ef} = \begin{cases} \frac{2h_1}{\text{sen}\theta} + 2b_1 & \text{para } \theta \leq 50^\circ \\ \frac{2h_1}{\text{sen}\theta} + b_1 & \text{para } \theta \geq 60^\circ \\ \text{interpolarm linearment e para } 50^\circ < \theta < 60^\circ \end{cases}$

**Tabela A.3 – Comprimento efetivo da solda de perfis tubulares retangulares (continuação)**

Demais ligações de tubo com tubo (i = 1 ou 2)	
	$l_{ef} = \frac{2h_i}{\text{sen}\theta} + 2b_{i,ef}$ $b_{i,ef} = \frac{10}{b_0/t_0} \left( \frac{f_{y0}t_0}{f_{yi}t_i} \right) b_i \leq \begin{cases} b_i & \text{para } \beta \leq 0,85 \text{ e } \theta \leq 50^\circ \\ 4t_0 & \text{para } \beta > 0,85 \text{ ou } \theta > 50^\circ \end{cases}$
Ligações com chapas	
	$l_{ef} = 2 \left( \frac{10}{b_0/t_0} \right) \left( \frac{f_{y0}t_0}{f_{yp}t_p} \right) b_{ch} \leq 2b_{ch}$ <p>a solda deve ser em ambas as faces da chapa.</p>

### A.3.3 Espessura da garganta efetiva

A espessura da garganta efetiva de uma solda de filete ( $a_w$ ) é igual à menor distância medida da raiz à face plana teórica da solda, para ângulo da junta ( $\phi$ ) maior ou igual a  $60^\circ$ , e a essa mesma distância reduzida da dimensão  $z$ , dada na Tabela A.4, para  $30^\circ \leq \phi \leq 60^\circ$ . Para  $\phi < 30^\circ$ , a solda não é considerada efetiva, devendo-se, portanto, tomar  $a_w = 0$ . No cálculo da espessura da garganta efetiva, a abertura da raiz ( $R_u$ ) deve ser levada em conta, caso seja superior a 1,5 mm.

**Tabela A.4 – Distância z**

Ângulo da junta ( $\phi$ )	Posição de soldagem: Vertical (V) ou Sobrecabeça (S)		Posição de soldagem: Horizontal (H) ou Plana (P)	
	Processo de soldagem	z (mm)	Processo de soldagem	z (mm)
$\phi \geq 60^\circ$	Arco elétrico com eletrodo revestido (SMAW)	0	Arco elétrico com eletrodo revestido (SMAW)	0
	Arco elétrico com fluxo no núcleo (FCAW)	0	Arco elétrico com fluxo no núcleo (FCAW)	0
	Arco elétrico com proteção gasosa (GMAW)	N/A	Arco elétrico com proteção gasosa (GMAW)	0
$60^\circ > \phi \geq 45^\circ$	Arco elétrico com eletrodo revestido (SMAW)	3	Arco elétrico com eletrodo revestido (SMAW)	3
	Arco elétrico com fluxo no núcleo (FCAW)	3	Arco elétrico com fluxo no núcleo (FCAW)	0
	Arco elétrico com proteção gasosa (GMAW)	N/A	Arco elétrico com proteção gasosa (GMAW)	0
$45^\circ > \phi \geq 30^\circ$	Arco elétrico com eletrodo revestido (SMAW)	6	Arco elétrico com eletrodo revestido (SMAW)	6
	Arco elétrico com fluxo no núcleo (FCAW)	10	Arco elétrico com fluxo no núcleo (FCAW)	6
	Arco elétrico com proteção gasosa (GMAW)	N/A	Arco elétrico com proteção gasosa (GMAW)	6

## A.4 Solda de Penetração

As dimensões das juntas, dos ângulos de entalhe e os detalhes das ligações pré-qualificadas com solda de penetração total (CJP) em apenas um lado da junta, sem extração de raiz, estão mostrados na Tabela A.5 e nas Figuras A.109 a A.12. As demais ligações com solda de penetração, soldadas em apenas um lado da junta, sem chapa de espera (“backing bar”), e em ambos os lados, sem extração de raiz, são consideradas de penetração parcial. As dimensões das juntas, dos ângulos de entalhe e os detalhes das ligações pré-qualificadas de penetração parcial (PJP) estão mostrados nas Figuras A.13 a A.15. A preparação das juntas para as soldas nos cantos deve propiciar uma transição suave de um detalhe para outro. Além disso, as soldas devem ser executadas continuamente ao longo dos cantos, de forma que o arco inicie e termine em faces planas.

### A.4.1 Área efetiva

A área efetiva deve ser calculada como o produto do comprimento efetivo da solda pela espessura da garganta efetiva. O comprimento efetivo da solda deve ser calculado conforme A.4.2. A garganta efetiva deve ser calculada conforme A.4.3.

### A.4.2 Comprimento efetivo da solda

O comprimento efetivo da solda de perfis circulares deve ser calculado conforme Tabela A.2 substituindo-se  $r_w$  por  $r_m$ , onde  $r_m$  é o raio médio do perfil tubular circular, isto é, medido na linha de centro da parede do tubo. O comprimento efetivo da solda de perfis tubulares retangulares deve ser calculado conforme Tabela A.3.

**Tabela A.5 – Dimensões das juntas e dos ângulos de entalhe das ligações pré-qualificadas com solda de penetração total (CJP)**

		Detalhe A $\Psi = 180^\circ - 135^\circ$		Detalhe B $\Psi = 150^\circ - 50^\circ$	Detalhe C <sup>a</sup> $\Psi = 75^\circ - 40^\circ$	Detalhe D <sup>a</sup> $\Psi = 40^\circ - 30^\circ$
$\omega$ (mínimo)		----		10° ou 45°, para $\Psi > 105^\circ$	10°	----
Abertura de raiz ( $R_u$ ) Mm		SMAW <sup>b</sup>	FCAW <sup>c</sup>	FCAW <sup>c</sup> SMAW <sup>b</sup>	SMAW <sup>b</sup>	SMAW <sup>b</sup>
	máx	5	5	6	----	----
	mín	2 ou 0, para $\phi > 90^\circ$	2 ou 0, para $\phi > 120^\circ$	2	----	----
W (máximo) mm		----	----	----	3	3
Ângulo da junta ( $\phi$ )	max	90°		60°, para $\Psi \leq 105^\circ$	40°; se maior usar detalhe B	----
	min	45°		37,5°; se menor usar detalhe C	0,5 $\Psi$ ou 30°, o que for maior	
Filete adicional (F)		----		de 0 a 0,5 $t_b$ a medida que $\Psi$ varie de 135° a 90°	0,5 $t_b$	0,5 $t_b$
Solda Completa	$a_w$ (mín)	$t_b$		$t_b$ para $\Psi \geq 90^\circ$ $t_b/\text{sen } \Psi$ para $\Psi < 90^\circ$	$t_b/\text{sen } \Psi \leq 1,75 t_b$	2 $t_b$
	$d_w$ (mín)	$t_b/\text{sen } \Psi \leq 1,75 t_b$		----	----	----

<sup>a</sup> A solda de vedação deve ter dimensões que garantam a qualidade da solda e a necessária largura do entalhe obedecendo-se o limite dado nesta Tabela.

<sup>b</sup> Arco elétrico com eletrodo revestido (SMAW)

<sup>c</sup> Arco elétrico com fluxo no núcleo (FCAW)

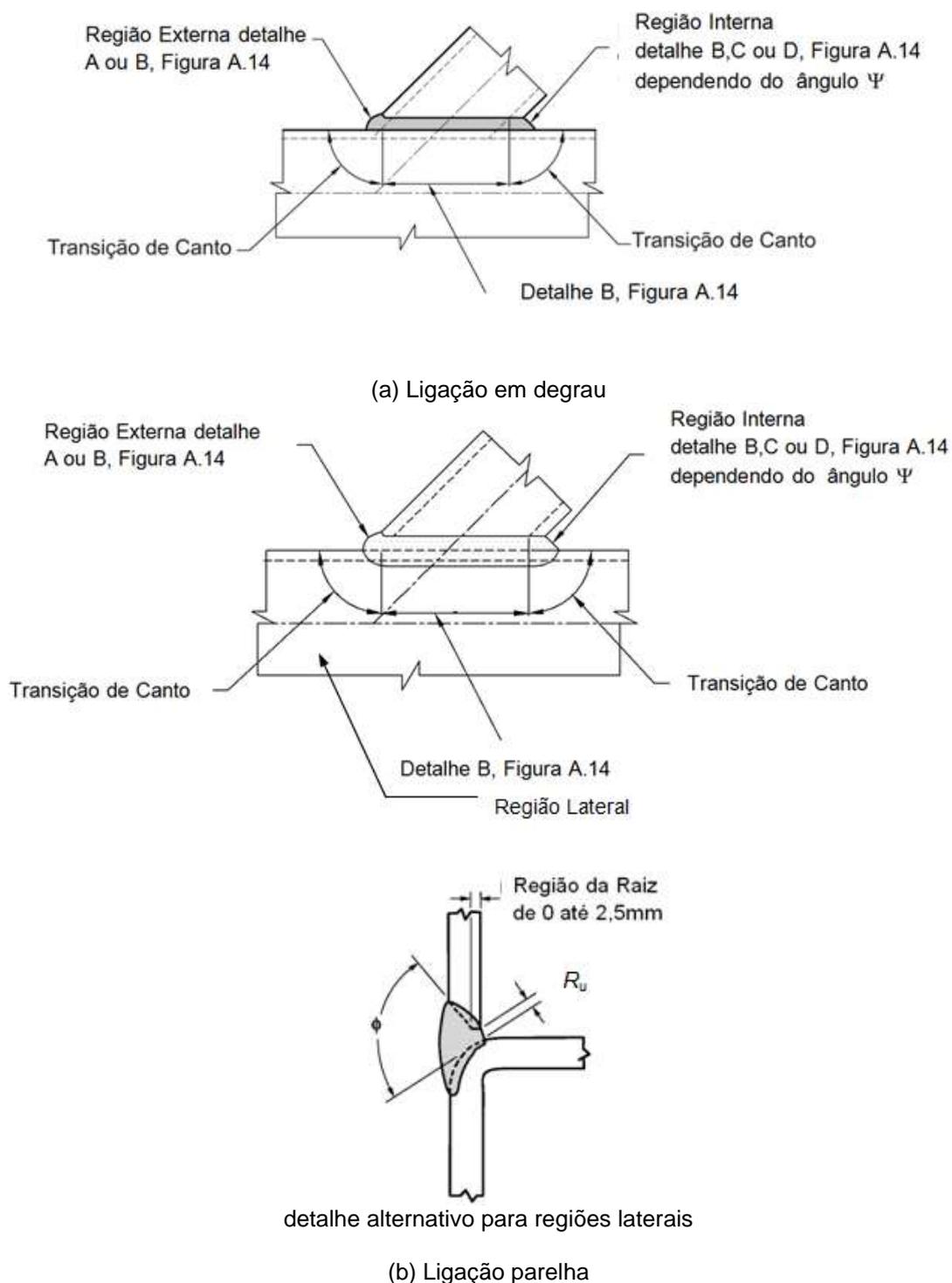


Figura A.10 – Definições e seleção de detalhes de ligações pré-qualificadas com solda de penetração total (CJP) de perfis tubulares retangulares

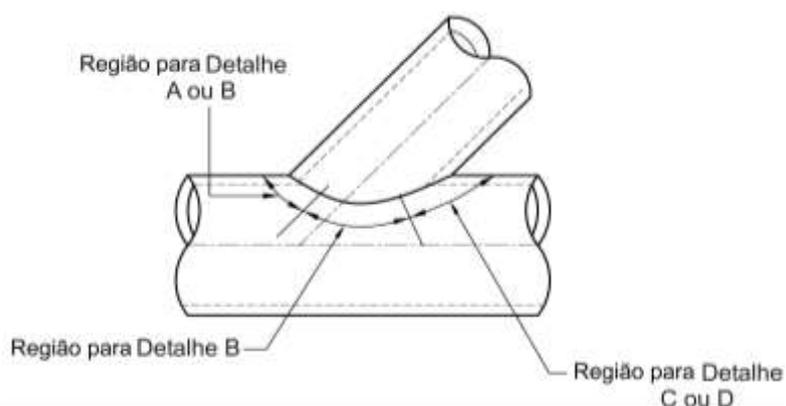


Figura A.11 – Definições e seleção de detalhes de ligações pré-qualificadas com solda de penetração total (CJP) de perfis tubulares circulares

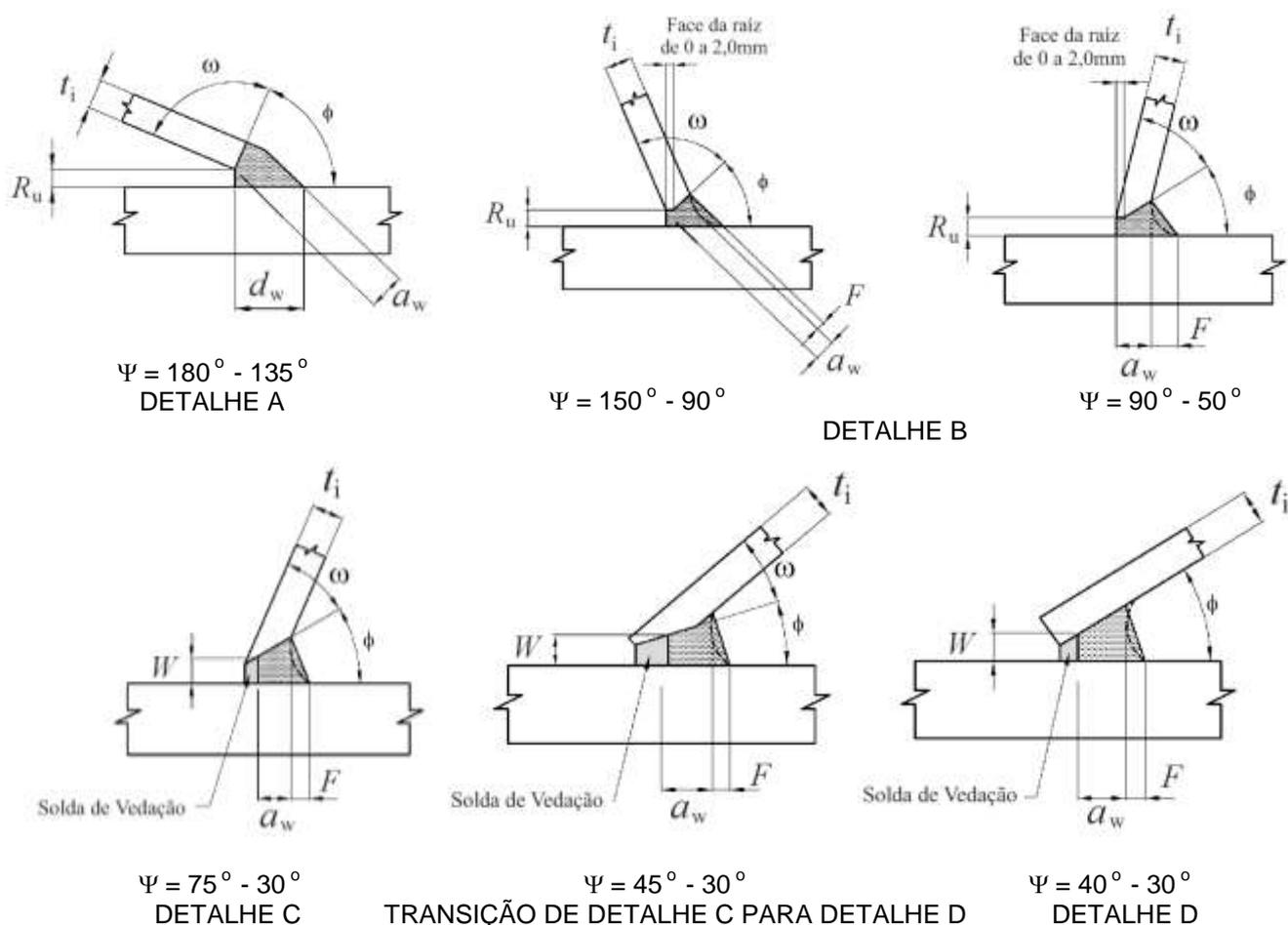


Figura A.12 – Detalhes de ligações pré-qualificadas com solda de penetração total (CJP) com espessura até 16 mm.

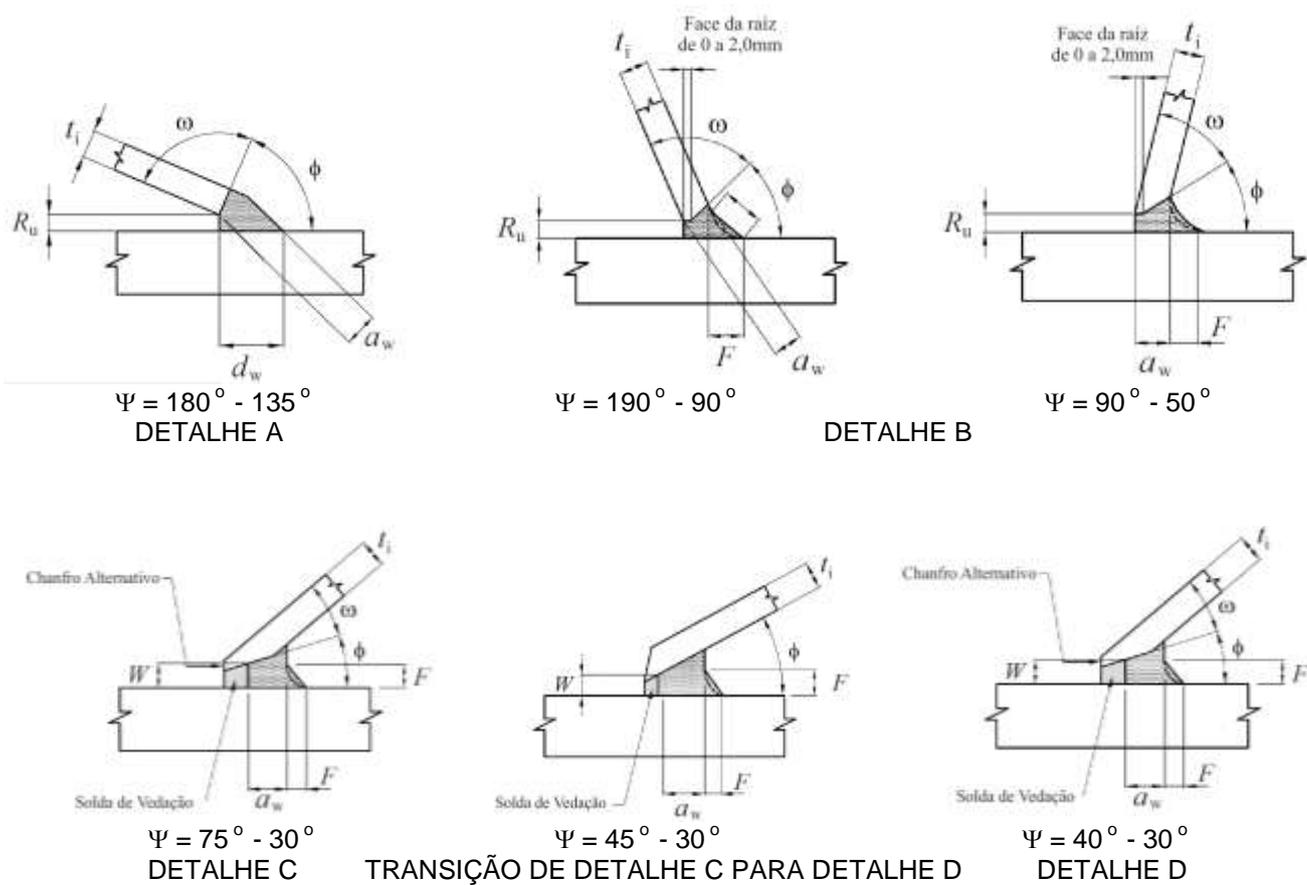
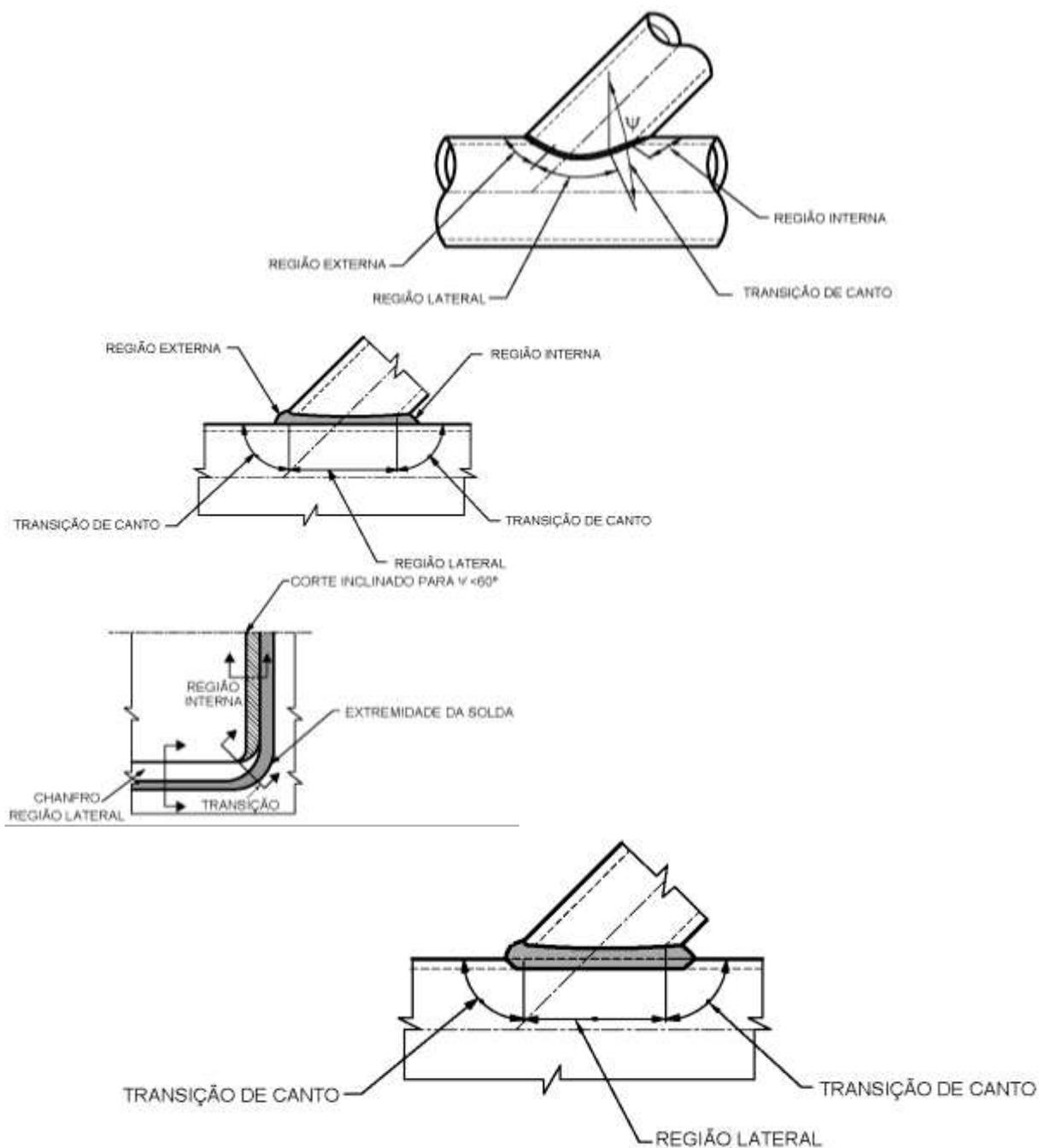


Figura A.13 – Detalhes de ligações pré-qualificadas com solda de penetração total (CJP) com espessura superior a 16 mm.



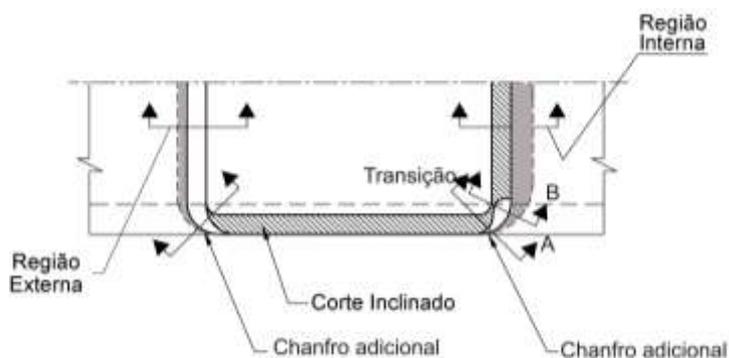
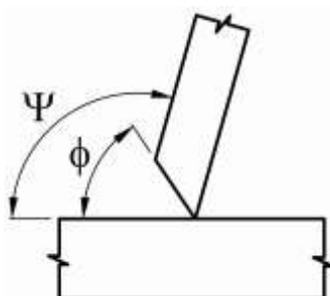


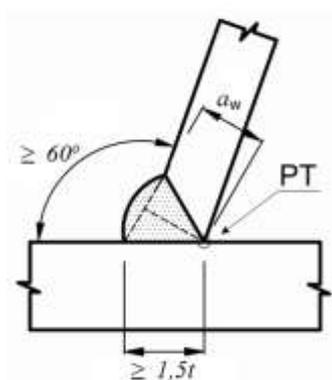
Figura A.14 – Detalhes de ligações pré-qualificadas com solda de penetração parcial (PJP)



$$150^\circ \geq \psi \geq 30^\circ$$

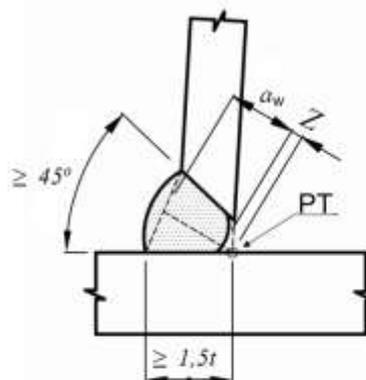
$$90^\circ > \phi \geq 30^\circ$$

**ESQUEMA PARA DEFINIÇÃO DOS ÂNGULOS**



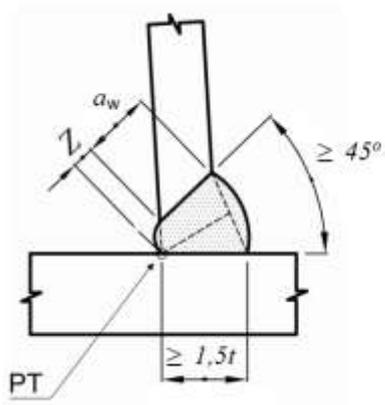
**REGIÃO EXTERNA**

$$\psi = 150^\circ - 105^\circ$$



**REGIÃO EXTERNA OU INTERNA**

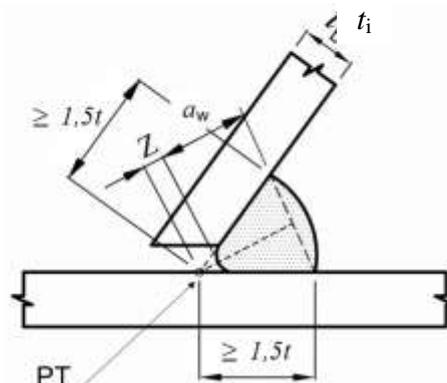
$$\psi = 105^\circ - 90^\circ$$



**REGIÃO LATERAL OU INTERNA**

$$\psi = 90^\circ - 75^\circ$$

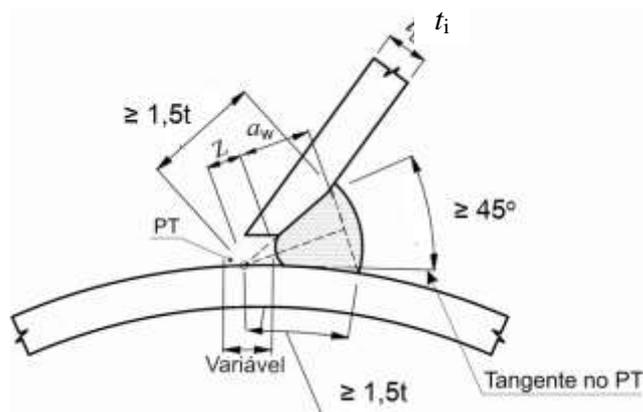
$t$  é a menor espessura das partes ligadas



**REGIÃO INTERNA**

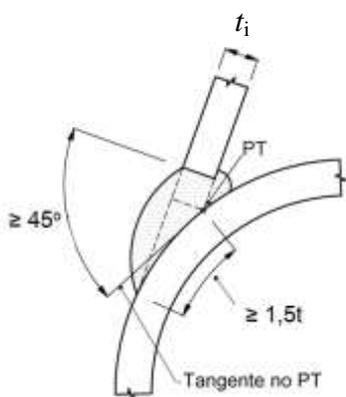
$$\psi = 60^\circ - 30^\circ$$

Figura A.15 – Detalhes de ligações pré-qualificadas com solda de penetração parcial (PJP)

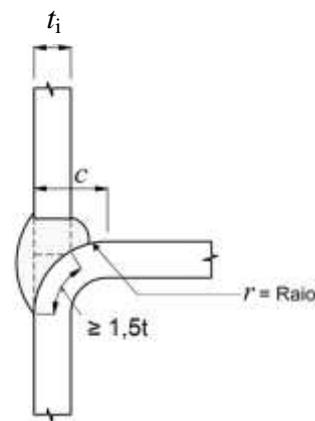


**REGIÃO DE TRANSIÇÃO OU INTERNA**

$$\psi = 75^\circ - 60^\circ$$



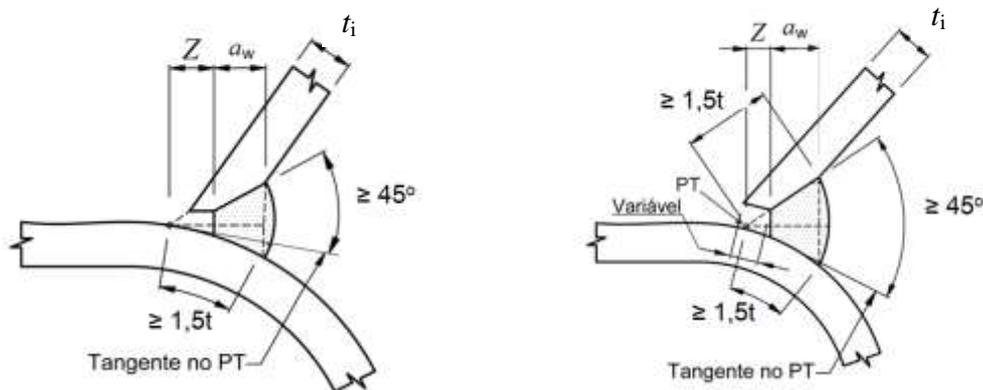
**CANTO DA REGIÃO EXTERNA**



$$C \geq t_b + 3\text{mm e } r \geq 2t_b$$

ou abertura da raiz ( $R_v$ )  $\geq 2\text{mm}$

**REGIÃO LATERAL (PARELHA)**



REGIÃO DE TRANSIÇÃO A

REGIÃO DE TRANSIÇÃO B

$t$  é a menor espessura das partes ligadas

Figura A.16 – Detalhes de ligações pré-qualificadas com solda de penetração parcial (PJP)

#### A.4.3 Espessura da garganta efetiva

A espessura da garganta efetiva de uma solda de penetração total deve ser tomada igual à menor das espessuras das partes soldadas. A espessura da garganta efetiva de uma solda de penetração parcial é igual à profundidade do chanfro, para ângulo da junta igual ou superior a  $60^\circ$ , e a essa mesma distância reduzida da dimensão  $z$ , dada na Tabela A.2, para  $30^\circ \leq \phi < 60^\circ$ . Para  $\phi < 30^\circ$ , a solda não é considerada efetiva, devendo-se, portanto, tomar a espessura da garganta efetiva igual a zero. Para soldas em superfícies curvas constituídas por uma seção circular ou cantos arredondados dos perfis retangulares a espessura da garganta efetiva deve ser obtida da Tabela 6 da NBR 8800:2008 (ver Figura A.17).

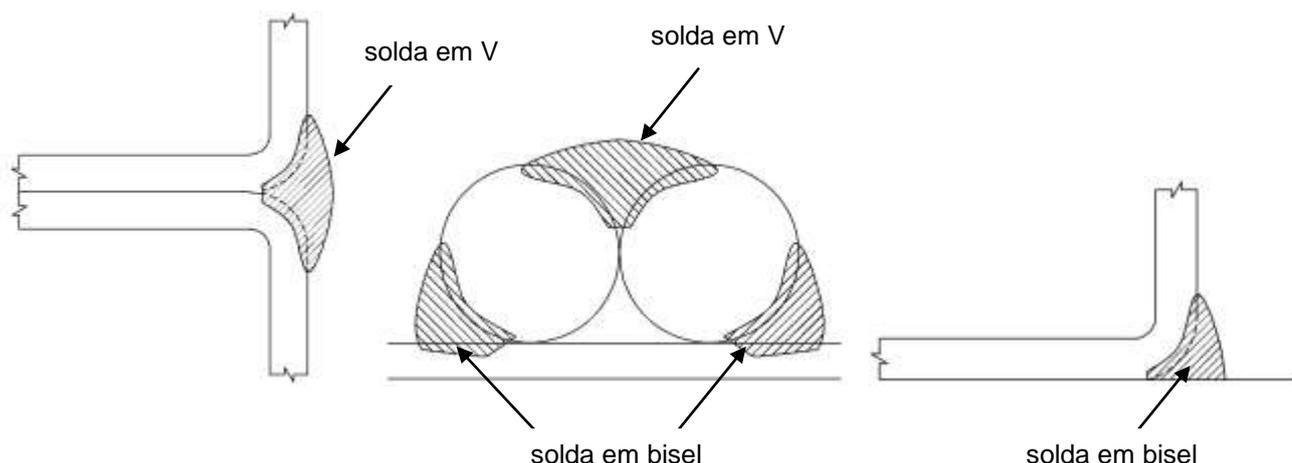


Figura A.17 - Espessura da garganta da solda nos cantos arredondados de perfis retangulares