

JOÃO MIGUEL PERES MEDEIROS

**AUTOMATIZAÇÃO DA VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA EM
JUNTAS SOLDADAS**



Setembro de 2018

JOÃO MIGUEL PERES MEDEIROS

**AUTOMATIZAÇÃO DA VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA EM
JUNTAS SOLDADAS**

**Mestrado em Engenharia Civil
Área de Especialização: Estruturas
Dissertação de Mestrado**

Trabalho efetuado sob a orientação de:
Rui Carlos Gonçalves Graça e Costa
Vítor Manuel Lopes de Brito Saraiva Barreto



Setembro de 2018

Automatização da verificação de segurança em juntas soldadas

Declaração de autoria do trabalho

Eu, João Miguel Peres Medeiros, declaro ser o autor deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluída

Assinatura:

Faro, 27 de setembro de 2018

Copyright:

A Universidade do Algarve reserva para si o direito, em conformidade com o disposto no Código do Direito de Autor e dos Direitos Conexos, de arquivar, reproduzir e publicar a obra, independentemente do meio utilizado, bem como de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia distribuição para fins meramente educacionais ou de investigação e não comerciais, conquanto seja dado o devido crédito ao autor e editor respetivos.

Agradecimentos

Aos meus orientadores, Professor Doutor Rui Costa e Professor Vítor Barreto que me ajudaram na escolha do tema de dissertação, com especial apreço ao Professor Vítor Barreto, pela disponibilidade com que me acompanhou ao longo da concepção e elaboração deste trabalho.

Aos meus pais e irmãos pelo conhecimento transmitido e paciência durante vários anos para conseguir atingir os meus objetivos, sem eles não teria chegado tão longe.

Ao grupo docente, da Licenciatura e Mestrado de Engenharia Civil da Universidade do Algarve, pela qualidade do ensino.

Resumo

Faz-se um breve enquadramento revelando a importância que a construção metálica com perfis tubulares tem tido nos últimos tempos. A presente dissertação tem assim como objetivos:

- (i) o estudo do comportamento dos vários tipos de juntas realizadas com estes perfis, tendo principalmente como base capítulo 7 do Eurocódigo 3 parte 8,
- (ii) a apresentação de fluxogramas e tabelas de cálculo que clarificam a utilização daquela norma no sentido das verificações de segurança obrigatórias para cada tipo de junta,
- (iii) e o desenvolvimento de uma ferramenta de cálculo em EXCEL que realiza as verificações de segurança acima estudadas, embora restringida a um só tipo de conjuntos de perfis a ligar.

Para tal, em função de cada tipo geométrico de junta certificam-se os domínios de validade geométrica para os quais a norma se aplica, determinam-se os modos de colapso possíveis e os valores resistentes mínimos possíveis alcançar pelos elementos da estrutura. Por vezes, em função do tipo geométrico de junta, há que respeitar outros limites mais restritos. Segue-se a verificação de resistência ao colapso das diagonais e depois testa-se igualmente a resistência ao colapso das cordas.

Para a concretização desta análise são construídos quadros com informação agrupada e sintetizada, e realizam-se fluxogramas de procedimentos que facilitam as verificações referidas. Tais fluxogramas fazem referência aos quadros anteriores como às expressões numéricas presentes no texto e a utilizar.

O processo descrito foi traduzido numa folha Excel, com algumas rotinas em VBA, e que permite um cálculo imediato, na realização de testes de validade de aplicação da norma, para cada tipo de junta, realiza as verificações de segurança acima mencionadas e explicita as equações usadas, pelo que se traduz em certa medida também numa ferramenta didática de cálculo. Por razões de limitação de tempo este software realiza, por enquanto, apenas as juntas com cordas e diagonais com tubos de secção circular.

Palavras-Chave: Juntas soldadas tubulares, verificação à rotura, automatização da verificação à rotura, Eurocódigo 3

Abstract

A brief description is given of the importance that metallic construction with hollow tubular beams has had in recent times. The present dissertation aims at:

- (i) the study of the behavior of various types of joints carried out with these beams, mainly having as base chapter 7 of Eurocode 3 part 8,
- (ii) the presentation of flowcharts and calculation tables clarifying the use of that standard in regard of mandatory safety checks for each type of joint,
- (iii) and the development of an EXCEL calculation tool that performs the safety checks studied above, although restricted to only one set of beams to be connected.

To do this, the geometric validity domains for which the standard is applied determine the possible collapse modes and the minimum possible values achieved by the elements of the structure. Sometimes, depending on the geometric type of joint, limits that are more restricted must be respected. The collapse resistance check of the braces is followed, and then the collapse resistance of the cords is tested.

For the accomplishment of this analysis, tables are built with grouped and synthesized information, and flowcharts of procedures are performed that facilitate the referred checks. Such flowcharts refer to the previous tables as to the numerical expressions present in the text, and the ones to be used.

The described process was conveyed into an Excel sheet, with some routines in VBA, and allows an immediate calculation, in the accomplishment of tests of validity of application of the norm. For each type of joint, it verifies the above-mentioned safety checks and displaying the equations used, so that it consolidates to a certain extent, into a didactic calculation tool. For reasons of time restrictions this software performs, for the time being, only joints with chords and braces with circular hollowed sections.

Keywords: Tubular welded joints, failure verification, automation of failure verification, Eurocode 3

Índice Geral

Agradecimentos.....	vi
Resumo	viii
Abstract	x

Índice de Títulos

1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento geral	1
1.2. Objetivo	2
2. Princípios de dimensionamento de juntas.....	3
2.1. Campos de aplicação	3
2.2. Projeto.....	7
2.2.1. Generalidades	7
2.2.2. Modos de rotura para juntas de perfis tubulares:	7
2.3. Soldaduras	14
2.4. Juntas Soldadas entre elementos de secção tubular circular (CHS).....	14
2.4.1. Juntas planas.....	15
2.4.1.1. Esforços normais resistentes de juntas soldadas entre elementos diagonais CHS e cordas CHS	17
2.4.1.2. Resistência de cálculo de juntas soldadas de esquadros de ligação (goussets) a elementos CHS.....	21
2.4.1.3. Resistências de cálculo de juntas soldadas entre perfis de secção em I, em H ou RHS e elementos CHS	25

2.4.1.4. Valores de cálculo de resistência à flexão de juntas soldadas entre elementos diagonais CHS e cordas CHS	29
2.4.1.5. Critérios de dimensionamento para tipos particulares de juntas soldadas entre elementos diagonais CHS e cordas CHS	32
2.4.2. Juntas tridimensionais.....	38
2.5. Juntas soldadas entre elementos diagonais CHS ou RHS e cordas RHS	42
2.5.1. Juntas planas não reforçadas	45
2.5.1.1. Valores de cálculo do esforço normal resistente de juntas soldadas entre perfis tubulares de secção quadrada ou circular	46
2.5.1.2. Valores de cálculo do esforço normal resistente de juntas soldadas em T, X e Y entre elementos diagonais RHS ou CHS e cordas RHS	51
2.5.1.3. Valores de cálculo do esforço normal resistente de juntas soldadas em K e em N entre elementos diagonais RHS ou CHS e cordas RHS	56
2.5.1.4. Valores de cálculo da resistência de juntas soldadas em que se ligam chapas de gousset ou perfis em I ou em H a elementos RHS	59
2.6. Juntas planas reforçadas	63
2.6.1.1. Valores de cálculo da resistência à flexão de juntas soldadas entre elementos diagonais RHS e cordas RHS	63
2.6.1.2. Critérios de cálculo para tipos particulares de juntas soldadas entre elementos diagonais RHS e cordas RHS	67
2.6.1.3. Critérios de dimensionamento para juntas soldadas de elementos RHS em cotovelo e para nós em que a corda é quebrada.....	71
2.6.1.4. Valores de cálculo da resistência de juntas soldadas reforçadas em T, Y e X entre elementos diagonais RHS ou CHS e cordas RHS	74
2.6.1.5. Valores de cálculo da resistência de juntas soldadas reforçadas em K e em N entre elementos diagonais RHS ou CHS e cordas RHS	77
2.6.2. Juntas tridimensionais.....	80
2.7. Juntas soldadas entre elementos diagonais CHS ou RHS e cordas em perfil em I ou H	83

2.7.1. Valores de cálculo da resistência de juntas soldadas entre elementos diagonais RHS ou CHS e cordas em perfil I ou H.....	84
2.7.2. Valores de cálculo da resistência à flexão de juntas soldadas entre elementos diagonais RHS e cordas em perfil em I ou em H.....	89
2.8. Juntas soldadas entre elementos diagonais CHS ou RHS e cordas em perfil em U	91
2.8.1. Valores de cálculo de resistência de juntas soldadas entre elementos diagonais RHS ou CHS e cordas em perfil em U.....	92
3. Programa em Excel	96
3.1. Elementos do programa	97
3.2. Análise comparativa	105
3.2.1. Exemplo 1.....	105
3.2.2. Exemplo 2.....	115
4. Conclusão e desenvolvimentos futuros.....	120
4.1. Conclusão	120
4.2. Desenvolvimentos futuros	121
5. Bibliografia.....	123

Índice de Figuras

Figura 2.1 – Junta KT com indicação de ângulos internos , adaptado de EC3-1-8	4
Figura 2.2 – Junta em N com afastamento , adaptado de EC3-1-8.....	4
Figura 2.3 – Junta em N com sobreposição (EC3-1-8)	5
Figura 2.4 – Tipos de juntas em vigas reticuladas de secção tubular (Fig. 7.1 EC3-1-8)	6
Figura 2.5 – Variação do Coeficiente K_g da equação (2.5)	17
Figura 2.6 – Junta em Y do Quadro 7.2 EC3-1-8.....	18
Figura 2.7 – Junta em X do Quadro 7.2 EC3-1-8.....	18
Figura 2.8 – Junta em K do Quadro 7.2 EC3-1-8.....	19
Figura 2.9 – Junta soldada em T com chapa de <i>gousses</i> transversal (EC3-1-8, Quadro 7.3)	22
Figura 2.10 - Junta soldada em X com chapa de <i>gousses</i> transversal (EC3-1-8, Quadro 7.3)	22
Figura 2.11 – Juntas em “T ou X com chapa de <i>gousses</i> longitudinal”	22
Figura 2.12 – Junta soldada em T entre diagonal de perfil I ou H e corda CHS (EC3-1-8 , Quadro 7.4)	25
Figura 2.13 – Junta solda em X entre diagonais de perfil I ou H e corda CHS (EC3-1-8 , Quadro 7.4)	26
Figura 2.14 – Junta soldada em T entre diagonal RHS e corda CHS (EC3-1-8 , Quadro 7.4)	26
Figura 2.15 – Junta soldada em X entre diagonal RHS e corda CHS (EC3-1-8 , Quadro 7.4)	26
Figura 2.16 – Junta soldada em T entre diagonal e corda CHS a representar o momento dentro do plano.....	29
Figura 2.17 – Junta soldada em T entre corda e diagonal CHS a representar o momento fora do plano.....	30

Figura 2.18 – Junta soldada em DY com simetria nas diagonais, nas forças e sentidos por estas transmitidos.....	32
Figura 2.19 – Junta soldada em KT entre diagonais e corda em RHS	33
Figura 2.20 – Junta em DK entre diagonais e corda CHS.....	34
Figura 2.21 - Junta em DK entre diagonais e corda CHS.....	35
Figura 2.22 – Junta tridimensional em TT de diagonais e corda em CHS	39
Figura 2.23 – Junta tridimensional em XX de diagonais e corda em CHS.....	39
Figura 2.24 – Junta tridimensional em KK de diagonais e corda em CHS.....	40
Figura 2.25 – Junta em X entre diagona e corda RHS	48
Figura 2.26 – Junta em K entre diagonais e corda em RHS.....	48
Figura 2.27 – Junta em k entre diagonais e corda RHS	49
Figura 2.28 – Junta em X de diagonal e corda em RHS	53
Figura 2.29 – Junta em K de diagonais e corda em RHS.....	56
Figura 2.30 – junta com chapa de gousset soldada em posição transversal ao eixo longitudinal da corda RHS	60
Figura 2.31 - junta com chapa de gousset soldada em posição longitudinal ao eixo longitudinal da corda RHS	61
Figura 2.32 – junta em t de diagonal de perfil H soldado a corda RHS	61
Figura 2.33 – Representação dos momentos no plano, em cima, numa junta em T, em baixo, numa junta em X. Diagonais e corda em RHS.....	64
Figura 2.34 - Representação dos momentos fora do plano, em cima, numa junta em T, em baixo, numa junta em X. Diagonais e corda em RHS.....	64
Figura 2.35 – Junta em DY, com diagonais e corda em CHS, com simetria nas diagonais, forças e sentidos destas	67
Figura 2.36 – Junta em KT de diagonais e corda em RHS.....	68
Figura 2.37 – Junta em DK com diagonais e corda em CHS	68

Figura 2.38 – Junta em DK com diagonais e corda em CHS	69
Figura 2.39 – Junta soldada em cotovelo.....	71
Figura 2.40 – Junta soldada em cotovelo reforçada com chapa	72
Figura 2.41 – Junta Soldada em que a corda é “quebrada”, ou existe um ponto anguloso no eixo da corda	72
Figura 2.42 – Junta em T de diagonal e corda em RHS reforçada com chapa de banzo	74
Figura 2.43 - Junta em T de diagonal e corda em RHS reforçada com chapa de banzo	75
Figura 2.44 - Junta em T de diagonal e corda em RHS reforçada com chapas laterais	75
Figura 2.45 - Junta em N de diagonal e corda em RHS reforçada com chapa de banzo	77
Figura 2.46 - Junta em N de diagonal e corda em RHS reforçada com chapas laterais	78
Figura 2.47 – Junta em K com diagonais e corda em RHS com chapa de separação entre elementos diagonais.....	78
Figura 2.48 – Junta tridimensional em TT de diagonais e corda em RHS	80
Figura 2.49 – Junta tridimensional em XX de diagonal e corda em RHS	80
Figura 2.50 – Junta tridimensional em KK de diagonal e corda em RHS	81
Figura 2.51 – Junta em Y de diagonal em RHS e corda em perfil em I	85
Figura 2.52 – Junta em k de diagonais em RHS e corda em perfil em I	85
Figura 2.53 – Junta em K com sobreposição e diagonais em RHS e corda em perfil em I	86
Figura 2.54 – Rigidificadores de banzos em perfil I, adaptado do catalogo CORUS de 2002 [6].....	87
Figura 2.55 – Junta em T com diagonal em RHS e corda em perfil em I ou H	89
Figura 2.56 – Junta em K com diagonais em RHS e corda de perfil em U	93

Figura 2.57 – Junta em K com sobreposição e diagonais em RHS e corda em perfil em U.....	94
Figura 3.1 – Estrutura treliçada, adaptado de [11]	106
Figura 3.2 – Ações axiais atuantes na estrutura, adaptado de [11].....	106
Figura 3.3 – Numeração das juntas e perfis CHS utilizados, adaptado de [11]	106
Figura 3. 4 – Junta 2, representação dos esforços axiais na corda e pormenores geométricos, adaptado de [11].....	107
Figura 3. 5 – Redistribuição de momentos na junta 2, adaptado de [11].....	107
Figura 3.6 – Distribuição de ações atuantes na junta 2, adaptado de [11]	108
Figura 3.7 – Estrutura treliçada, com as ações axiais em kN [12].....	115
Figura 3. 8 – Junta 1 – Pormenores [12].....	115

Índice de Quadros

Quadro 2.1 – Síntese das figuras 7.2, 7.3 e 7.4 da EC3-1-8, para o modo de rotura a)	8
Quadro 2.2 - Síntese das figuras 7.2, 7.3 e 7.4 da EC3-1-8, para o modo de rotura b).	9
Quadro 2.3 - Síntese das figuras 7.2, 7.3 e 7.4 da EC3-1-8, para o modo de rotura c)	10
Quadro 2.4 - Síntese das figuras 7.2, 7.3 e 7.4 da EC3-1-8, para o modo de rotura d)	11
Quadro 2.5 - Síntese das figuras 7.2, 7.3 e 7.4 da EC3-1-8, para o modo de rotura e)	12
Quadro 2.6 - Síntese das figuras 7.2, 7.3 e 7.4 da EC3-1-8, para o modo de rotura f)	13
Quadro 2.7 - Domínio de validade para juntas soldadas entre elementos diagonais CHS e cordas CHS (Quadro 7.1 EC3-1-8)	15
Quadro 2.8 – Síntese do Quadro 7.2 EC3-1-8	18
Quadro 2.9 – Síntese do Quadro 7.3 EC3-1-8	21
Quadro 2.10 - Síntese do Quadro 7.4 do EC3-1-8	25
Quadro 2.11 - Síntese do Quadro 7.5 do EC3-1-8	29
Quadro 2.12 - Síntese do Quadro 7.6 EN 1993-1-8	32
Quadro 2.13 - Domínio de validade de juntas soldadas entre elementos diagonais RHS e cordas RHS (Adaptado de Quadro 7.8 EC3-1-8)	43
Quadro 2.14 - Domínio de validade de juntas soldadas entre elementos diagonais CHS e cordas RHS (Adaptado de Quadro 7.8 EC3-1-8)	44
Quadro 2.15 – Condições suplementares para utilização do Quadro 2.16 (Quadro 7.10 EC3-1-8), (Adaptado de Quadro 7.9 de EC3-1-8).....	46
Quadro 2.16 - Síntese do Quadro 7.10 da EC3-1-8	47
Quadro 2.17 - Síntese do Quadro 7.11 da EC3-1-8	51
Quadro 2.18 – Adaptado do quadro 6.2 da NP EN 1993-1-1	52
Quadro 2.19 – Adaptado do quadro 6.1 da NP EN 1993-1-1	52

Quadro 2.20 - Síntese do Quadro 7.12 do EC3-1-8	56
Quadro 3.21 – Síntese do Quadro 7.13 EC3-1-8	59
Quadro 2.22 – Domínio de validade complementar para o Quadro 7.13 do EC3-1-8..	59
Quadro 2.23 – Síntese do Quadro 7.14 de EC3-1-8	64
Quadro 2.24 - Síntese teórica do Quadro 7.15 de EC3-1-8.....	67
Quadro 2.25 – Síntese do Quadro 7.16 de EC3-1-8	71
Quadro 2.26 – Síntese do Quadro 7.17 de EC3-1-8	74
Quadro 2.27 – Síntese do Quadro 7.18 de EC3-1-8	77
Quadro 2.28 – Domínio de validade para juntas soldadas entre elementos diagonais CHS ou RHS e cordas em perfil em I ou em H (adaptado do Quadro 7.20 do EC3-1-8)	83
Quadro 2.29 - Síntese do Quadro 7.21 da EC3-1-8	84
Quadro 2.30 – Síntese do Quadro 7.22 de EC3-1-8	89
Quadro 2.31 – Domínio de validade para as juntas soldadas entre elementos diagonais CHS ou RHS e cordas em perfil em U (adaptado do Quadro 7.23 da EC3-1-8).....	91
Quadro 2.32 – Síntese do Quadro 7.24 de EC3-1-8	92
Quadro 3.1– Programa em Excel: “Input” de dados da corda e diagonais	97
Quadro 3.2 - Programa em Excel: Seleção dos perfis e as suas características geométricas	98
Quadro 3.3 – Programa Excel: “Input” e seleção de características dos perfis CHS ...	98
Quadro 3.4 – Programa Excel: Avaliação da tensão de cedência	99
Quadro 3.5 - Programa Excel: verificação do Quadro 7.1 do EC3-1-8	99
Quadro 3.6 - Programa Excel: verificação geral do Quadro 7.2 do EC3-1-8	100
Quadro 3.7 - Programa Excel: Cálculos intermédios para a rotura da face da corda, do Quadro 7.2 do EC3-1-8.....	100

Quadro 3.8 - Programa Excel: Cálculos intermédios para a rotura por punçoamento, do Quadro 7.2 do EC3-1-8.....	101
Quadro 3.9 - Programa Excel: Determinação de Esforços axiais resistentes condicionantes.....	101
Quadro 3.10 - Programa Excel: verificação geral do Quadro 7.5 do EC3-1-8	102
Quadro 3.11 - Programa Excel: Cálculos intermédios para a verificação da rotura da face da corda, do Quadro 7.2 do EC3-1-8	102
Quadro 3.12 - Programa Excel: Cálculos intermédios para a verificação da rotura por punçoamento, do Quadro 7.2 do EC3-1-8	103
Quadro 3.13 - Programa Excel: Análise de junta tridimensional de acordo como Quadro 7.7 do EC3-1-8	103
Quadro 3.14 - Programa Excel: Cálculos intermédios para a verificação da junta tridimensional, do Quadro 7.7 do EC3-1-8	104
Quadro 3.15 - Programa Excel: Verificação da combinação de ações para juntas planas e tridimensionais pelo EC3-1-8	105
Quadro 3. 16– Resolução da junta 2: inserção de dados.....	108
Quadro 3. 17 – Resolução da junta 2: Continuação da inserção de dados	109
Quadro 3. 18 : Resultados obtidos para junta K – parte 1	110
Quadro 3.19 – Resultados obtidos para a junta k – parte 2.....	112
Quadro 3. 20 - Resultados obtidos para a junta k – parte 3	114
Quadro 3. 21 - Resultados obtidos para a junta k – parte 4	114
Quadro 3. 22- - Resultados obtidos para a junta k – parte 5	114
Quadro 3. 23 - Resultados obtidos para a junta k – parte 6	115
Quadro 3.24 – Verificação do domínio de validade pelo Quadro 7.1 do EC3-1-8.....	116
Quadro 3. 25 – Resultados do exemplo 2 – parte 1	117
Quadro 3. 26 – Resultados do exemplo 2 – parte 2	117
Quadro 3. 27 – Resultados do exemplo 2 – parte 3	118

Quadro 3. 28 – Resultados do exemplo 2 – parte 4	118
Quadro 3. 29 – Resultados do exemplo 2 – parte 5	119

Índice de Fluxogramas

Fluxograma 2.1 – Verificação da segurança de juntas planas com cordas CHS.....	16
Fluxograma 2.2 - Organização lógica e eficiente utilização do Quadro 7.2 da EC3-1-8	20
Fluxograma 2.3 – Organização lógica e eficiente utilização do Quadro 7.3 da EC3-1-8	24
Fluxograma 2.4 - Organização lógica e eficiente utilização do Quadro 7.4 da EC3-1-8	28
Fluxograma 2.5 - Organização lógica e eficiente utilização do Quadro 7.5 da EC3-1-8	31
Fluxograma 2.6 - Organização lógica e eficiente utilização do Quadro 7.6 da EC3-1-8	37
Fluxograma 2.7 - Verificação das juntas tridimensionais pelo Quadro 7.7 do EC3-1-8	38
Fluxograma 2.8 - Organização lógica e eficiente utilização do Quadro 7.7 da EC3-1-8	41
Fluxograma 2.9 - Organização lógica e eficiente utilização do Quadro 7.10 da EC3-1-8	50
Fluxograma 2.10 - Organização lógica e eficiente utilização do Quadro 7.11 do EC3-1-8	55
Fluxograma 2.11 - Organização lógica e eficiente utilização do Quadro 7.12 da EC3-1-8	58
Fluxograma 2.12 - Organização lógica e eficiente utilização do Quadro 7.13 do EC3-1-8	62
Fluxograma 2.13 - Organização lógica e eficiente utilização do Quadro 7.14 da EC3-1-8	66
Fluxograma 2.14 - Organização lógica e eficiente utilização do Quadro 7.15 da EC3-1-8	70
Fluxograma 2.15 - Organização lógica e eficiente utilização do Quadro 7.16 da EC3-1-8	73

Fluxograma 2.16 - Organização lógica e eficiente utilização do Quadro 7.17 da EC3-1-8	76
Fluxograma 2.17 - Organização lógica e eficiente utilização do Quadro 7.18 da EC3-1-8	79
Fluxograma 2.18 - Organização lógica e eficiente utilização do Quadro 7.19 da EC3-1-8	82
Fluxograma 2.19 - Organização lógica e eficiente utilização do Quadro 7.21 da EC3-1-8	88
Fluxograma 2.20 - Organização lógica e eficiente utilização do Quadro 7.22 da EC3-1-8	90
Fluxograma 2.21 - Organização lógica e eficiente utilização do Quadro 7.24 da EC3-1-8	95

Abreviaturas

CHS	Abreviatura para “Circular Hollow Section” o que equivale a “perfil tubular circular”;
CIDECT	Abreviatura para “Comité International pour le Développement et l’Étude de la Construction Tubulaire”, ou seja, comissão internacional para o desenvolvimento e estudo da construção tubular;
EC3	Eurocódigo 3;
RHS	Abreviatura para “Rectangular Hollow Section” equivalendo a “perfil tubular retangular” que, neste contexto, inclui os perfis tubulares quadrados, SHS;
SHS	Abreviatura para “Square Hollow Section” o que equivale a “perfil tubular quadrado”, este tipo de perfil por norma encontra-se inserido dentro do grupo dos perfis tubulares retangulares, RHS.

Simbologia

Letras minúsculas latinas

b_i	largura total na direção perpendicular ao plano do elemento tipo RHS i
b_{eff}	largura efetiva da ligação de um elemento diagonal a uma corda
$b_{e,ov}$	largura efetiva de um elemento que se sobrepõe numa ligação com sobreposição
$b_{e,p}$	largura efetiva para a resistência ao punçoamento
b_p	largura de uma chapa
b_w	largura efetiva da alma da corda
d_i	diâmetro total do elemento de CHS i
d_w	altura da alma de uma corda de secção em I ou em H
e	excentricidade de uma junta
f_b	resistência à encurvadura da parede lateral da corda
f_{yi}	tensão de cedência do elemento i

f_{y0}	tensão de cedência de uma corda
g	afastamento entre elementos diagonais numa junta em K ou em N (os valores negativos de g representam uma sobreposição q);
h_i	altura total no plano da secção transversal do elemento i
k	fator definido no quadro apropriado, com o índice g , m , n ou p
ℓ	comprimento de encurvadura de um elemento
p	comprimento da área de contacto do elemento diagonal que se sobrepõe sobre a face da corda, numa junta com sobreposição, assumindo a ausência do elemento diagonal sobreposto
q	comprimento de sobreposição, medido ao nível da face da corda, dos elementos diagonais de uma junta em K ou em N
r	raio de concordância de uma secção em I ou em H ou raio do boleado de uma secção tubular retangular
t_f	espessura do banzo de um perfil em I ou em H
t_i	espessura da parede do elemento i
t_p	espessura de uma chapa
t_w	espessura da alma de um perfil em I ou em H

Números inteiros e a sua designação:

i inteiro designado como índice para designar um elemento de uma junta em que:

$i = 0$ designa uma corda

$i = 1, 2$ ou 3 designa elementos diagonais.

No caso de uma junta com dois elementos diagonais então:

$i = 1$ designa o elemento comprimido e,

$i = 2$ designa o elemento tracionado

i e j inteiros utilizados como índices em juntas sobrepostas em que:
 i designa o elemento diagonal que sobrepõe, e
 j o elemento diagonal subposto

Letras maiúsculas latinas

A_i área da secção transversal do elemento i ;
 A_v área de corte da corda;
 $A_{v,eff}$ área efetiva de corte da corda;
 L comprimento teórico de um elemento;
 $M_{ip,i,Rd}$ valor de cálculo da resistência à flexão no plano;
 $M_{ip,i,Ed}$ valor de cálculo do momento fletor no plano;
 $M_{op,i,Rd}$ valor de cálculo da resistência à flexão fora do plano;
 $M_{op,i,Ed}$ valor de cálculo do momento fletor fora do plano;
 $N_{i,Rd}$ valor de cálculo da resistência da junta, expresso em termos do esforço normal atuante no elemento i ;
 $N_{i,Ed}$ valor de cálculo do esforço normal atuante no elemento i ;
 $W_{el,i}$ módulo de flexão elástico da secção do elemento i
 $W_{pl,i}$ módulo de flexão plástico da secção do elemento i

Relação entre tensões

n utilizado para as cordas RHS:

$$n = \left(\frac{\sigma_{0,Ed}}{f_{y0}} \right) / \gamma_{M5}$$

n_p Utilizado para cordas CHS:

$$n_p = \left(\frac{\sigma_{p,Ed}}{f_{y0}} \right) / \gamma_{M5}$$

Letras minúsculas gregas e relações geométricas:

α fator definido no quadro apropriado

β relação entre a largura ou diâmetros médios dos elementos diagonais e o da corda:

- Juntas em T, X ou Y:

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

- Juntas em K ou N:

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

- Juntas em KT:

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

β_p relação b_i/b_p

γ relação entre a largura ou o diâmetro da corda e o dobro da espessura da sua parede:

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

γ_{M5} coeficiente parcial de segurança como valor de 1,0

η relação entre a altura e o elemento diagonal e o diâmetro ou a largura da corda:

$$\eta = \frac{h_i}{d_0} \text{ ou } \frac{h_i}{b_0}$$

θ_i ângulo (agudo) interno entre o elemento diagonal i e a corda

κ fator definido quando da sua utilização

λ_{ov} coeficiente de sobreposição:

$$\lambda_{ov} = \frac{q}{p} \times 100 \%$$

$\lambda_{ov,lim}$	valor do coeficiente de sobreposição a partir do qual a resistência ao corte localizado das ligações entre as diagonais e a parede da corda tem de ser verificada
$\bar{\lambda}$	esbelteza normalizada
μ	coeficiente de redução para juntas tridimensionais
$\sigma_{0,Ed}$	tensão de compressão máxima a que está sujeita a corda na secção da junta
$\sigma_{p,Ed}$	valor de $\sigma_{0,Ed}$ subtraído da tensão devida às componentes paralelas ao eixo da corda dos esforços axiais nos elementos diagonais convergentes nessa junta
φ	ângulo entre os planos de uma ligação espacial
χ	coeficiente de redução associado ao modo de encurvadura

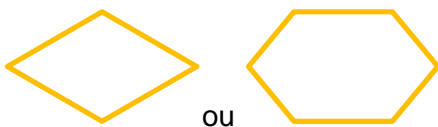
Simbologia dos fluxogramas



Início ou fim: Início da leitura fluxograma, ou fim deste com os valores inicialmente pretendidos.



Processo: Ação a ser executada, ou indicação dos elementos em questão.



Decisor: Questão, ou ramificação de hipóteses.



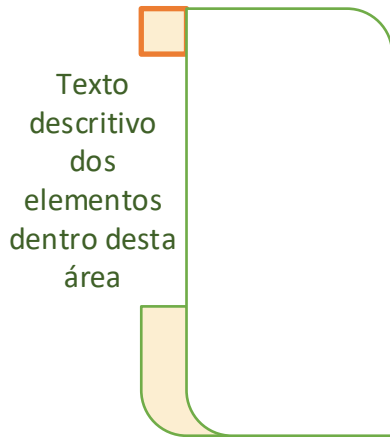
Documento: Verificação de documento, também obriga a termino do fluxograma.



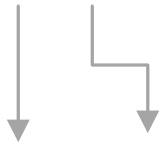
Referência na página: Remete para outro ponto dentro da página com a mesma letra.



Processo externo: Ação a ser executada com recurso a elementos externos ao fluxograma atual.



Contentor: Área que agrega mecanismos de rotura ou notas comuns a vários processos aqui contidos.



Setas: Elementos que unem os diversos símbolos do fluxograma, indicadores de sentido de leitura.

1. Introdução

1.1. Enquadramento geral

Em anos recentes a popularidade da construção de estruturas em perfis de aço de secção tubular tem vindo a aumentar. A utilização de secções com simetria axial, sem arestas agudas, e de paredes finas fechadas aleado ao facto de terem excelentes propriedades de compressão, torção e flexão, fomentou a criação de espaços amplos arquitetonicamente mais estéticos, como aeroportos ou estádios desportivos.

Em Engenharia Civil a utilização de estruturas tubulares pode ser estendida a pontes, torres ou mesmo estruturas *offshore*, para apenas indicar alguns usos. O facto das barras que as constituem terem menor área de superfície exposta à corrosão, menor área de pintura que outras soluções, e terem a capacidade de passagem de redes técnicas pelo seu interior ou mesmo enchimento com betão, presta-se a que a sua utilização se torne vasta.

Contudo, ao dimensionar estruturas com perfis tubulares, surge a necessidade da verificação de segurança de ligações soldadas entre perfis, nomeadamente as juntas.

De acordo com o NP EN 1993-1-8, a junta (*"joint"*, em inglês) é a zona onde dois ou mais elementos estão interligados e é constituída por componentes básicos (alma do perfil, parede lateral e ligação) que concretizam a união entre os elementos e transmissão de esforços. A ligação (*"connection"*, em inglês) é o local na vizinhança do contacto entre as peças constituído por componentes básicos (parafusos, soldadura chapas de extremidade, entre outros) necessários para representar o comportamento da ligação na transmissão de esforços internos.

Deste modo, as juntas de secções soldadas tornam-se num ponto de estudo pertinente, mas também crítico, atendendo a que o número de verificações ao colapso, como também os parâmetros intermédios necessários, são substanciais.

1.2. Objetivo

De modo a facilitar a análise estrutural das juntas soldadas tubulares, e tendo como base o capítulo 7 da NP EN 1993-1-8, pretende-se nesta dissertação evidenciar uma linha lógica dos cálculos necessários a realizar para a verificação de segurança de cada tipo de junta.

Pretende-se também criar uma ferramenta que reduza e sintetize o número de verificações de segurança, e indicar o rácio de segurança associado a cada modo de rotura face à capacidade resistente, como também, disponibilizar ao utilizador da ferramenta, quadros, expressões, cláusulas e princípios que estão a ser utilizados nos resultados.

A ferramenta em causa são folhas Excel com programação dedicada, Visual Basic Applications (VBA).

2. Princípios de dimensionamento de juntas

2.1. Campos de aplicação

O capítulo 7 da norma NP EN 1993-1-8, que se designará por EC3-1-8 daqui em diante, aborda o cálculo da resistência estática de juntas planas, isto é, contidas no plano da subestrutura treliçada, assim como juntas tridimensionais. As juntas referidas ligam combinações de perfis tubulares circulares, quadrados e retangulares (cordas e diagonais) assim como peças de secção aberta do tipo I, H ou U (EC3-1-8, 7.1.1 (1)).

Esta norma é aplicável a perfis tubulares acabados a quente (segundo EN 10210) e perfis tubulares enformados a frio (segundo EN 10219) cujo valor nominal da tensão de cedência não deverá exceder os 460 N/mm². Sempre que o valor nominal for superior a 355 N/mm², os valores de cálculo da resistência estática nesta secção deverão ser reduzidos por um coeficiente de 0,9 (EC3-1-8, 7.1.1 (3) e (4)), ou seja:

- **Perfis tubulares acabados a quente ou enformados a frio:**

$$f_y \leq 460 \text{ N/mm}^2$$

- **Perfis acabados a quente:**

$$\text{Se } f_y > 355 \text{ N/mm}^2 \quad \text{então: } \left\{ \begin{array}{l} N_{i,Rd} \\ M_{ip,i,Rd} \\ M_{op,i,Rd} \end{array} \right\} * 0,9$$

Além do precedente indicam-se os restantes requisitos e algumas regras de aplicabilidade da norma nos seguintes parágrafos, nomeadamente:

- (1^o) A espessura nominal dos perfis tubulares não deverá ser inferior a 2,5 mm e a espessura nominal da parede de uma corda não deverá ser superior a 25 mm (EC3-1-8, 7.1.1 (5) e (6));

- **Perfis tubulares :**

$$t \geq 2,5 \text{ mm}$$

- **Corda tubular :**

$$t \leq 25 \text{ mm}$$

- (2º) As partes comprimidas dos elementos que se unem na ligação deverão respeitar os requisitos estabelecidos na NP EN 1993-1-1, de modo a que as secções submetidas à compressão axial pertençam às classes 1 e 2 (EC3-1-8, 7.1.2 (2)), ou seja, tenham comportamento plástico à compressão;
- (3º) Os ângulos internos θ_i , entre diagonais e a corda e entre diagonais adjacentes, deverão ser superiores ou iguais a 30° (EC3-1-8, 7.1.2 (3));

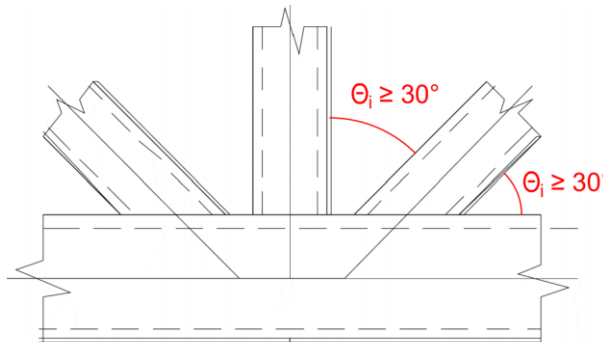


FIGURA 2.1 – JUNTA KT COM INDICAÇÃO DE ÂNGULOS INTERNOS , ADAPTADO DE EC3-1-8

- (4º) As juntas com afastamentos (g) entre elementos diagonais, o intervalo não deverá ser inferior a $(t_1 + t_2)$, por modo a garantir a existência de espaço suficiente para a execução de soldadura aceitável (EC3-1-8, 7.1.2 (5));

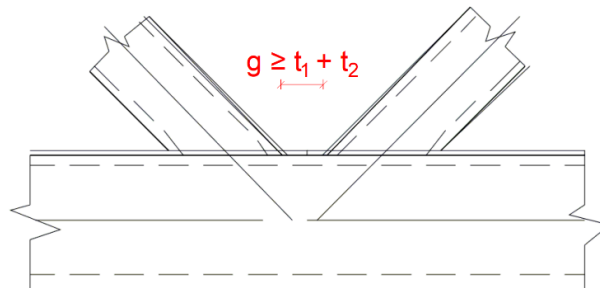


FIGURA 2.2 – JUNTA EM N COM AFASTAMENTO , ADAPTADO DE EC3-1-8

- (5º) Nas juntas com sobreposição, esta deverá ser suficientemente grande para a adequada transmissão do esforço de corte de um elemento diagonal para o outro, sendo que deverá ter no mínimo 25% de sobreposição (EC3-1-8, 7.1.2 (6)), como se mostra na Figura 2.3;

$$q \geq 25\% \times p$$

No entanto, deverá ser verificada ao corte, a ligação entre a face da corda e diagonais, se se verificar o seguinte:

- A sobreposição exceder $\lambda_{ov,lim} = 60\%$, no caso de a diagonal recoberta pela outra, que fica oculta, não estiver soldada;

- A sobreposição exceder $\lambda_{ov,lim} = 80\%$, no caso de a diagonal recoberta, estiver soldada;
- As diagonais tiverem secções retangulares com $h_i < b_i$ e/ou $h_j < b_j$.
- Coeficiente de sobreposição (λ_{ov}).

$$\lambda_{ov} = (q/p) \times 100\%$$

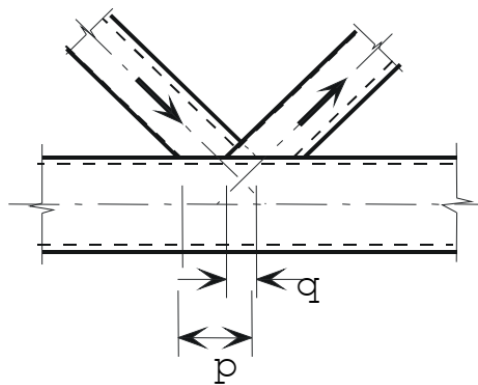


FIGURA 2.3 – JUNTA EM N COM SOBREPOSIÇÃO (EC3-1-8)

- (6º) Quando os elementos diagonais que se sobrepõem têm larguras, espessuras ou classes de resistência diferentes, o elemento com menor valor de $t_i \times f_{yi}$ e de dimensão mais estreita deverá sobrepor-se ao outro elemento por modo a descarregar a tensão de um elemento mais “frágil” para um mais “robusto” (EC3-1-8, 7.1.2 (7) e (8));
- (7º) Os diversos tipos de junta abrangidos na norma, têm a designação indicada na figura seguinte:

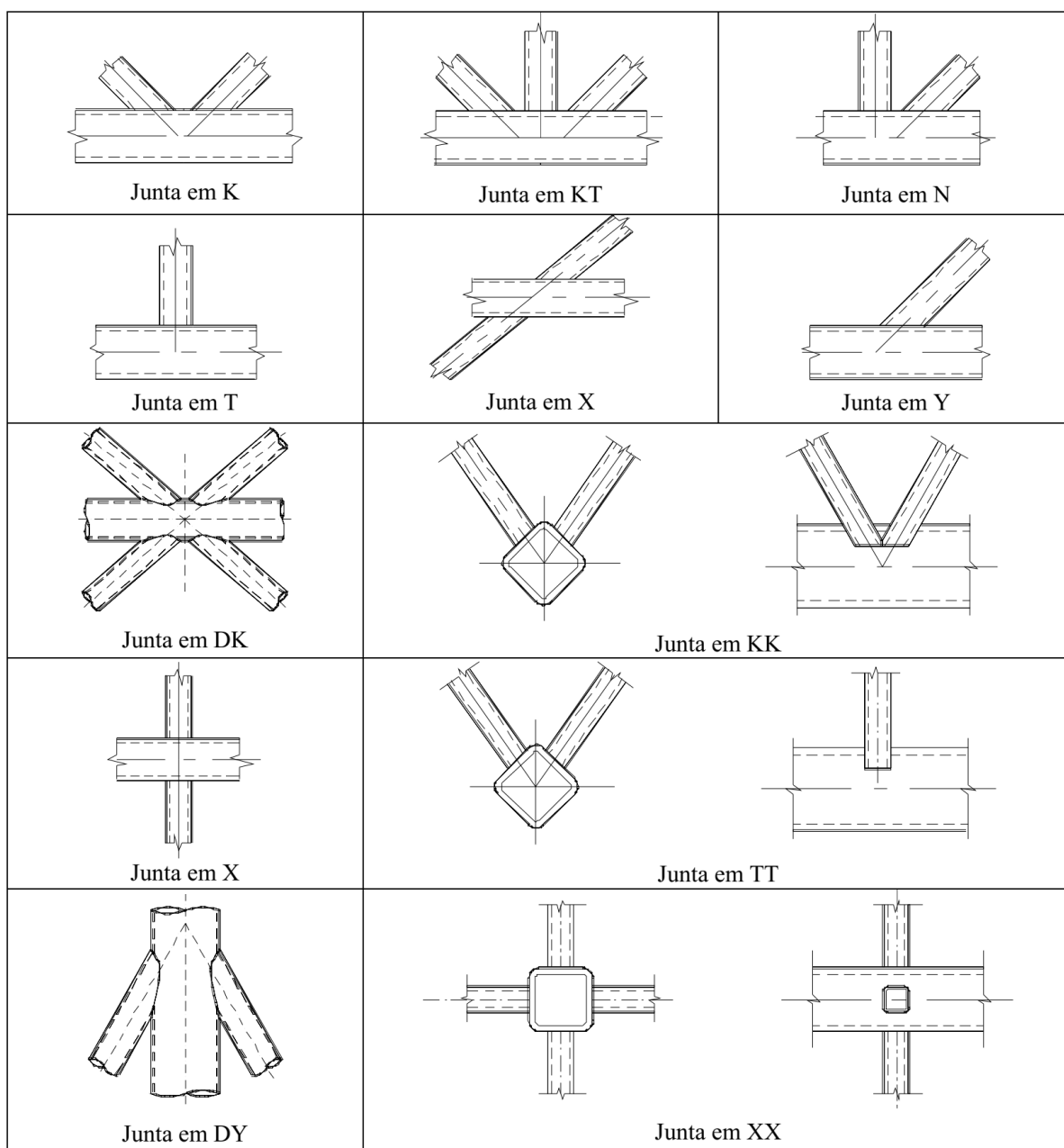


FIGURA 2.4 – TIPOS DE JUNTAS EM VIGAS RETICULADAS DE SECÇÃO TUBULAR (FIG. 7.1 EC3-1-8)

2.2. Projeto

2.2.1. Generalidades

Para efeitos de projeto devemos atender que nos elementos diagonais e cordas, os valores de cálculo dos esforços normais em estado limite último, não devem exceder os valores de cálculo da resistência dos elementos determinados com base na norma NP EN 1993-1-1, ou seja, a resistência plástica ou elástica das secções e a resistência dos elementos (diagonais e corda) à encurvadura, nem exceder os valores de cálculo da resistência das juntas.

Além disso a tensão máxima na corda e na secção de uma ligação definida pelas seguintes expressões (EC3-1-8, 7.2.1 (1) P, (2) P e (3)):

$$\sigma_{0,Ed} = \frac{N_{0,Ed}}{A_0} + \frac{M_{0,Ed}}{W_{el,0}} (\leq f_{y0}) \quad (2.1)$$

$$\sigma_{p,Ed} = \frac{N_{p,Ed}}{A_0} + \frac{M_{0,Ed}}{W_{el,0}} (\leq f_{y0}) \quad (2.2)$$

Em que:

$$N_{p,Ed} = N_{0,Ed} - \sum_{i>0} N_{i,Ed} \cos \theta_i \quad (2.3)$$

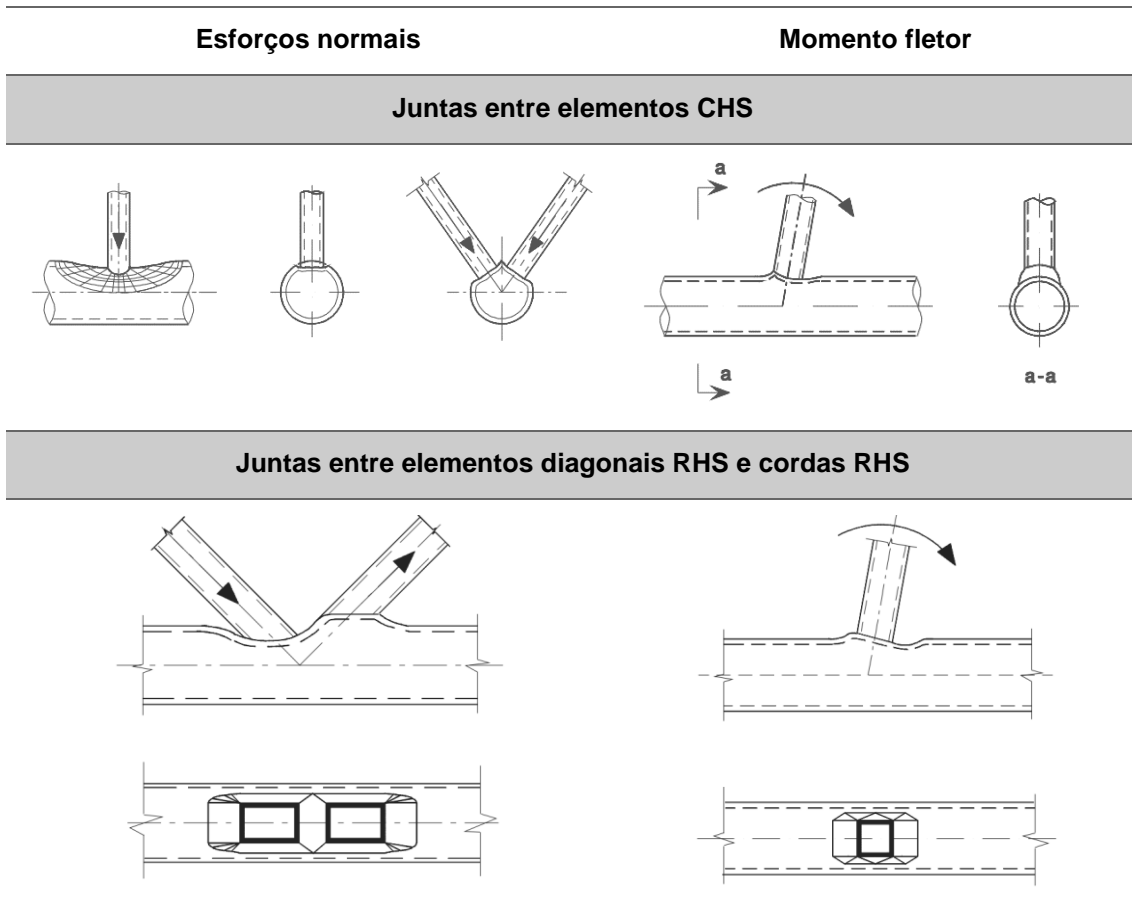
2.2.2. Modos de rotura para juntas de perfis tubulares:

A resistência das juntas entre diagonais e cordas caracteriza-se pela verificação de seis tipos distintos de modos de rotura, como se explicará na secção seguinte. A norma permite, desde que sejam satisfeitos certos requisitos geométricos nas juntas que os modos de rotura obrigatórios a serem verificados sejam substancialmente reduzidos. Por exemplo, no caso de juntas de cordas CHS com Diagonais CHS, bastaria a verificação da (i) rotura da face da corda e a (ii) rotura por punçoamento.

Os modos de rotura possíveis em geral são ilustrados nas alíneas seguintes.

- a) **Rotura da face da corda** (rotura por plastificação da face da corda) ou plastificação da corda (rotura por plastificação da secção transversal da corda).

QUADRO 2.1 – SÍNTESE DAS FIGURAS 7.2, 7.3 E 7.4 DA EC3-1-8, PARA O MODO DE ROTURA A)



- b) **Rotura da parede lateral da corda (ou rotura da alma da corda)** por plastificação, esmagamento ou instabilidade (enrugamento ou encurvadura da parede lateral da corda ou da alma da corda) sob o elemento diagonal comprimido.

QUADRO 2.2 - SÍNTESE DAS FIGURAS 7.2, 7.3 E 7.4 DA EC3-1-8, PARA O MODO DE ROTURA B)

Esforços normais	Momento fletor
Juntas entre elementos CHS	
Juntas entre elementos diagonais RHS e cordas RHS	
Juntas entre elementos diagonais CHS ou RHS e cordas em perfil de seção I ou H	

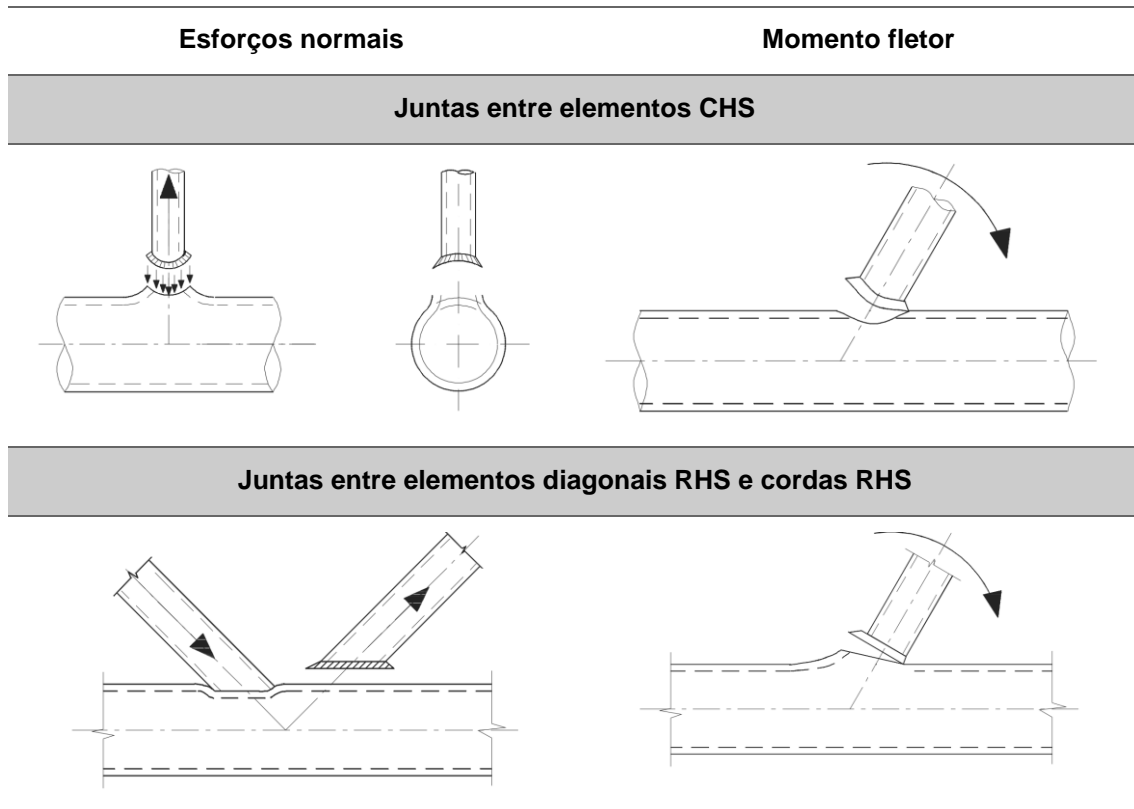
c) Rotura por corte da corda.

QUADRO 2.3 - SÍNTESE DAS FIGURAS 7.2, 7.3 E 7.4 DA EC3-1-8, PARA O MODO DE ROTURA C)

Esforços normais	Momento fletor
Juntas entre elementos CHS	
Juntas entre elementos diagonais RHS e cordas RHS	
Juntas entre elementos diagonais CHS ou RHS e cordas em perfil de seção I ou H	

d) **Rotura por punçoamento** de uma parede da corda de secção tubular (início de fissuração conduzindo à separação entre os elementos diagonais e a corda).

QUADRO 2.4 - SÍNTESE DAS FIGURAS 7.2, 7.3 E 7.4 DA EC3-1-8, PARA O MODO DE ROTURA D)



e) **Rotura do elemento diagonal** com largura efetiva reduzida (fissuração nas soldaduras ou nos elementos diagonais).

QUADRO 2.5 - SÍNTESE DAS FIGURAS 7.2, 7.3 E 7.4 DA EC3-1-8, PARA O MODO DE ROTURA E)

Esforços normais	Momento fletor
Juntas entre elementos CHS	
Juntas entre elementos diagonais RHS e cordas RHS	
Juntas entre elementos diagonais CHS ou RHS e cordas em perfil de seção I ou H	

- f) **Rotura por encurvadura local** de um elemento diagonal ou de uma corda de secção tubular no local da junta.

QUADRO 2.6 - SÍNTESE DAS FIGURAS 7.2, 7.3 E 7.4 DA EC3-1-8, PARA O MODO DE ROTURA F)

Esforços normais	Momento fletor
Juntas entre elementos CHS	
Juntas entre elementos diagonais RHS e cordas RHS	
Juntas entre elementos diagonais CHS ou RHS e cordas em perfil de seção I ou H	

Embora a resistência de uma junta com soldaduras corretamente executadas seja geralmente mais elevada à tração do que à compressão, o valor de cálculo da junta depende geralmente da resistência do elemento diagonal comprimido, derivado a fenómenos como a deformação local excessiva, a redução da capacidade de rotação ou até mesmo a capacidade de deformação da junta (EC3-1-8,7.2.2 (5)).

2.3. Soldaduras

As soldaduras que ligam os elementos diagonais às cordas deverão ter resistência suficiente para suportarem as distribuições não uniformes de tensões e terem capacidade de deformação suficientes para permitir a redistribuição de momentos fletores (EC3-1-8,7.3.1 (1) P). Pretende-se assim que a soldadura seja dúctil, para qual basta em geral que a solda seja executada em cordão de angulo e/ou de topo ao longo do perímetro da junta (EC3-1-8, 7.3.1 (2)), com espessura de cordão suficiente que confira à junta a classificação de resistência total (EC3-1-8, 5.1.1 (4)). Para tal pode determinar-se essa espessura de acordo com a secção 4 do EC3-1-8, ou adotar para estruturas contraventadas,

$$a > 1,4 \times 0,7 \frac{(f_y/\gamma_{M0})t}{f_u/\gamma_{M2}},$$

sendo "a" a espessura do cordão de solda e "t" a menor espessura dos tubos a ligar [1]

2.4. Juntas Soldadas entre elementos de secção tubular circular (CHS)

Para o caso das juntas planas, se estas respeitarem o domínio de validade do Quadro 2.7 (Quadro 7.1 do EC3-1-8), apenas será necessário considerar os seguintes mecanismos de colapso:

- i. Rotura da face da corda,
- ii. Rotura por punçoamento,

sendo o valor de cálculo da resistência da junta o menor destes (EC3-1-8, 7.4.1 (2)).

Caso contrário, deverão ser considerados todos os modos de rotura (capítulo 2.2.2 de a) a f)), tendo em conta, caso existam, os momentos fletores secundários nas juntas devido à sua rigidez de rotação (EC3-1-8, 7.4.1 (3)).

QUADRO 2.7 - DOMÍNIO DE VALIDADE PARA JUNTAS SOLDADAS ENTRE ELEMENTOS DIAGONAIS CHS E CORDAS CHS
(QUADRO 7.1 EC3-1-8)

Relação entre diâmetros		$0,2 \leq d_i/d_0 \leq 1,0$
Cordas	tensão	$10 \leq d_0/t_0 \leq 50$ (geralmente), mas, $10 \leq d_0/t_0 \leq 40$ (para juntas em X)
	compressão	Classe 1 ou 2 e $10 \leq d_0/t_0 \leq 50$ (geralmente), mas: $10 \leq d_0/t_0 \leq 40$ (para juntas em X)
Diagonais	tensão	$d_i/t_i \leq 50$
	compressão	Classe 1 ou 2
Sobreposição		$25 \% \leq \lambda_{ov} \leq \lambda_{ov,lim}$
Afastamento		$g \geq t_1 + t_2$

2.4.1. Juntas planas

O valor de cálculo do esforço normal ($N_{i,Ed}$) nas ligações de elementos diagonais solicitados apenas a esforço normal, não deverá exceder o esforço normal resistente ($N_{i,Rd}$) da junta soldada, obtido nos Quadros 7.2, 7.3 ou 7.4 da EC3-1-8, conforme o caso, e por isso, $N_{i,Ed} \leq N_{i,Rd}$.

As ligações de elementos solicitados por uma combinação de esforço normal e de momentos fletores deverão satisfazer a condição seguinte:

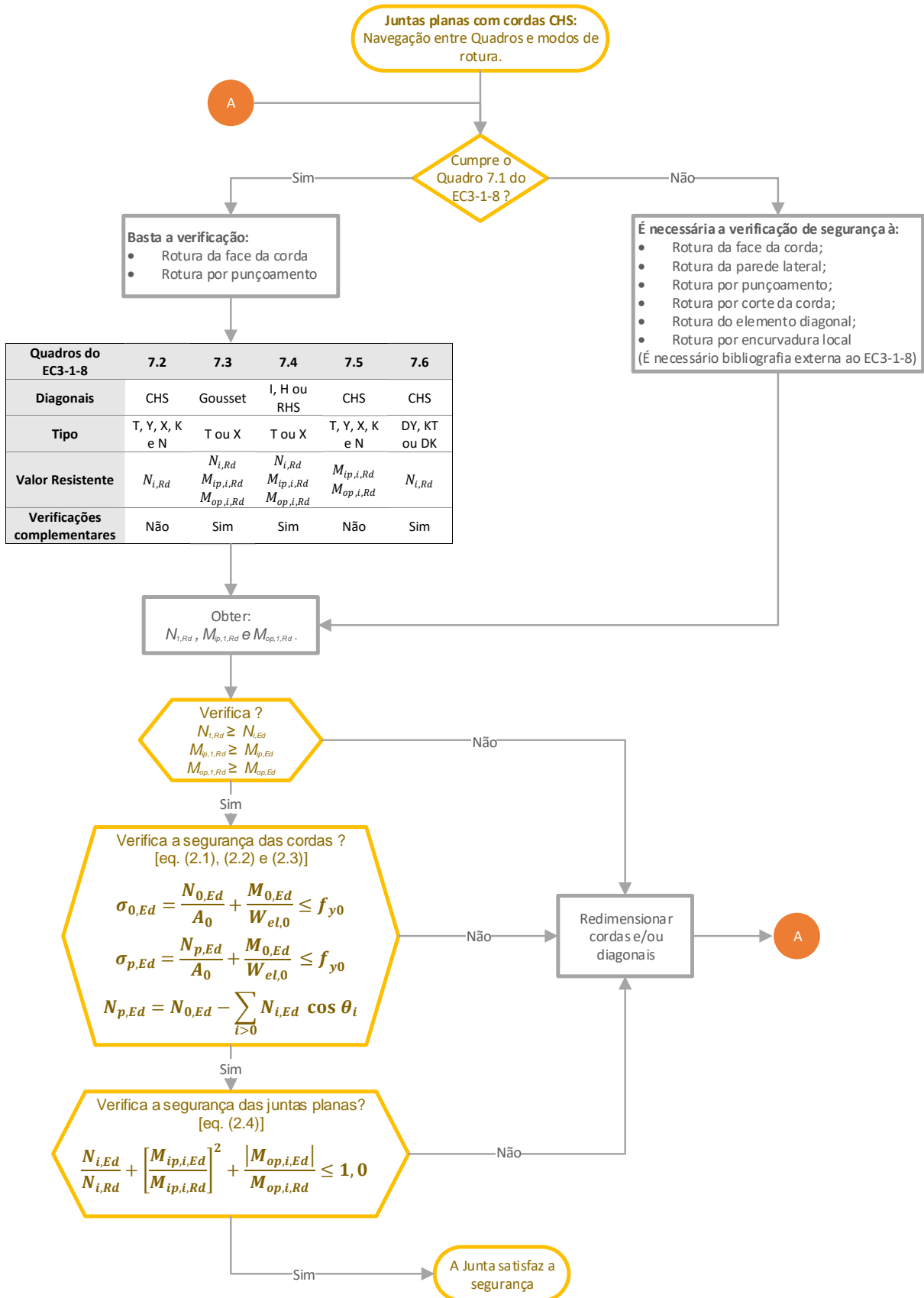
$$\frac{N_{i,Ed}}{N_{i,Rd}} + \left[\frac{M_{ip,i,Ed}}{M_{ip,i,Rd}} \right]^2 + \frac{|M_{op,i,Ed}|}{M_{op,i,Rd}} \leq 1,0 \quad (2.4)$$

O valor de cálculo do momento fletor ($M_{i,Ed}$) deverá ser considerado ao nível da interseção do eixo do elemento diagonal, com a face da corda, e os valores de cálculo da resistência à flexão no plano e fora do plano, $M_{ip,i,Rd}$ e $M_{op,i,Rd}$, respetivamente, deverão ser obtidos nos Quadros 7.3, 7.4 ou 7.5 da EC3-1-8, conforme cada caso (EC3-1-8, 7.4.2 (3) e (4)).

Para casos mais particulares de juntas soldadas, existe no Quadro 7.6 da EN 1993-1-8 alguns que poderão ser admitidos, caso verifiquem os critérios de cálculo, nomeadamente, geometria e sentido de esforços (EC3-1-8, 7.4.2 (5)).

O fluxograma seguinte demonstra a lógica da utilização do capítulo 7 do EC3-1-8, especificamente, a verificação das juntas planas com cordas CHS.

FLUXOGRAMA 2.1 – VERIFICAÇÃO DA SEGURANÇA DE JUNTAS PLANAS COM CORDAS CHS



2.4.1.1. Esforços normais resistentes de juntas soldadas entre elementos diagonais CHS e cordas CHS

Para a utilização do Quadro 7.2 do EC3-1-8, ou seja, para determinação dos valores resistentes normais dos mecanismos de rotura da face da corda e rotura por punçoamento, e uma vez que já esteja verificado o domínio de validade do Quadro 2.7, é necessário primeiro proceder ao cálculo do coeficiente K_p e posteriormente, caso seja uma junta em K, N ou KT (ver Quadro 2.8), determinar o coeficiente K_g :

$$k_g = \gamma^{0,2} \left(1 + \frac{0,024\gamma^{1,2}}{1 + \exp(0,5g/t_0 - 1,33)} \right) \quad (2.5)$$

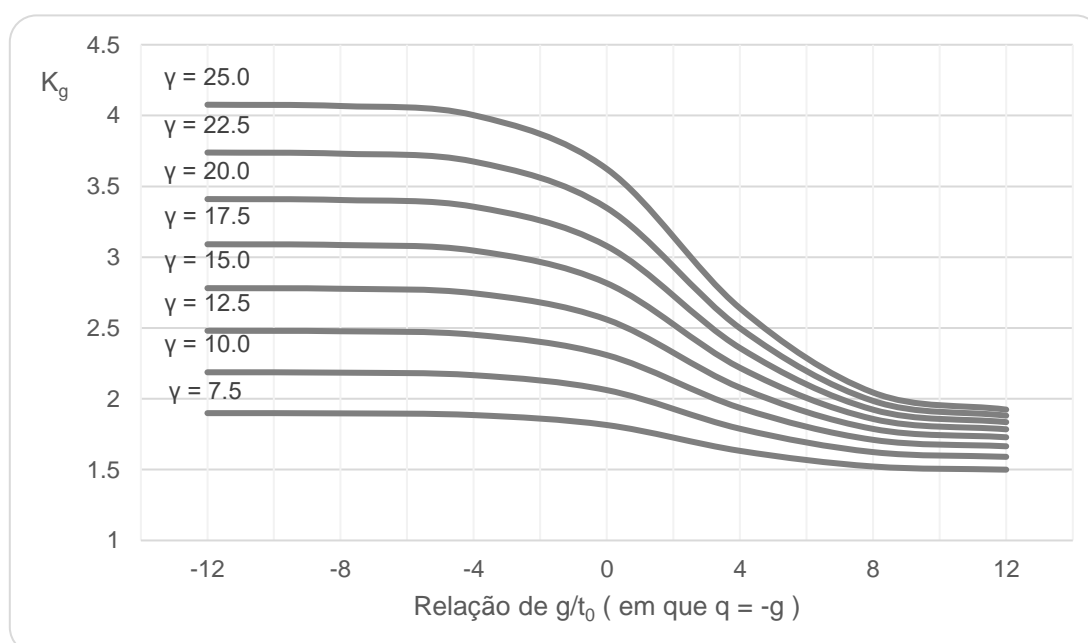


FIGURA 2.5 – VARIAÇÃO DO COEFICIENTE K_g DA EQUAÇÃO (2.5)

$$k_p = \begin{cases} 1 - 0,3n_p(1 + n_p) & \text{mas } k_p \leq 1,0 \text{ para } n_p > 0 \text{ (compressão)} \\ 1,0 & \text{para } n_p \leq 0 \text{ (tração)} \end{cases} \quad (2.6)$$

Os esforços normais resistentes ($N_{1,Rd}$) referidos para cada tipo de junta clarificam-se nas alíneas seguintes:

QUADRO 2.8 – SÍNTESE DO QUADRO 7.2 EC3-1-8

Juntas soldadas entre diagonais CHS e cordas CHS		
Tipos de rotura	Tipos de juntas	Equações
Face da corda	T e Y	(2.7)
	X	(2.8)
	K e N	(2.9) e (2.10)
Punçoamento	K, N, KT, T, Y e X	(2.11)

a) Rotura da face da corda:

i. Juntas em T e em Y:

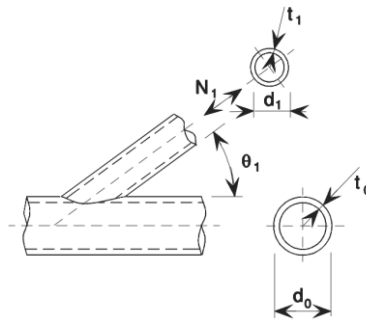


FIGURA 2.6 – JUNTA EM Y DO QUADRO 7.2 EC3-1-8

$$N_{1,Rd} = \frac{\gamma^{0,2} k_p f_{y0} t_0^2}{\text{sen}\theta_1} (2,8 + 14,2\beta^2) / \gamma_{M5} \quad (2.7)$$

ii. Juntas em X:

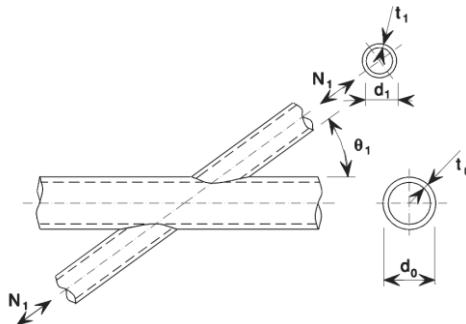


FIGURA 2.7 – JUNTA EM X DO QUADRO 7.2 EC3-1-8

$$N_{1,Rd} = \frac{k_p f_{y0} t_0^2}{\text{sen}\theta_1} \frac{5,2}{(1 - 0,81\beta)} / \gamma_{M5} \quad (2.8)$$

iii. Juntas em K ou N com ou sem sobreposição:

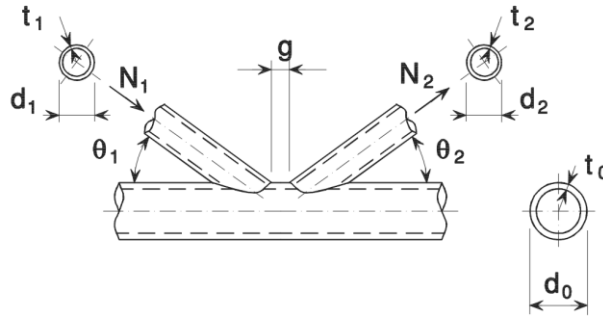


FIGURA 2.8 – JUNTA EM K DO QUADRO 7.2 EC3-1-8

$$N_{1,Rd} = \frac{k_g k_p f_{y0} t_0^2}{\text{sen}\theta_1} \left(1,8 + 10,2 \frac{d_1}{d_0} \right) / \gamma_{M5} \quad (2.9)$$

$$N_{2,Rd} = \frac{\text{sen}\theta_1}{\text{sen}\theta_2} N_{1,Rd} \quad (2.10)$$

b) Rotura por punçamento:

i. Juntas K, N e KT com afastamento, e ligações em T, Y e X [i=1,2 ou 3]:

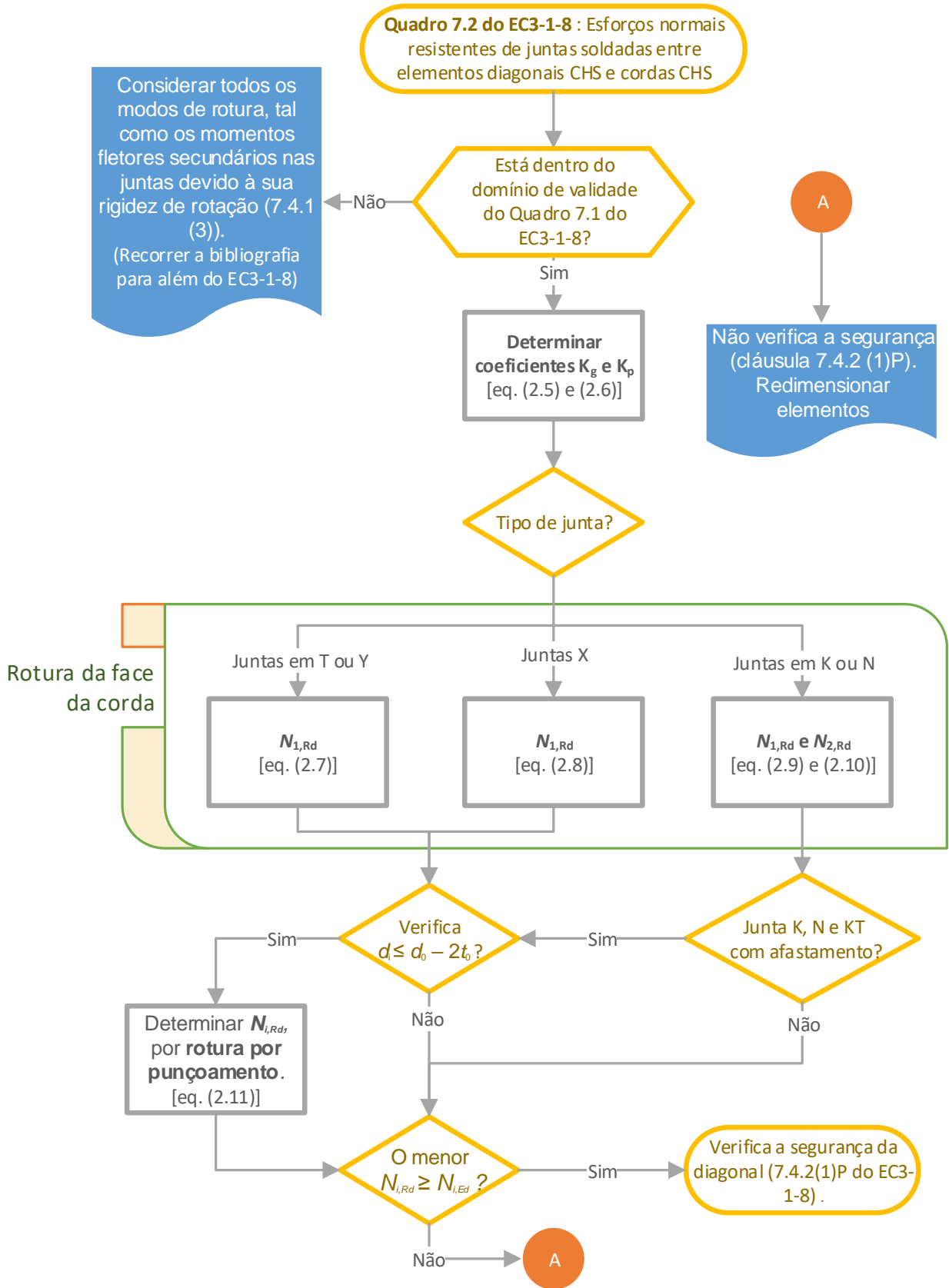
Quando $d_i \leq d_0 - 2t_0$:

$$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} t_0 \pi d_i \frac{1 + \text{sen}\theta_i}{2 \text{sen}^2 \theta_i} / \gamma_{M5} \quad (2.11)$$

Como é sensato, o esforço normal resistente a adotar na expressão e verificação de segurança (2.4) será o menor entre os dois mecanismos de rotura, da face da corda e por punçamento.

A verificação da resistência das diagonais sintetiza-se no fluxograma seguinte:

FLUXOGRAMA 2.2 - ORGANIZAÇÃO LÓGICA E EFICIENTE UTILIZAÇÃO DO QUADRO 7.2 DA EC3-1-8



2.4.1.2. Resistência de cálculo de juntas soldadas de esquadros de ligação (goussets) a elementos CHS

No Quadro 7.3 do EC3-1-8 verifica-se a segurança de ligações de goussets a cordas CHS. Para tal, é necessário verificar o domínio de validade do Quadro 2.7, que após a verificação deste, é necessário verificar um domínio de “validade complementar” presente no Quadro 7.3 do EC3-1-8, como também determinar o coeficiente K_p (equação 2.6).:

- Domínio de validade complementar:

$$\beta = \frac{b_1}{d_0} \geq 0,4 \quad (2.12)$$

$$\eta = \frac{h_1}{d_0} \leq 4 \quad (2.13)$$

Após determinar o parâmetro K_p , e validado o domínio, o Quadro 7.3 do EC3-1-8 irá fornecer os esforços normais resistentes ($N_{1,Rd}$), e os momentos fletores resistentes para dentro e fora do plano ($M_{ip,1,Rd}$ e $M_{op,1,Rd}$), associados aos mecanismos de rotura da face da corda, como também a tensão normal máxima na corda do mecanismo de rotura por punçoamento.

QUADRO 2.9 – SÍNTESE DO QUADRO 7.3 EC3-1-8

Juntas soldadas de esquadros de ligação (<i>goussets</i>) a cordas CHS		
Tipos de rotura	Tipos de juntas	Equações
Face da corda	“T com chapa de <i>gousset</i> transversal”	(2.14), (2.15) e (2.16)
	“X com chapa <i>gousset</i> transversal”	(2.17), (2.18) e (2.19)
	“T ou X com chapa de <i>gousset</i> longitudinal”	(2.20), (2.21) e (2.22)
Punçoamento	---	(2.23)

a) Rotura da face da corda:

i. Junta em “T com chapa de *gousset* transversal”:

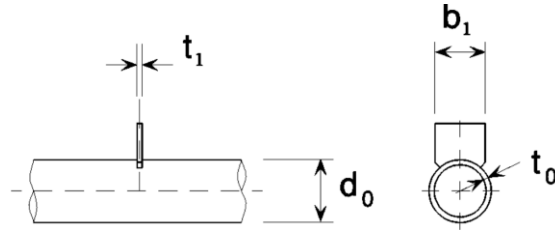


FIGURA 2.9 – JUNTA SOLDADA EM T COM CHAPA DE *GOUSSET* TRANSVERSAL (EC3-1-8, QUADRO 7.3)

$$N_{1,Rd} = k_p f_{y0} t_0^2 (4 + 20\beta^2) / \gamma_{M5} \quad (2.14)$$

$$M_{ip,1,Rd} = 0 \quad (2.15)$$

$$M_{op,1,Rd} = 0,5 b_1 N_{1,Rd} \quad (2.16)$$

ii. Junta em “X com chapa *gousset* transversal”:

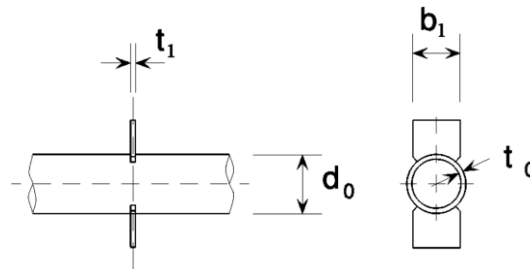


FIGURA 2.10 - JUNTA SOLDADA EM X COM CHAPA DE *GOUSSET* TRANSVERSAL (EC3-1-8, QUADRO 7.3)

$$N_{1,Rd} = \frac{5k_p f_{y0} t_0^2}{1 - 0,81\beta} / \gamma_{M5} \quad (2.17)$$

$$M_{ip,1,Rd} = 0 \quad (2.18)$$

$$M_{op,1,Rd} = 0,5 b_1 N_{1,Rd} \quad (2.19)$$

iii. Junta em “T ou X com chapa de *gousset* longitudinal”:

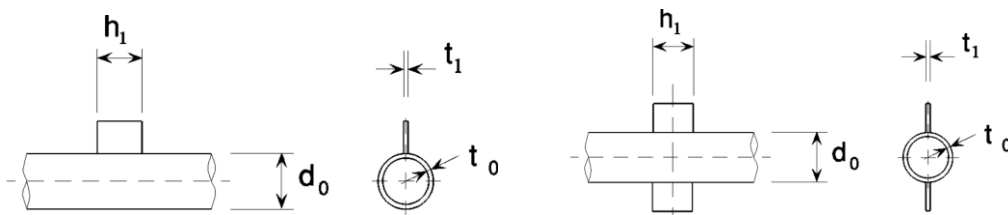


FIGURA 2.11 – JUNTAS EM “T OU X COM CHAPA DE *GOUSSET* LONGITUDINAL”

$$N_{1,Rd} = 5k_p f_{y0} t_0^2 (1 + 0,25\eta) / \gamma_{M5} \quad (2.20)$$

$$M_{ip,1,Rd} = h_1 N_{1,Rd} \quad (2.21)$$

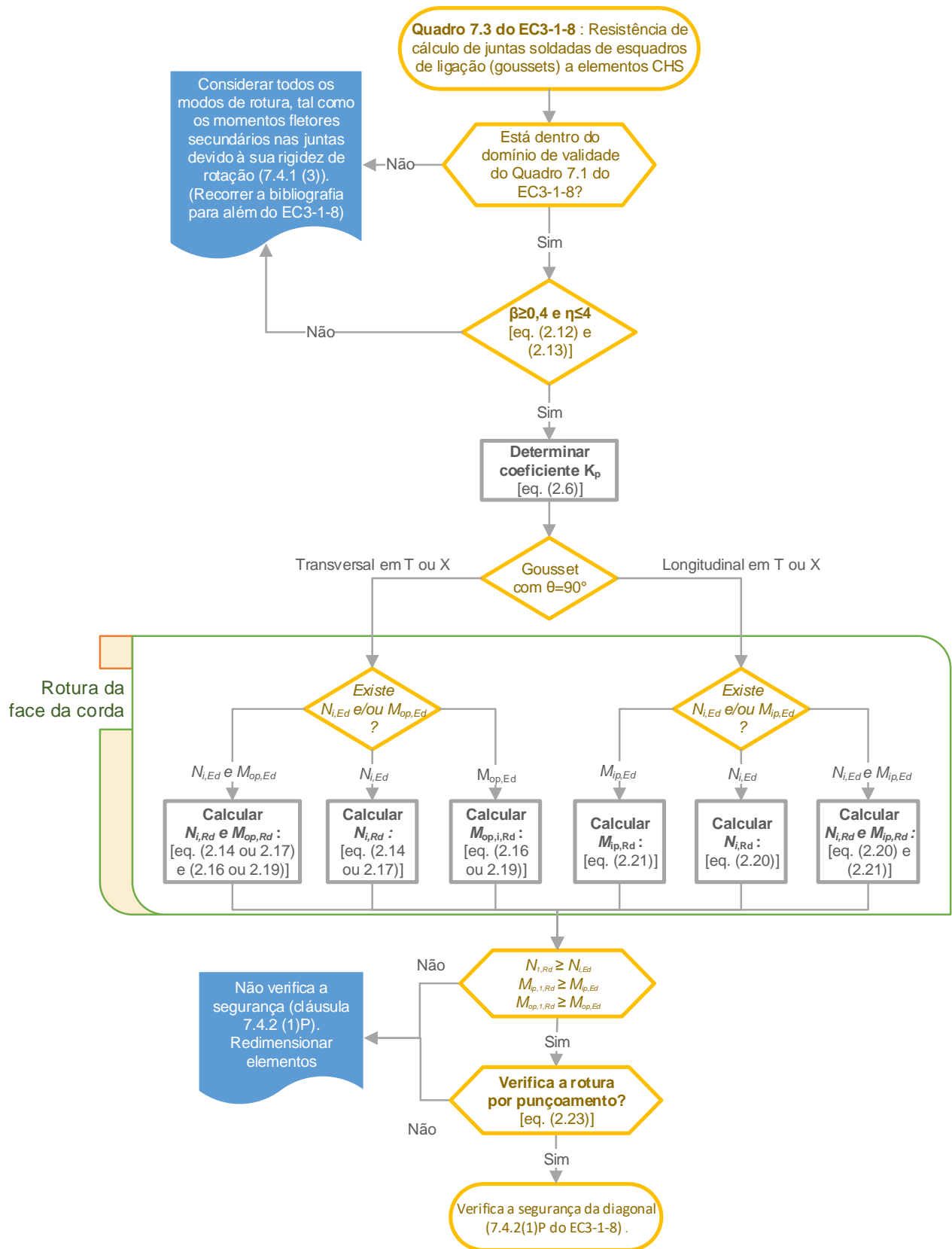
$$M_{op,1,Rd} = 0 \quad (2.22)$$

b) Rotura por punçoamento:

$$\sigma_{\max} t_1 = (N_{Ed}/A + M_{Ed}/W_{el})t_1 \leq 2t_0(f_{y0}/\sqrt{3})/\gamma_{M5} \quad (2.23)$$

A verificação de resistência da rotura da face da corda é validada pela equação (2.4) com os esforços resistentes das equações (2.14) a (2.22), consoante o tipo de geometria da junta. A verificação da resistência por punçoamento é satisfeita pela equação (2.23)

FLUXOGRAMA 2.3 – ORGANIZAÇÃO LÓGICA E EFICIENTE UTILIZAÇÃO DO QUADRO 7.3 DA EC3-1-8



2.4.1.3. Resistências de cálculo de juntas soldadas entre perfis de secção em I, em H ou RHS e elementos CHS

Tal como nos quadros anteriores, a utilização do Quadro 7.4 do EC3-1-8 pressupõe a validação do Quadro 2.7, e do domínio de validade complementar inserido no Quadro 7.4 do EC3-1-8, nomeadamente β e η (equações 2.7 e 2.8), como também o determinar do coeficiente K_p (equação 2.6) para proceder ao cálculo das resistências.

QUADRO 2.10 - SÍNTESE DO QUADRO 7.4 DO EC3-1-8

Juntas soldadas entre diagonais de perfil em I, H ou RHS e cordas CHS		
Tipos de rotura	Tipos de juntas	Equações
Face da corda	T (diagonal I ou H)	(2.24), (2.25) e (2.26)
	X (diagonal I ou H)	(2.27), (2.28) e (2.29)
	T (diagonal RHS)	(2.30), (2.31) e (2.32)
	X (diagonal RHS)	(2.33), (2.34) e (2.35)
Punçoamento	(I,H ou RHS com $\eta > 2$ e sem $M_{ip,i.Ed}$)	(2.36)
	(I,H ou RHS para os restantes casos)	(2.37)

a) Rotura da face da corda:

i. Junta em T com diagonal em I ou H:

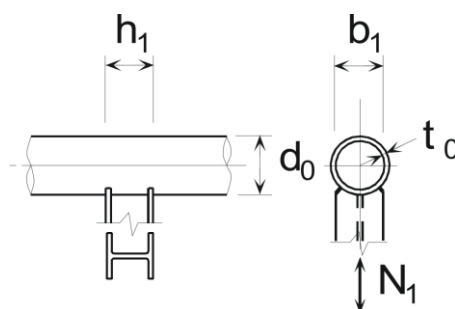


FIGURA 2.12 – JUNTA SOLDADA EM T ENTRE DIAGONAL DE PERFIL I OU H E CORDA CHS (EC3-1-8 , QUADRO 7.4)

$$N_{1,Rd} = k_p f_{y0} t_0^2 (4 + 20\beta^2)(1 + 0,25\eta) / \gamma_{M5} \quad (2.24)$$

$$M_{ip,1,Rd} = h_1 N_{1,Rd} / (1 + 0,25\eta) \quad (2.25)$$

$$M_{op,1,Rd} = 0,5 b_1 N_{1,Rd} \quad (2.26)$$

ii. Junta em X com diagonal em I ou H:

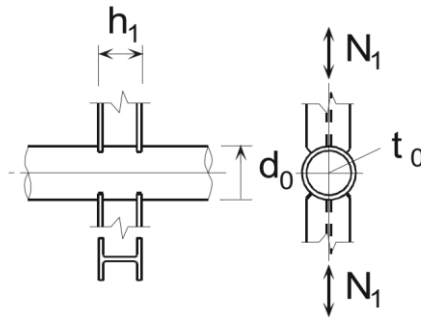


FIGURA 2.13 – JUNTA SOLDADA EM X ENTRE DIAGONAIS DE PERFIL I OU H E CORDA CHS (EC3-1-8 , QUADRO 7.4)

$$N_{1,Rd} = \frac{5k_p f_{y0} t_0^2}{1 - 0,81\beta} (1 + 0,25\eta) / \gamma_{M5} \quad (2.27)$$

$$M_{ip,1,Rd} = h_1 N_{1,Rd} / (1 + 0,25\eta) \quad (2.28)$$

$$M_{op,1,Rd} = 0,5b_1 N_{1,Rd} \quad (2.29)$$

iii. Junta em T com diagonal RHS:

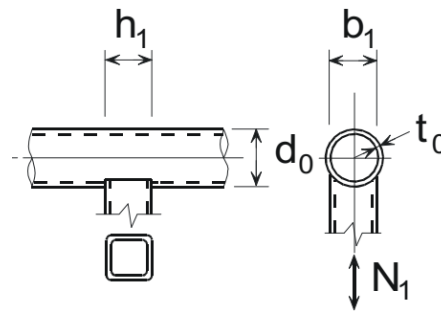


FIGURA 2.14 – JUNTA SOLDADA EM T ENTRE DIAGONAL RHS E CORDA CHS (EC3-1-8 , QUADRO 7.4)

$$N_{1,Rd} = k_p f_{y0} t_0^2 (4 + 20\beta^2) (1 + 0,25\eta) / \gamma_{M5} \quad (2.30)$$

$$M_{ip,1,Rd} = h_1 N_{1,Rd} \quad (2.31)$$

$$M_{op,1,Rd} = 0,5b_1 N_{1,Rd} \quad (2.32)$$

iv. Junta em X com diagonal RHS:

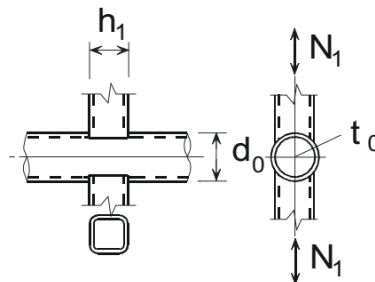


FIGURA 2.15 – JUNTA SOLDADA EM X ENTRE DIAGONAL RHS E CORDA CHS (EC3-1-8 , QUADRO 7.4)

$$N_{1,Rd} = \frac{5k_p f_{y0} t_0^2}{1 - 0,81\beta} (1 + 0,25\eta) / \gamma_{M5} \quad (2.33)$$

$$M_{ip,1,Rd} = h_1 N_{1,Rd} \quad (2.34)$$

$$M_{op,1,Rd} = 0,5b_1 N_{1,Rd} \quad (2.35)$$

b) Rotura por punçoamento:

i. Perfis em I ou H com $\eta > 2$ (para compressão axial e flexão simples fora do plano) e secções RHS:

$$\sigma_{\max} t_1 = (N_{Ed,1}/A_1 + M_{Ed,1}/W_{el,1}) t_1 \leq t_0 (f_{y0}/\sqrt{3}) / \gamma_{M5} \quad (2.36)$$

ii. Para todos os outros casos:

$$\sigma_{\max} t_1 = (N_{Ed,1}/A_1 + M_{Ed,1}/W_{el,1}) t_1 \leq 2t_0 (f_{y0}/\sqrt{3}) / \gamma_{M5} \quad (2.37)$$

(Nota: O parâmetro t_1 acima formulado, será o banzo ou a espessura da parede do perfil em I, em H ou do RHS transversal.)

Consoante o tipo de rotura, de junta e de diagonais soldadas, assim se irá obter a informação necessária pelo Quadro 2.10 e Quadro 7.4 do EC3-1-8, para verificar se a rotura ocorre por plastificação da face da corda ou pelo punçoamento desta.

A verificação das resistências é sintetizada no fluxograma que se segue.

2.4.1.4. Valores de cálculo de resistência à flexão de juntas soldadas entre elementos diagonais CHS e cordas CHS

Depois da validação do Quadro 2.7, e determinar o coeficiente K_p (equação (2.6)), o Quadro 7.5 do EC3-1-8, indica o que faltava ao Quadro 2.8 e Quadro 7.2 do EC3-1-8, para a utilização completa da equação 2.4, nomeadamente os valores de cálculo de resistência à flexão para dentro e fora do plano ($M_{ip,1,Rd}$ e $M_{op,1,Rd}$).

QUADRO 2.11 - SÍNTESE DO QUADRO 7.5 DO EC3-1-8

Juntas soldadas entre diagonais CHS e cordas CHS		
Tipos de rotura	Tipos de juntas	Equações
Face da corda	T, X e Y	(2.38)
	K, N, T, X, e Y	(2.39)
Punçoamento	T, X, Y e K ou N (com afastamento)	(2.40), (2.41) e (2.42)

a) Rotura da face da corda:

i. Juntas em T, X e Y:

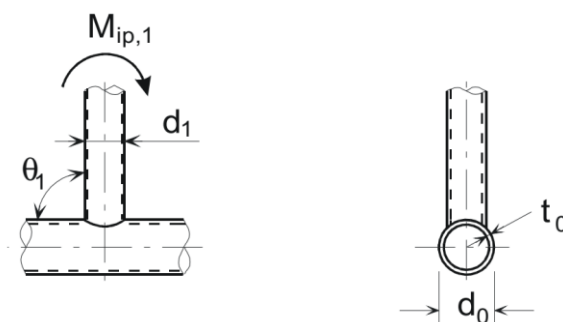


FIGURA 2.16 – JUNTA SOLDADA EM T ENTRE DIAGONAL E CORDA CHS A REPRESENTAR O MOMENTO DENTRO DO PLANO

$$M_{ip,1,Rd} = 4,85 \frac{f_{y0} t_0^2 d_1}{\text{sen} \theta_1} \sqrt{\gamma \beta k_p / \gamma_{M5}} \quad (2.38)$$

ii. Juntas em K, N, T, X e Y:

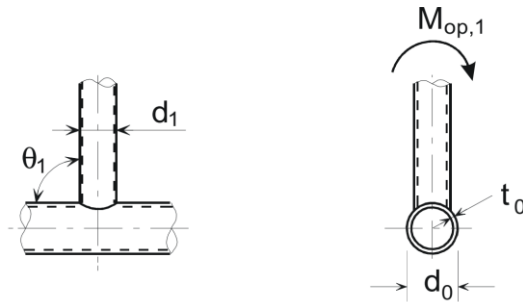


FIGURA 2.17 – JUNTA SOLDADA EM T ENTRE CORDA E DIAGONAL CHS A REPRESENTAR O MEMENTO FORA DO PLANO

$$M_{op,1,Rd} = \frac{f_{y0} t_0^2 d_1}{\text{sen}\theta_1} \frac{2,7}{1 - 0,81\beta} k_p / \gamma_{M5} \quad (2.39)$$

b) Rotura por punçoamento:

i. Juntas em K e em N com afastamento e todas as juntas em T, X e Y:

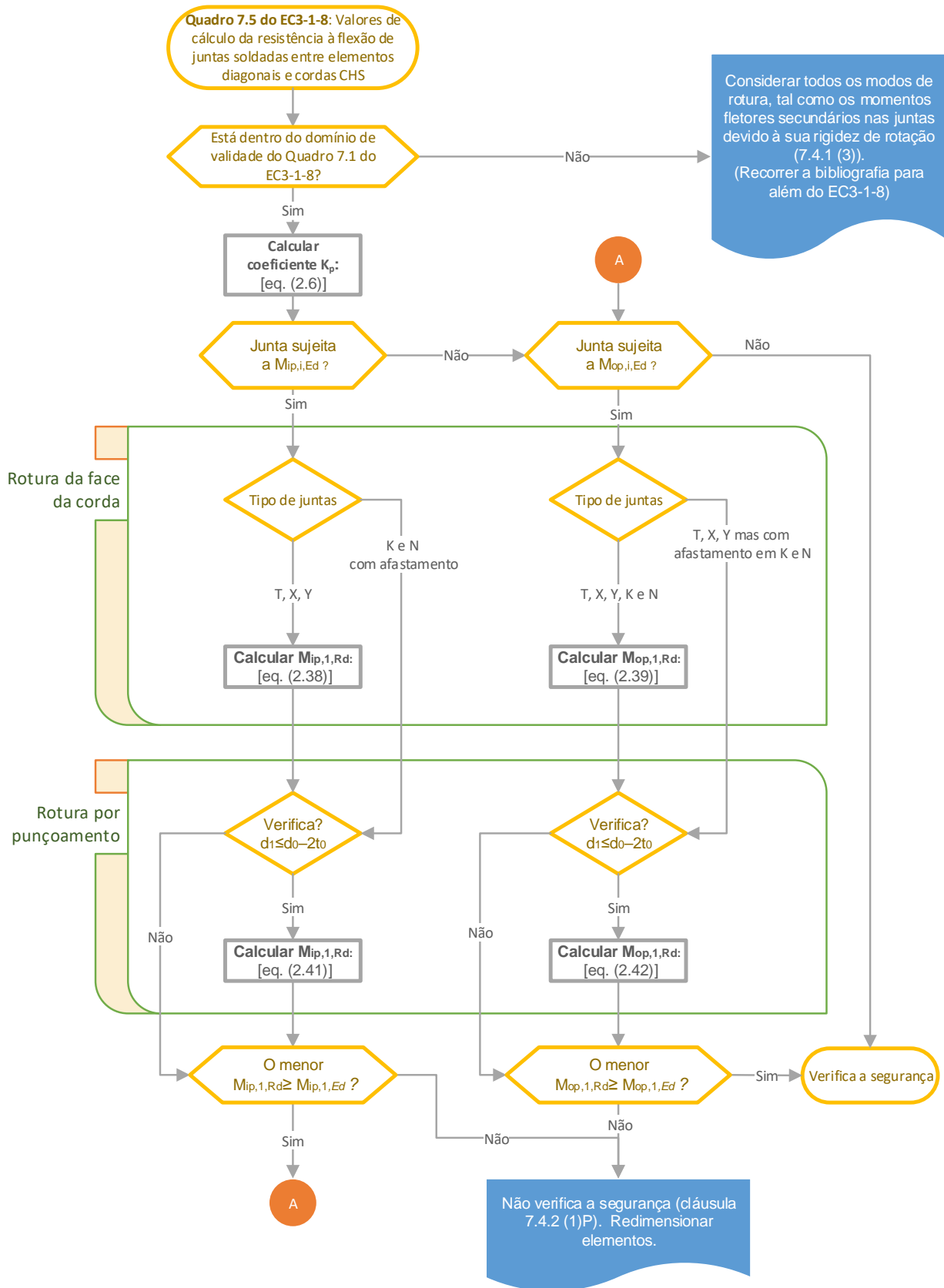
$$\text{Quando } d_1 \leq d_0 - 2t_0 : \quad (2.40)$$

$$M_{ip,1,Rd} = \frac{f_{y0} t_0 d_1^2}{\sqrt{3}} \frac{1 + 3\text{sen}\theta_1}{4\text{sen}^2\theta_1} / \gamma_{M5} \quad (2.41)$$

$$M_{op,1,Rd} = \frac{f_{y0} t_0 d_1^2}{\sqrt{3}} \frac{3 + \text{sen}\theta_1}{4\text{sen}^2\theta_1} / \gamma_{M5} \quad (2.42)$$

Obtêm-se os valores de cálculo da resistência à flexão para dentro e fora do plano ($M_{ip,1,Rd}$ e $M_{op,1,Rd}$), tanto para a rotura da face da corda como para punçoamento, sendo que os valores inferiores, mais desfavoráveis, a utilizar na equação 2.4.

FLUXOGRAMA 2.5 - ORGANIZAÇÃO LÓGICA E EFICIENTE UTILIZAÇÃO DO QUADRO 7.5 DA EC3-1-8



2.4.1.5. Critérios de dimensionamento para tipos particulares de juntas soldadas entre elementos diagonais CHS e cordas CHS

O Quadro 7.6 EC3-1-8 pretende obter esforços normais resistentes ($N_{1,Rd}$) para casos particulares de juntas, guiando-se e modificando o Quadro 7.2 do EC3-1-8, consoante determinados requisitos.

QUADRO 2.12 - SÍNTESE DO QUADRO 7.6 EN 1993-1-8

Juntas soldadas entre diagonais CHS e cordas CHS		
Tipo de junta particular	Alterações no Quadro 7.2 do EC3-1-8	Equações
DY	X	(2.43)(2.44)(2.45)
KT	K	(2.46)(2.47)(2.48)(2.49)(2.50)
DK	X	(2.51)(2.52)(2.53)(2.54)
DK	K	(2.55)(2.56)(2.57)(2.58)(2.59)

- **Requisitos específicos para a junta particular DY:**

Em ambos os elementos diagonais, os esforços poderão ser de tração ou de compressão, mas atuar no mesmo sentido.

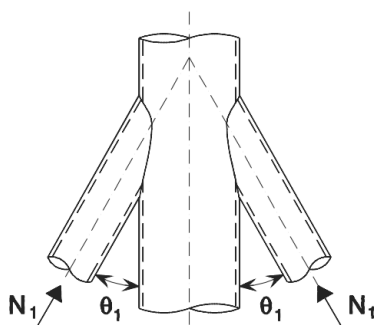


FIGURA 2.18 – JUNTA SOLDADA EM DY COM SIMETRIA NAS DIAGONAIS, NAS FORÇAS E SENTIDOS POR ESTAS TRANSMITIDOS

A verificação de segurança consiste em cumprir a seguinte verificação:

$$N_{1,Ed} \leq N_{1,Rd} , \quad (2.43)$$

sendo o $N_{1,Rd}$ o menor valor entre os mecanismos de rotura da face da corda e por punçoamento para uma ligação em X do Quadro 7.2 do EC3-1-8. Concretamente teremos:

a) Rotura da face da corda:

$$N_{1,Rd} = \frac{k_p f_{y0} t_0^2}{\text{sen}\theta_1} \frac{5,2}{(1 - 0,81\beta)} / \gamma_{M5} \quad (2.44)$$

b) Rotura por punçoamento:

Quando $d_i \leq d_0 - 2t_0$:

$$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} t_0 \pi d_i \frac{1 + \text{sen}\theta_i}{2 \text{sen}^2 \theta_i} / \gamma_{M5} \quad (2.45)$$

Caso $d_i \geq d_0 - 2t_0$ é o mecanismo de rotura da face da corda que prevalece.

• **Requisitos específicos para a junta particular KT:**

Considerando o elemento 1 e 3 à compressão e o elemento 2 à tração.

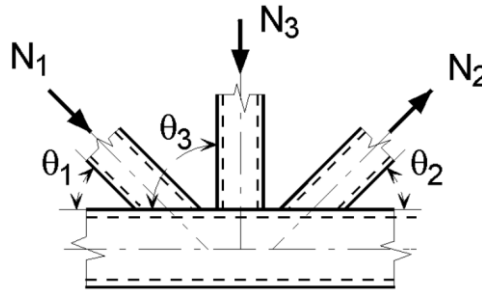


FIGURA 2.19 – JUNTA SOLDADA EM KT ENTRE DIAGONAIS E CORDA EM RHS

As verificações de segurança a cumprir são:

$$(i) \quad N_{1,Ed} \text{sen}\theta_1 + N_{3,Ed} \text{sen}\theta_3 \leq N_{1,Rd} \text{sen}\theta_1, \quad (2.46)$$

$$(ii) \quad N_{2,Ed} \text{sen}\theta_2 \leq N_{1,Rd} \text{sen}\theta_1, \quad (2.47)$$

sendo os valores resistentes os seguintes:

a) Rotura da face da corda:

$$N_{1,Rd} = \frac{k_g k_p f_{y0} t_0^2}{\text{sen}\theta_1} \left(1,8 + 10,2 \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3d_0} \right) / \gamma_{M5} \quad (2.48)$$

$$N_{2,Rd} = \frac{\text{sen}\theta_1}{\text{sen}\theta_2} N_{1,Rd} \quad (2.49)$$

b) Rotura por punçamento:

Quando $d_i \leq d_0 - 2t_0$:

$$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} t_0 \pi d_i \frac{1 + \text{sen}\theta_i}{2 \text{sen}^2 \theta_i} / \gamma_{M5} \quad (2.50)$$

Caso contrário o mecanismo de rotura condicionante será o da face da corda.

• **Requisitos específicos para a junta particular DK(x):**

Todos os elementos diagonais devem estar tracionados ou comprimidos.

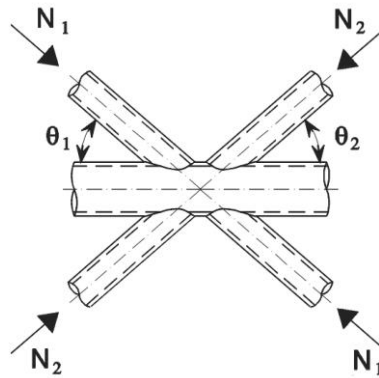


FIGURA 2.20 – JUNTA EM DK ENTRE DIAGONAIS E CORDA CHS

As verificações de segurança a cumprir são:

$$(i) \quad N_{1,Ed} \text{sen}\theta_1 + N_{2,Ed} \text{sen}\theta_2 \leq N_{x,Rd} \text{sen}\theta_x \quad (2.51)$$

$$(ii) \quad N_{x,Rd} \text{sen}\theta_x = \text{maior} \{ |N_{1,Rd} \text{sen}\theta_1|, |N_{2,Rd} \text{sen}\theta_2| \} \quad (2.52)$$

com $N_{1,Rd}$ e $N_{2,Rd}$ o menor dos valores resistentes à rotura da face da corda e à rotura por punçamento dado respetivamente pelas seguinte expressões:

a) Rotura da face da corda:

Para $[i = 1 \text{ e } 2]$:

$$N_{i,Rd} = \frac{k_p f_{y0} t_0^2}{\text{sen}\theta_i} \frac{5,2}{(1 - 0,81\beta)} / \gamma_{M5} \quad (2.53)$$

b) Rotura por punçamento:

Quando: $d_i \leq d_0 - 2t_0, [i = 1 \text{ e } 2]$

Então:
$$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} t_0 \pi d_i \frac{1 + \text{sen}\theta_i}{2\text{sen}^2\theta_i} / \gamma_{M5} \quad (2.54)$$

- **Requisitos específicos para a junta particular DK(k):**

Esta junta difere da anterior pelo facto do elemento 1 estar sempre comprimido e o elemento 2 estar sempre tracionado.

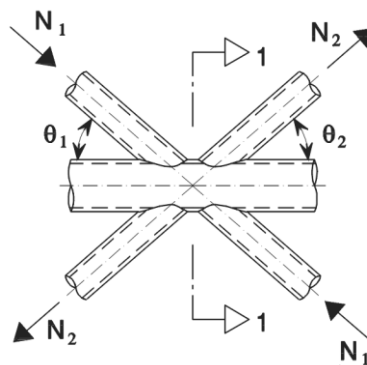


FIGURA 2.21 - JUNTA EM DK ENTRE DIAGONAIS E CORDA CHS

Existe segurança quando:

$$N_{i,Ed} \leq N_{i,Rd} \quad (2.55)$$

Com $i = 1$ para o elemento comprimido e $i = 2$ para o elemento tracionado, sendo $N_{1,Rd}$ o menor entre os valores resistentes da diagonal ao colapso pela rotura da face da corda e pela rotura por punçamento, da junta K do Quadro 7.2 do EC3-1-8. Além disso, se houver afastamento entre diagonais, a secção 1-1 da corda deverá satisfazer a seguinte inequação:

secção 1-1 da corda:

$$\left[\frac{N_{0,Ed}}{N_{pl,0,Rd}} \right]^2 + \left[\frac{V_{0,Ed}}{V_{pl,0,Rd}} \right]^2 \leq 1,0 \quad (2.56)$$

a) Rotura da face da corda:

Com afastamento verificado ou com sobreposição:

$$N_{1,Rd} = \frac{k_g k_p f_{y0} t_0^2}{\text{sen}\theta_1} \left(1,8 + 10,2 \frac{d_1}{d_0} \right) / \gamma_{M5} \quad (2.57)$$

$$N_{2,Rd} = \frac{\text{sen}\theta_1}{\text{sen}\theta_2} N_{1,Rd} \quad (2.58)$$

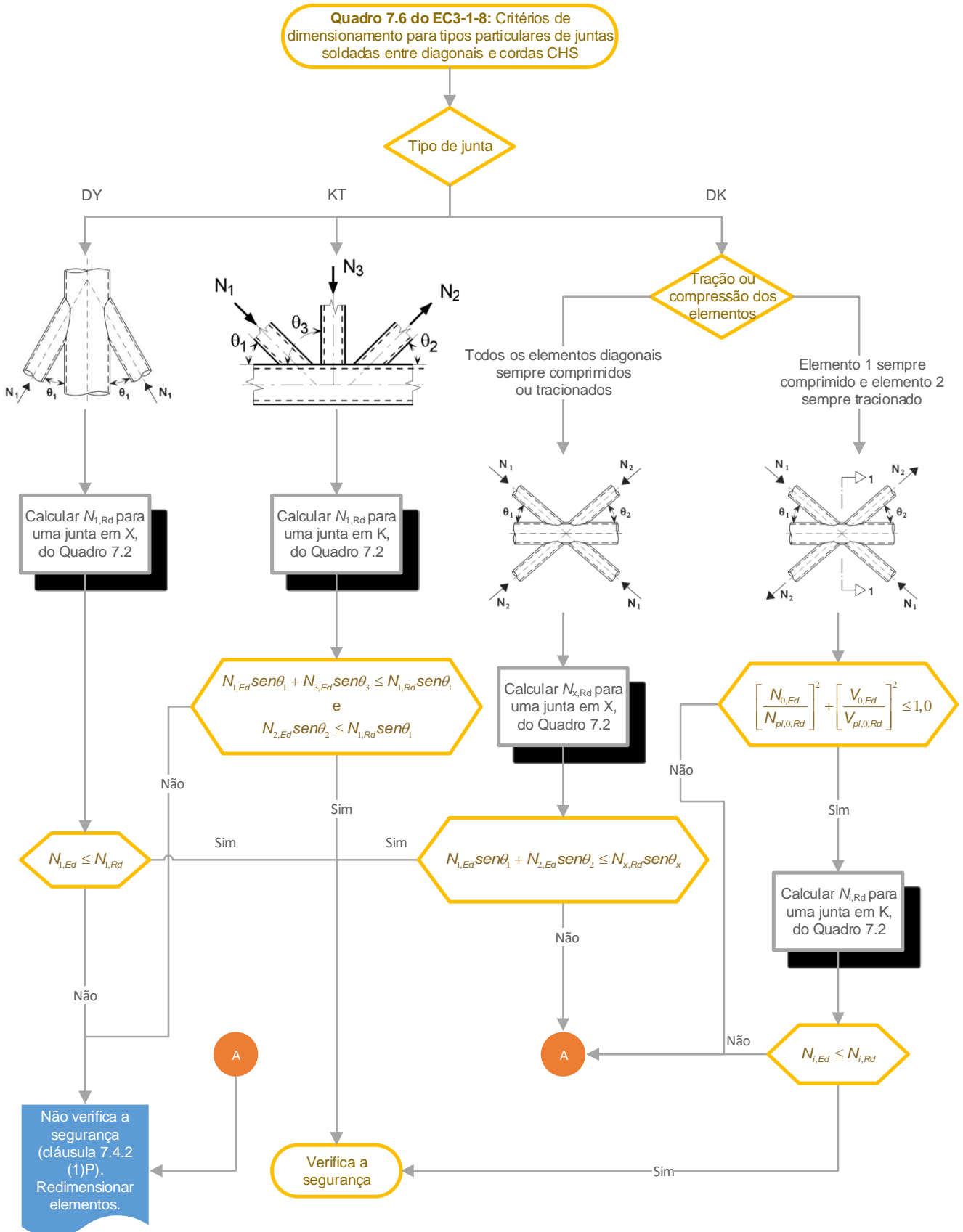
b) Rotura por punçamento:

Apenas com afastamento verificado:

Quando: $d_i \leq d_0 - 2t_0, [i = 1 \text{ e } 2]$

Então:
$$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} t_0 \pi d_i \frac{1 + \text{sen}\theta_i}{2 \text{sen}^2\theta_i} / \gamma_{M5} \quad (2.59)$$

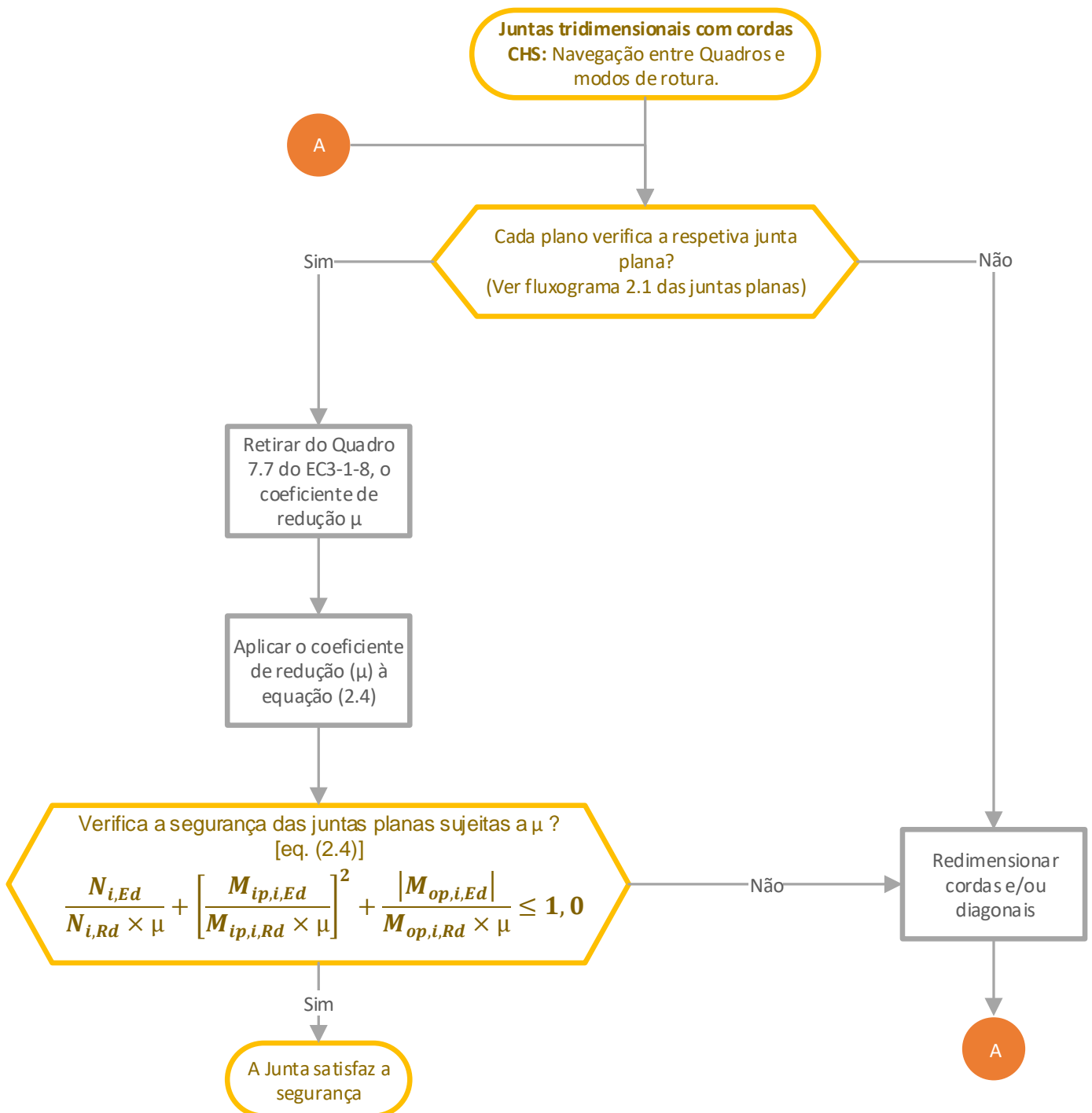
FLUXOGRAMA 2.6 - ORGANIZAÇÃO LÓGICA E EFICIENTE UTILIZAÇÃO DO QUADRO 7.6 DA EC3-1-8



2.4.2. Juntas tridimensionais

Para uma junta tridimensional, a norma prevê a decomposição em juntas planas, tal como previsto em 2.4.1, mas aplicando um coeficiente de redução μ às resistências daí obtidas, como indicado no Quadro 7.7 EC3-1-8, como demonstra o seguinte fluxograma:

FLUXOGRAMA 2.7 - VERIFICAÇÃO DAS JUNTAS TRIDIMENSIONAIS PELO QUADRO 7.7 DO EC3-1-8



A cláusula em 7.4.3 (2) do EC3-1-8, chama a atenção para um ponto pertinente, em que os elementos diagonais comprimidos e tracionados, fazem variar o parâmetro k_p (equação (2.6)), quando a corda passa de comprimida a tracionada, e vice-versa, consoante o valor e direção das componentes dos esforços nas diagonais que são paralelas às cordas.

Para cada tipo de junta ilustra-se a determinação dos coeficientes de redução μ .

- Junta em TT

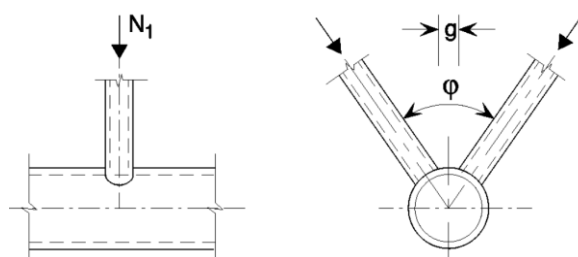


FIGURA 2.22 – JUNTA TRIDIMENSIONAL EM TT DE DIAGONAIS E CORDA EM CHS

Para a junta tridimensional TT, elemento 1 poderá estar tracionado ou comprimido, respeitando os limites impostos para o ângulo de φ .

$$\begin{aligned} \text{Para:} & \quad 60^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ \\ \text{Então:} & \quad \mu = 1,0 \end{aligned} \tag{2.60}$$

- Junta em XX

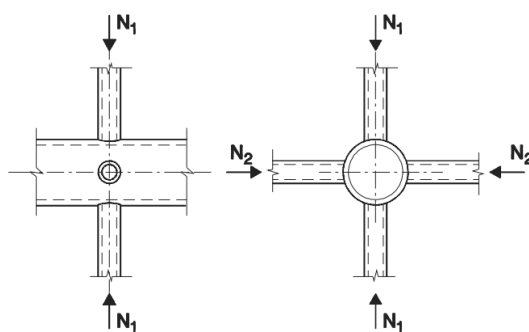


FIGURA 2.23 – JUNTA TRIDIMENSIONAL EM XX DE DIAGONAIS E CORDA EM CHS

Na junta tridimensional em XX os elementos 1 e 2 podem estar comprimidos ou tracionados, sendo que a relação $N_{2,Ed}/N_{1,Ed}$ é negativa se um elemento estiver tracionado e o outro comprimido.

$$\begin{aligned} \text{Com :} & \quad \mu = 1 + 0,33N_{2,Ed}/N_{1,Ed} (\leq 1,0) \\ & \quad |N_{2,Ed}| \leq |N_{1,Ed}| \end{aligned} \tag{2.61}$$

Aqui na equação (2.61), de acordo com o livro “*Hollow Sections in Structural Applications*”(tabela 8.4, pág.93 e capítulo 8.7.3, pág.85) [3], é recomendado que o valor de μ não ultrapasse 1.0, quando o mecanismo condicionante é o de rotura por punçoamento.

A EC3-1-8 indica que, o parâmetro μ , é um coeficiente de redução, no entanto, outras fontes bibliográficas emitidas pelo CIDECT, como “*Design Guide 1: For Circular Hollow Section (CHS) Joints Under Predominantly Static Loading*” [4] e [3], dão-lhe outro nome, o fator de correção. No caso da junta em XX, se $N_{i,Ed}$ dos elementos 1 e 2 estiverem ambos comprimidos e tracionados, rapidamente se verifica que este fator é superior à unidade, pelo que nos prova que esta terminologia é a mais correta.

- Junta em KK

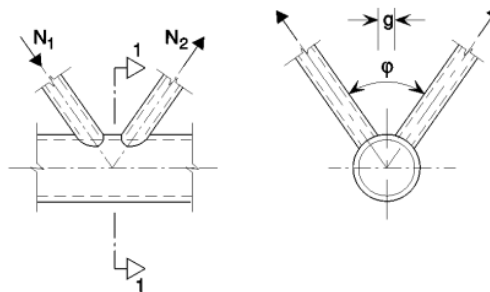


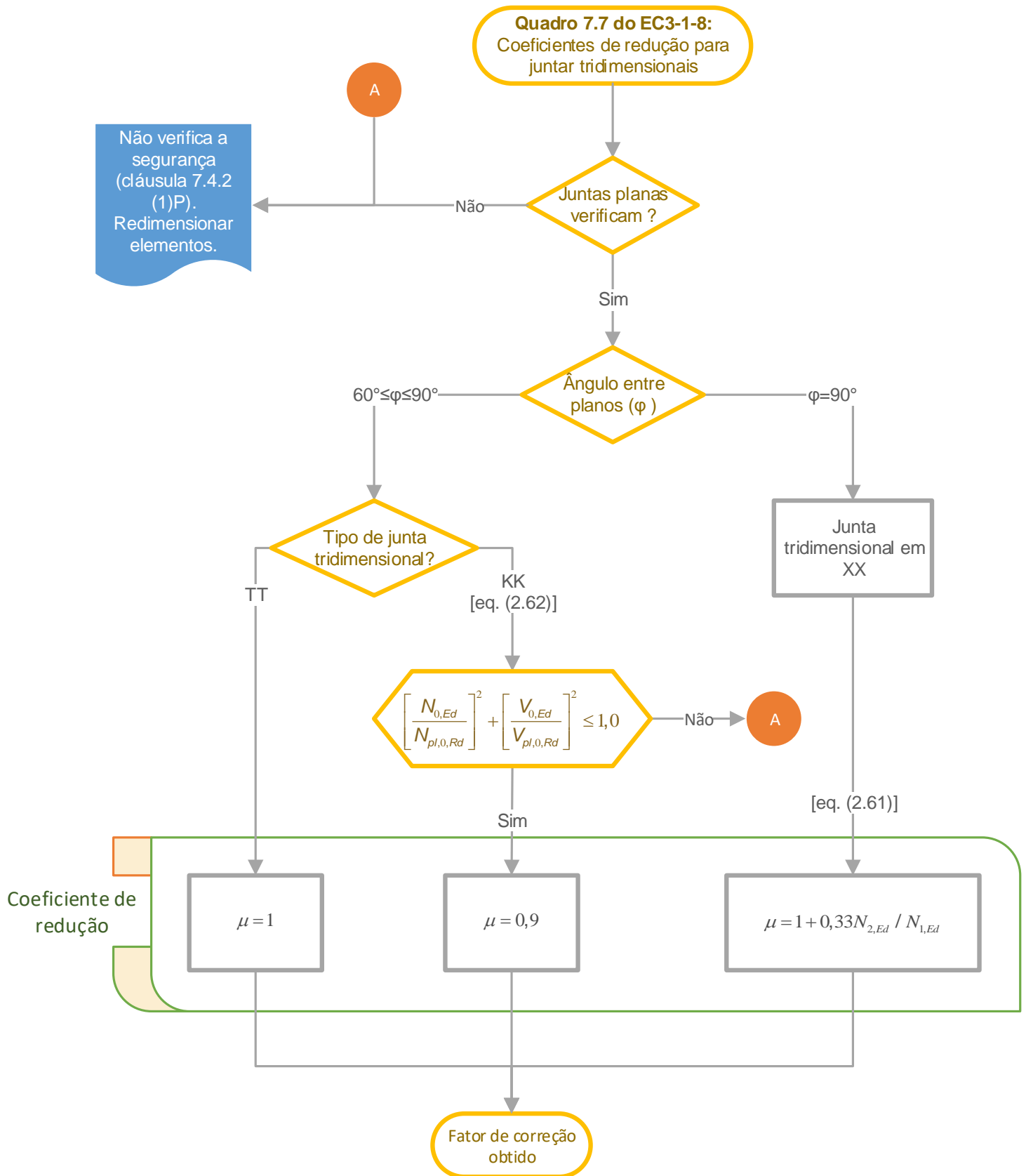
FIGURA 2.24 – JUNTA TRIDIMENSIONAL EM KK DE DIAGONAIS E CORDA EM CHS

Para a junta tridimensional KK, o elemento 1 está sempre comprimido e o elemento 2 sempre tracionado. Caso o ângulo φ respeite $60^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$, e haja um afastamento g , é necessário que a secção1-1 da corda satisfaça:

$$\left[\frac{N_{0,Ed}}{N_{pl,0,Rd}} \right]^2 + \left[\frac{V_{0,Ed}}{V_{pl,0,Rd}} \right]^2 \leq 1,0 \quad (2.62)$$

O coeficiente de redução é : $\mu = 0,9$

FLUXOGRAMA 2.8 - ORGANIZAÇÃO LÓGICA E EFICIENTE UTILIZAÇÃO DO QUADRO 7.7 DA EC3-1-8



2.5. Juntas soldadas entre elementos diagonais CHS ou RHS e cordas RHS

Se a geometria das juntas se encontra dentro do domínio de validade dos Quadros Quadro 2.13 e Quadro 2.14 (Quadro 7.8 EC3-1-8), então os valores de cálculo da resistência das juntas soldadas, entre elementos diagonais de secção tubular e cordas de secção retangular ou quadrada tubular, poderão ser determinados utilizando as expressões das juntas planas (reforçadas e não reforçadas) e das juntas tridimensionais (secções 7.5.2 e 7.5.3 respetivamente do EC3-1-8, em 7.5.1 (1)).

Além disso, para cada tipo geométrico de junta, mostrados nos quadros abrangidos pelas secções 7.5.2 e 7.5.3 do EC3-1-8, basta ter em conta os valores resistentes dos modos de colapso presentes no quadro respetivo. Comparativamente às cordas CHS, o número de mecanismos de colapso possíveis é superior, mas mesmo assim menor que a totalidade dos mecanismos explicados na secção 2.2.2. Também aqui o valor de cálculo resistente de cada diagonal será o menor dos mecanismos de rotura possíveis.

Se as juntas não respeitarem os domínios de validade indicados nos Quadros Quadro 2.13 e Quadro 2.14, então deverão ser considerados todos os modos de rotura (capítulo 2.2.2 de a) a f)), e quando for o caso, tomar-se-ão em conta os momentos fletores secundários nas juntas devido à sua rigidez de rotação (EC3-1-8, 7.5.1 (3)).

QUADRO 2.13 - DOMÍNIO DE VALIDADE DE JUNTAS SOLDADAS ENTRE ELEMENTOS DIAGONAIS RHS E CORDAS RHS
(ADAPTADO DE QUADRO 7.8 EC3-1-8)

Tipo de junta	Parâmetros das juntas [i = 1 ou 2, j = elemento diagonal sobreposto]				
	$0,5 \leq \frac{h_0}{b_0} \leq 2,0$ e $0,5 \leq \frac{h_i}{b_i} \leq 2,0$				
	$\frac{b_i}{b_0}$	$\frac{b_i}{t_i}$ e $\frac{h_i}{t_i}$		$\frac{b_0}{t_0}$ e $\frac{h_0}{t_0}$	Afastamento (g) ou sobreposição (q) $\frac{b_i}{b_j}$
		Compressão	Tração		
T, Y ou X	$\frac{b_i}{b_0} \geq 0,25$	$\frac{b_i}{t_i} \leq 35$ e $\frac{h_i}{t_i} \leq 35$	$\frac{b_i}{t_i} \leq 35$ e $\frac{h_i}{t_i} \leq 35$	≤ 35 e Classe 1 ou 2	-----
K e N com g	$\frac{b_i}{b_0} \geq 0,35$ e $\geq 0,1 + 0,01 \frac{b_0}{t_0}$	Classe 1 ou 2		≤ 35 e Classe 1 ou 2	$\frac{g}{b_0} \geq 0,5(1 - \beta)$ mas $\leq 1,5(1 - \beta)$ 1) e como mínimo $g \geq t_1 + t_2$
K e N com q	$\frac{b_i}{b_0} \geq 0,25$	Classe 1		Classe 1 ou 2	$25\% \leq \lambda_{ov} \leq \lambda_{ov,lim}$ 2) $\frac{b_i}{b_j} \leq 0,75$

Notas referentes aos Quadros Quadro 2.13 e Quadro 2.14 de acordo com Quadro 7.8 EC3-1-8:

- 1) Se $g/b_0 > 1,5(1 - \beta)$ e $g > t_1 + t_2$ então considerar a junta como se fosse duas juntas distintas, em T ou Y.
- 2) $\lambda_{ov,lim} = 60\%$ no caso de comprimento oculto da junta não estar soldado, e de 80% no caso de ter sido soldado. Se a sobreposição exceder o valor de $\lambda_{ov,lim}$, ou se as secções forem tubulares retangulares com $h_i < b_i$ e/ou $h_j < b_j$, a ligação entre as diagonais e a face da corda deverá ser verificada ao corte.

QUADRO 2.14 - DOMÍNIO DE VALIDADE DE JUNTAS SOLDADAS ENTRE ELEMENTOS DIAGONAIS CHS E CORDAS RHS
(ADAPTADO DE QUADRO 7.8 EC3-1-8)

Tipo de junta	Parâmetros das juntas [i = 1 ou 2, j = elemento diagonal sobreposto]				
	$0,5 \leq \frac{h_0}{b_0} \leq 2,0$ e $0,5 \leq \frac{h_i}{b_i} \leq 2,0$				
	$\frac{d_i}{b_0}$	$\frac{d_i}{t_i}$		$\frac{b_0}{t_0}$ e $\frac{h_0}{t_0}$	Afastamento (g) ou sobreposição (q) $\frac{d_i}{d_j}$
Compressão		Tração			
T, Y ou X	$0,4 \leq \frac{d_i}{b_0} \leq 0,8$	$\frac{d_i}{t_i} \leq 35$ e Classe 1 ou 2	$\frac{d_i}{t_i} \leq 50$	≤ 35 e Classe 1 ou 2	-----
K e N com g	$0,4 \leq \frac{d_i}{b_0} \leq 0,8$ e $\geq 0,1 + 0,01 \frac{b_0}{t_0}$			≤ 35 e Classe 1 ou 2	$\frac{g}{b_0} \geq 0,5(1 - \beta)$ mas $\leq 1,5(1 - \beta)$ ¹⁾ e como mínimo $g \geq t_1 + t_2$
K e N com q	$0,4 \leq \frac{d_i}{b_0} \leq 0,8$	Classe 1		Classe 1 ou 2	$25\% \leq \lambda_{ov} \leq \lambda_{ov,lim}$ ²⁾ $\frac{d_i}{d_j} \leq 0,75$

Notas referentes aos Quadros Quadro 2.13 e Quadro 2.14 de acordo com Quadro 7.8 EC3-1-8:

- 3) Se $g/b_0 > 1,5(1 - \beta)$ e $g > t_1 + t_2$ então considerar a junta como se fosse duas juntas distintas, em T ou Y.
- 4) $\lambda_{ov,lim} = 60\%$ no caso de comprimento oculto da junta não estar soldado, e de 80% no caso de ter sido soldado. Se a sobreposição exceder o valor de $\lambda_{ov,lim}$, ou se as secções forem tubulares retangulares com $h_i < b_i$ e/ou $h_j < b_j$, a ligação entre as diagonais e a face da corda deverá ser verificada ao corte.

2.5.1. Juntas planas não reforçadas

O valor de cálculo do esforço normal $N_{i,Ed}$ nas ligações de elementos diagonais solicitados apenas a esforço normal, não deverá exceder o esforço normal resistente $N_{i,Rd}$ da junta soldada, e como tal, $N_{i,Ed} \leq N_{i,Rd}$ (EC3-1-8, 7.5.2.1 (1)). Sendo $N_{i,Rd}$ o menor dos valores resistentes dos mecanismos de rotura necessários considerar para o tipo de geometria em causa.

Para juntas onde as diagonais estão apenas sujeitas a esforços axiais constituídos por elementos de secção tubular quadrada ou circular (SHS ou CHS) e cordas de secção tubular quadrada (SHS), e cuja a geometria esteja dentro do domínio de validade dos Quadros Quadro 2.13 e Quadro 2.14 (Quadro 7.8 do EC3-1-8), e que satisfaça as condições suplementares do Quadro 2.15 (Quadro 7.9 do EC3-1-8), os valores de cálculo do esforço normal resistente poderão ser determinados a partir das expressões indicadas no Quadro 2.16 (Quadro 7.10 do EC3-1-8). Os únicos critérios de dimensionamento a serem considerados são os referentes à rotura da face da corda e à rotura do elemento diagonal (capítulo 2.2.2, de **a**) e **e**) com a sua largura efetiva reduzida.

Para os restantes casos de diagonais CHS e RHS ligadas a cordas RHS, dentro do domínio de validade dos Quadros Quadro 2.13 e Quadro 2.14 (Quadro 7.8 do EC3-1-8), é necessário cumprir os variados mecanismos de colapso dos Quadros 7.11, 7.12, ou 7.13 do EC3-1-8, conforme o tipo de geometria da junta (EC3-1-8, 7.5.2.1 (2), (3) e (4)).

Nas ligações de elementos solicitados por uma combinação de esforço normal e de momentos fletores deverão satisfazer a condição seguinte:

$$\frac{N_{i,Ed}}{N_{i,Rd}} + \frac{M_{ip,i,Ed}}{M_{ip,i,Rd}} + \frac{M_{op,i,Ed}}{M_{op,i,Rd}} \leq 1,0 \quad , \quad (2.63)$$

na qual, o valor de cálculo do momento fletor $M_{i,Ed}$, poderá ser considerado igual ao valor, ao nível da interseção do eixo do elemento diagonal, com a face da corda. Os valores de cálculo da resistência à flexão no plano e fora do plano, $M_{ip,i,Rd}$ e $M_{op,i,Rd}$, para as juntas não reforçadas, deverão ser obtidos nos Quadros 7.13 e 7.14 da EC3-1-8, conforme o caso

Existem alguns casos particulares de juntas soldadas, nos Quadros 7.15 e 7.16 da EN 1993-1-8, que devem verificar os critérios de dimensionamento especificados a cada tipo de junta nos referidos quadros (EC3-1-8, 7.5.2.1 (8)).

QUADRO 2.15 – CONDIÇÕES SUPLEMENTARES PARA UTILIZAÇÃO DO QUADRO 2.16 (QUADRO 7.10 EC3-1-8),
(ADAPTADO DE QUADRO 7.9 DE EC3-1-8).

Tipo de elemento diagonal	Tipo de junta	Parâmetros da junta	
Secção tubular quadrada	T, Y ou X	$b_i/b_0 \leq 0,85$	$b_0/t_0 \geq 10$
	K ou N com afastamento	$0,6 \leq \frac{b_1 + b_2}{2b_1} \leq 1,3$	$b_0/t_0 \geq 15$
Secção tubular circular	T, Y ou X	-----	$b_0/t_0 \geq 10$
	K ou N com afastamento	$0,6 \leq \frac{d_1 + d_2}{2d_1} \leq 1,3$	$b_0/t_0 \geq 15$

2.5.1.1. Valores de cálculo do esforço normal resistente de juntas soldadas entre perfis tubulares de secção quadrada ou circular

O Quadro 7.10 do EC3-1-8 apenas analisa ligações de cordas tubulares quadradas (SHS) e diagonais quadradas ou circulares (SHS ou CHS).

Para a utilização do Quadro 7.10 EC3-1-8, resumido no Quadro 2.16, pressupõe-se a verificação do domínio de validade dos Quadros Quadro 2.13 e Quadro 2.14 (Quadro 7.8 do EC3-1-8), e a verificação das condições suplementares do Quadro 2.15 (Quadro 7.9 do EC3-1-8).

QUADRO 2.16 - SÍNTESE DO QUADRO 7.10 DA EC3-1-8

Juntas soldadas entre diagonais quadradas (SHS) ou circulares (CHS) e cordas quadradas (SHS).		
Tipo de junta	Tipo de rotura, limites geométricos ou limites de sobreposição	Equações
T, Y e X	Face da corda: $\beta \leq 0,85$	(2.69) ou (2.70)
K e N com afastamento	Face da corda: $\beta \leq 1,0$	(2.71) ou (2.72)
K e N com sobreposição	Elemento diagonal: $50 \% \leq \lambda_{ov} < 80 \%$	(2.73) ou (2.74)
	Elemento diagonal: $\lambda_{ov} \geq 80 \%$	(2.75) ou (2.76)
	Elemento diagonal: $25 \% \leq \lambda_{ov} < 50 \%$	(2.77) ou (2.78)

Consoante as diagonais sejam tubulares quadradas ou circulares (SHS ou CHS), determinam-se os parâmetros b_{eff} e $b_{e,ov}$, respetivamente pelas expressões (2.64) e (2.66), para SHS, ou (2.65) e (2.67), para CHS.

O parâmetro k_n , varia consoante as tensões reduzidas n na corda sejam positivas ou negativas, isto é, à compressão ou à tração. No primeiro caso, o parâmetro k_n , depende do rácio geométrico β .

$$\text{SHS : } \begin{cases} b_{eff} = \frac{10}{b_0/t_0} \frac{f_{y0}t_0}{f_{yi}t_i} b_i \text{ mas } b_{eff} \leq b_i & (2.64) \\ b_{e,ov} = \frac{10}{b_j/t_j} \frac{f_{yj}t_j}{f_{yi}t_i} b_i \text{ mas } b_{e,ov} \leq b_i & (2.65) \end{cases}$$

$$\text{CHS : } \begin{cases} b_{eff} = \frac{10}{b_0/t_0} \frac{f_{y0}t_0}{f_{yi}t_i} d_i \text{ mas } b_{eff} \leq d_i & (2.66) \\ b_{e,ov} = \frac{10}{d_j/t_j} \frac{f_{yj}t_j}{f_{yi}t_i} d_i \text{ mas } b_{e,ov} \leq d_i & (2.67) \end{cases}$$

$$k_n = \begin{cases} 1,3 - \frac{0,4n}{\beta} \text{ mas } k_n \leq 1,0 & \text{para } n > 0 \text{ (compressão)} \\ 1,0 & \text{para } n \leq 0 \text{ (tração)} \end{cases} \quad (2.68)$$

I) Juntas em T, Y e X:

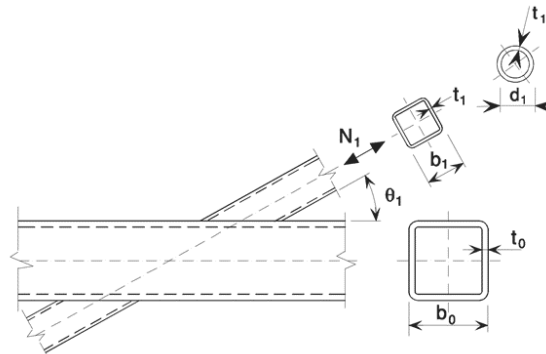


FIGURA 2.25 – JUNTA EM X ENTRE DIAGONA E CORDA RHS

a) Rotura da face da corda

$\beta \leq 0,85$:

$$\text{SHS} : N_{1,Rd} = \frac{k_n f_{y0} t_0^2}{(1-\beta) \text{sen} \theta_1} \left(\frac{2\beta}{\text{sen} \theta_1} + 4\sqrt{1-\beta} \right) / \gamma_{M5} \quad (2.69)$$

$$\text{CHS} : N_{1,Rd} = \left(\frac{k_n f_{y0} t_0^2}{(1-\beta) \text{sen} \theta_1} \left(\frac{2\beta}{\text{sen} \theta_1} + 4\sqrt{1-\beta} \right) / \gamma_{M5} \right) \frac{\pi}{4} \quad (2.70)$$

É de se notar que apesar de β estar presente para as duas equações de SHS e CHS, varia consoante não só o tipo de junta, mas também o tipo de secção quadrada ou circular.

II) Juntas em K e em N com afastamento:

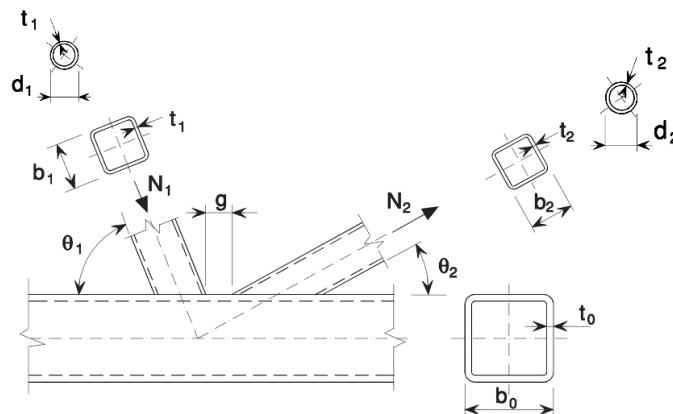


FIGURA 2.26 – JUNTA EM K ENTRE DIAGONAIS E CORDA EM RHS

a) Rotura face da corda:

$\beta \leq 1,0$:

$$\text{SHS} : N_{i,Rd} = \frac{8,9 \gamma^{0,5} k_n f_{y0} t_0^2}{\text{sen} \theta_i} \left(\frac{b_1 + b_2}{2b_0} \right) / \gamma_{M5} \quad (2.71)$$

$$\text{CHS} : N_{i,Rd} = \left(\frac{8,9\gamma^{0,5}k_n f_{y0} t_0^2}{\text{sen}\theta_i} \left(\frac{d_1 + d_2}{2b_0} \right) / \gamma_{M5} \right) \frac{\pi}{4} \quad (2.72)$$

III) Juntas em K e em N com sobreposição:

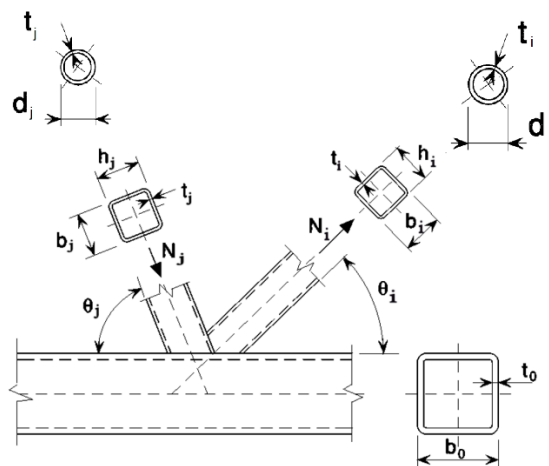


FIGURA 2.27 – JUNTA EM K ENTRE DIAGONAIS E CORDA RHS

O elemento *i* ou o elemento *j* poderão estar tracionados ou comprimidos, mas um deverá estar tracionado e o outro comprimido.

De acordo com a nota do Quadro 7.10 EC3-1-8, só é necessário verificar o elemento diagonal *i* que se sobrepõe, uma vez que a eficácia do elemento diagonal subposto *j* deverá ser considerada igual à do elemento diagonal que sobrepõe.

a) Rotura do elemento diagonal:

- $25\% \leq \lambda_{ov} < 50\%$:

$$\text{SHS} : N_{i,Rd} = f_{yi} t_i \left(b_{eff} + b_{e,ov} + 2h_i \frac{\lambda_{ov}}{50} - 4t_i \right) / \gamma_{M5} \quad (2.73)$$

$$\text{CHS} : N_{i,Rd} = \left(f_{yi} t_i \left(b_{eff} + b_{e,ov} + 2d_i \frac{\lambda_{ov}}{50} - 4t_i \right) / \gamma_{M5} \right) \frac{\pi}{4} \quad (2.74)$$

- $50\% \leq \lambda_{ov} < 80\%$:

$$\text{SHS} : N_{i,Rd} = f_{yi} t_i [b_{eff} + b_{e,ov} + 2h_i - 4t_i] / \gamma_{M5} \quad (2.75)$$

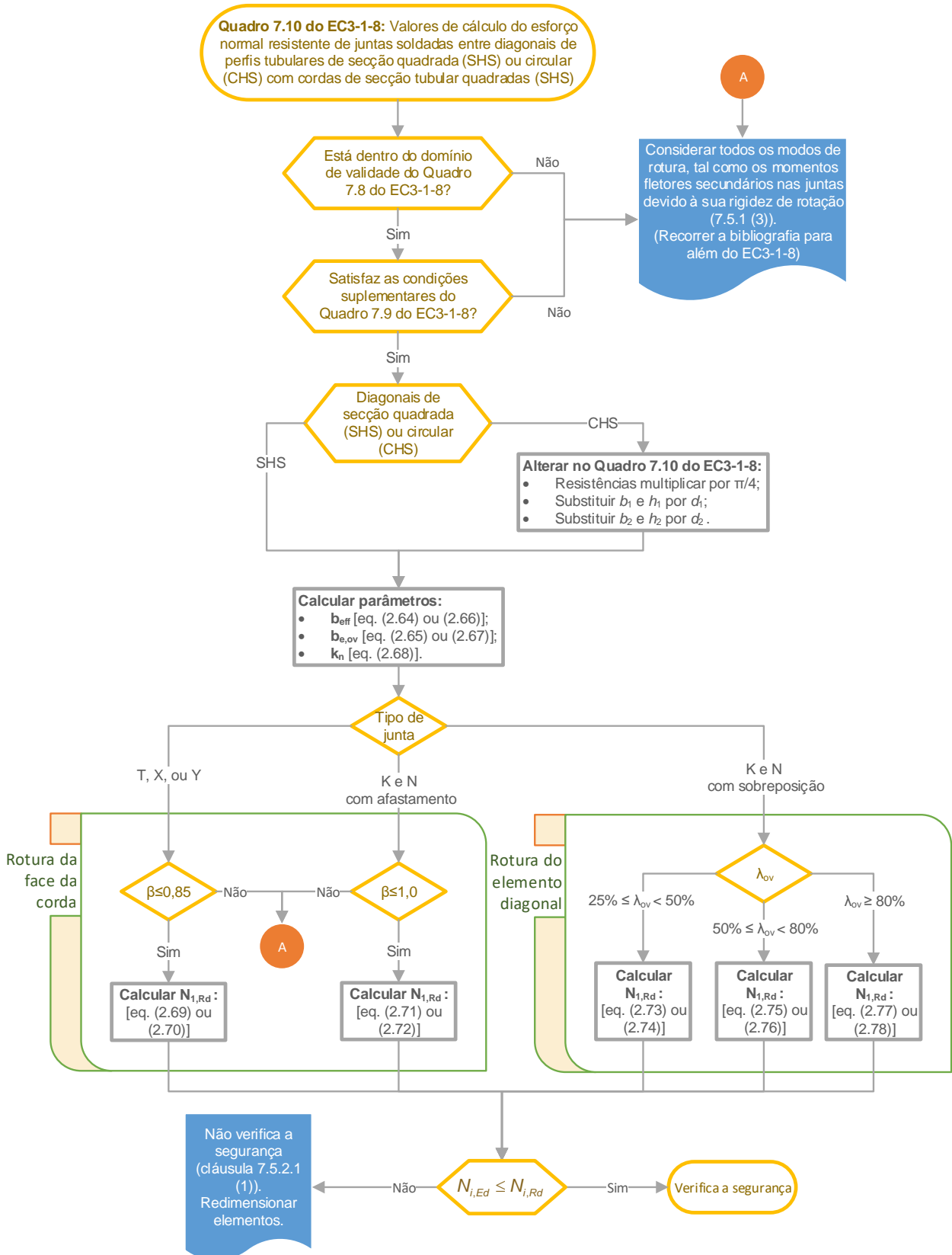
$$\text{CHS} : N_{i,Rd} = \left(f_{yi} t_i [b_{eff} + b_{e,ov} + 2d_i - 4t_i] / \gamma_{M5} \right) \frac{\pi}{4} \quad (2.76)$$

- $\lambda_{ov} \geq 80\%$:

$$\text{SHS} : N_{i,Rd} = f_{yi} t_i [b_i + b_{e,ov} + 2h_i - 4t_i] / \gamma_{M5} \quad (2.77)$$

$$\text{CHS} : N_{i,Rd} = \left(f_{yi} t_i [d_i + b_{e,ov} + 2d_i - 4t_i] / \gamma_{M5} \right) \frac{\pi}{4} \quad (2.78)$$

FLUXOGRAMA 2.9 - ORGANIZAÇÃO LÓGICA E EFICIENTE UTILIZAÇÃO DO QUADRO 7.10 DA EC3-1-8



2.5.1.2. Valores de cálculo do esforço normal resistente de juntas soldadas em T, X e Y entre elementos diagonais RHS ou CHS e cordas RHS

Os Quadros 7.11 e 7.12 do EC3-1-8 abrangem os casos em que as cordas e as diagonais possam ter secção retangular (e não apenas quadrada como acontece no Quadro 7.10). O Quadro 7.11 do EC3-1-8 abrange juntas do tipo X, Y e T, enquanto o Quadro 7.12 do EC3-1-8 juntas em K e N, com cordas retangulares e diagonais retangulares ou circulares.

Como se pode constatar a geometria retangular das secções obrigam ao teste de maior diversidade de mecanismos de rotura (não apenas a rotura da face da corda e rotura do elemento diagonal). Como também se verifica o mecanismo de rotura condicionante depende sobretudo do rácio β .

Após a verificação dos Quadros Quadro 2.13 e Quadro 2.14 (Quadro 7.8 do EC3-1-8), é necessário calcular parâmetros auxiliares como sejam b_{eff} , $b_{e,p}$, k_n e f_b .

No caso específico da encurvadura da parede lateral da corda, para juntas em X com $\cos \theta_1 > h_1/h_0$, é necessário verificar em conjunto com o valor de cálculo da resistência ao corte das paredes laterais da corda indicado no Quadro 7.12 EC3-1-8, para as juntas em K e N com afastamento, e destes utilizar o menor valor.

Para determinar a tensão reduzida de cálculo f_b é necessário recorrer à NP EN 1993-1-1 ([5]), para se calcular o coeficiente de redução para a encurvadura por flexão (χ), que dependerá **(i)** da curva de encurvadura e fator de imperfeição apropriado (α), **(ii)** do acabamento a quente ou enformado a frio da secção tubular, e **(iii)** da classe do aço (NP EN 1993-1-1) como pode ser consultado nos Quadros Quadro 2.18 e Quadro 2.19.

QUADRO 2.17 - SÍNTESE DO QUADRO 7.11 DA EC3-1-8

Juntas soldadas em T, X e Y entre elementos diagonais RHS ou CHS e cordas RHS		
Tipo de junta	Tipo de rotura	Equações
T, X e Y	Face da corda	(2.87) ou (2.88)
	Encurvadura da parede lateral da corda	(2.89) a (2.97)
	Rotura do elemento diagonal	(2.98) ou (2.99)
	Punçoamento	(2.100) ou (2.101)

O valor da tensão reduzida de cálculo vale:

(i) Para a tração:

$$f_b = f_{y0} \quad (2.79)$$

(ii) Para a compressão:

$$\text{Juntas em T e Y: } f_b = \chi f_{y0} , \quad (2.80)$$

$$\text{Juntas em X: } f_b = 0,8\chi f_{y0} \text{sen}\theta_1 , \quad (2.81)$$

sendo o coeficiente de redução da tensão dado por:

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad (2.82)$$

$$\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] \quad (2.83)$$

$$\bar{\lambda} = 3,46 \frac{\left(\frac{h_0}{t_0} - 2\right) \sqrt{\frac{1}{\text{sen}\theta_1}}}{\pi \sqrt{\frac{E}{f_{y0}}}} \quad (2.84)$$

$$\text{RHS : } b_{e,p} = \frac{10}{b_0/t_0} b_1 \text{ mas } b_{e,p} \leq b_1 \quad (2.85)$$

$$\text{CHS : } b_{e,p} = \frac{10}{b_0/t_0} d_1 \text{ mas } b_{e,p} \leq d_1 \quad (2.86)$$

QUADRO 2.18 – ADAPTADO DO QUADRO 6.2 DA NP EN 1993-1-1

Secção transversal	Acabamentos	Encurvadura em relação ao eixo	Curva de encurvadura	
			S235, S275, S355 e S420	S460
Secções tubulares CHS, RHS ou SHS	acabadas a quente	qualquer	a	a0
	enformadas a frio	qualquer	c	c

QUADRO 2.19 – ADAPTADO DO QUADRO 6.1 DA NP EN 1993-1-1

Curva de encurvadura	a0	a	c
Fator de imperfeição: α	0,13	0,21	0,49

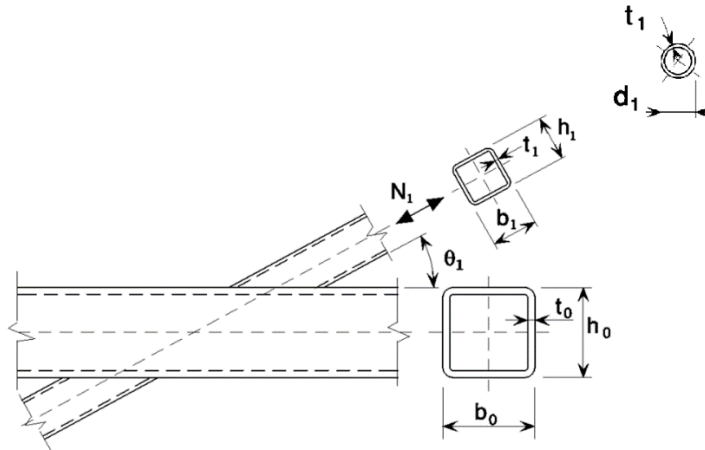


FIGURA 2.28 – JUNTA EM X DE DIAGONAL E CORDA EM RHS

I) Juntas em T, X e Y:

a) Rotura da face da corda:

- $\beta \leq 0,85$:

$$\text{RHS} : N_{1,Rd} = \frac{k_n f_{y0} t_0^2}{(1-\beta) \text{sen}\theta_1} \left(\frac{2\eta}{\text{sen}\theta_1} + 4\sqrt{1-\beta} \right) / \gamma_{M5} \quad (2.87)$$

$$\text{CHS} : N_{1,Rd} = \left(\frac{k_n f_{y0} t_0^2}{(1-\beta) \text{sen}\theta_1} \left(\frac{2\eta}{\text{sen}\theta_1} + 4\sqrt{1-\beta} \right) / \gamma_{M5} \right) \frac{\pi}{4} \quad (2.88)$$

b) Encurvadura da parede lateral da corda:

(i) Casos gerais:

- $\beta = 1,0$:

$$\text{RHS} : N_{1,Rd} = \frac{k_n f_b t_0}{\text{sen}\theta_1} \left(\frac{2h_1}{\text{sen}\theta_1} + 10t_0 \right) / \gamma_{M5} \quad (2.89)$$

$$\text{CHS} : N_{1,Rd} = \left(\frac{k_n f_b t_0}{\text{sen}\theta_1} \left(\frac{2d_1}{\text{sen}\theta_1} + 10t_0 \right) / \gamma_{M5} \right) \frac{\pi}{4} \quad (2.90)$$

(ii) Caso em que juntas em X com $\cos\theta_1 > h_1/h_0$:

- $\beta = 1,0$:

$$\text{RHS: menor} \left\{ \begin{array}{l} N_{1,Rd} = \frac{k_n f_b t_0}{\text{sen}\theta_1} \left(\frac{2h_1}{\text{sen}\theta_1} + 10t_0 \right) / \gamma_{M5} \quad (2.91) \\ N_{0,Rd} = \left[(A_0 - A_v) f_{y0} + A_v f_{y0} \sqrt{1 - (V_{Ed}/V_{pl,Rd})^2} \right] / \gamma_{M5} \quad (2.92) \end{array} \right.$$

$$\text{CHS: menor} \left\{ \begin{array}{l} N_{1,Rd} = \left(\frac{k_n f_b t_0}{\text{sen}\theta_1} \left(\frac{2d_1}{\text{sen}\theta_1} + 10t_0 \right) / \gamma_{M5} \right) \frac{\pi}{4} \quad (2.93) \\ N_{0,Rd} = \left[(A_0 - A_v) f_{y0} + A_v f_{y0} \sqrt{1 - (V_{Ed}/V_{pl,Rd})^2} \right] / \gamma_{M5} \quad (2.94) \end{array} \right.$$

$$A_v = (2h_0 + ab_0)t_0 \quad (2.95)$$

$$\text{RHS : } \alpha = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4g^2}{3t_0^2}}} \quad (2.96)$$

$$\text{CHS : } \alpha = 0 \quad (2.97)$$

De acordo com nota (2) do Quadro 7.11 EC3-1-8, quando $0,85 \leq \beta \leq 1,0$, é necessário efetuar uma interpolação linear entre o valor de cálculo da resistência da rotura da face da corda para $\beta = 0,85$, e o valor que condiciona a rotura das paredes laterais da corda com $\beta = 1,0$ (seja a encurvadura das paredes laterais ou corte da corda).

c) Rotura do elemento diagonal

- $\beta \geq 0,85$:

$$\text{RHS : } N_{1,Rd} = f_{yi}t_1(2h_1 - 4t_1 + 2b_{eff})/\gamma_{M5} \quad (2.98)$$

$$\text{CHS : } N_{1,Rd} = (f_{yi}t_1(2d_1 - 4t_1 + 2b_{eff})/\gamma_{M5})\frac{\pi}{4} \quad (2.99)$$

d) Punçoamento

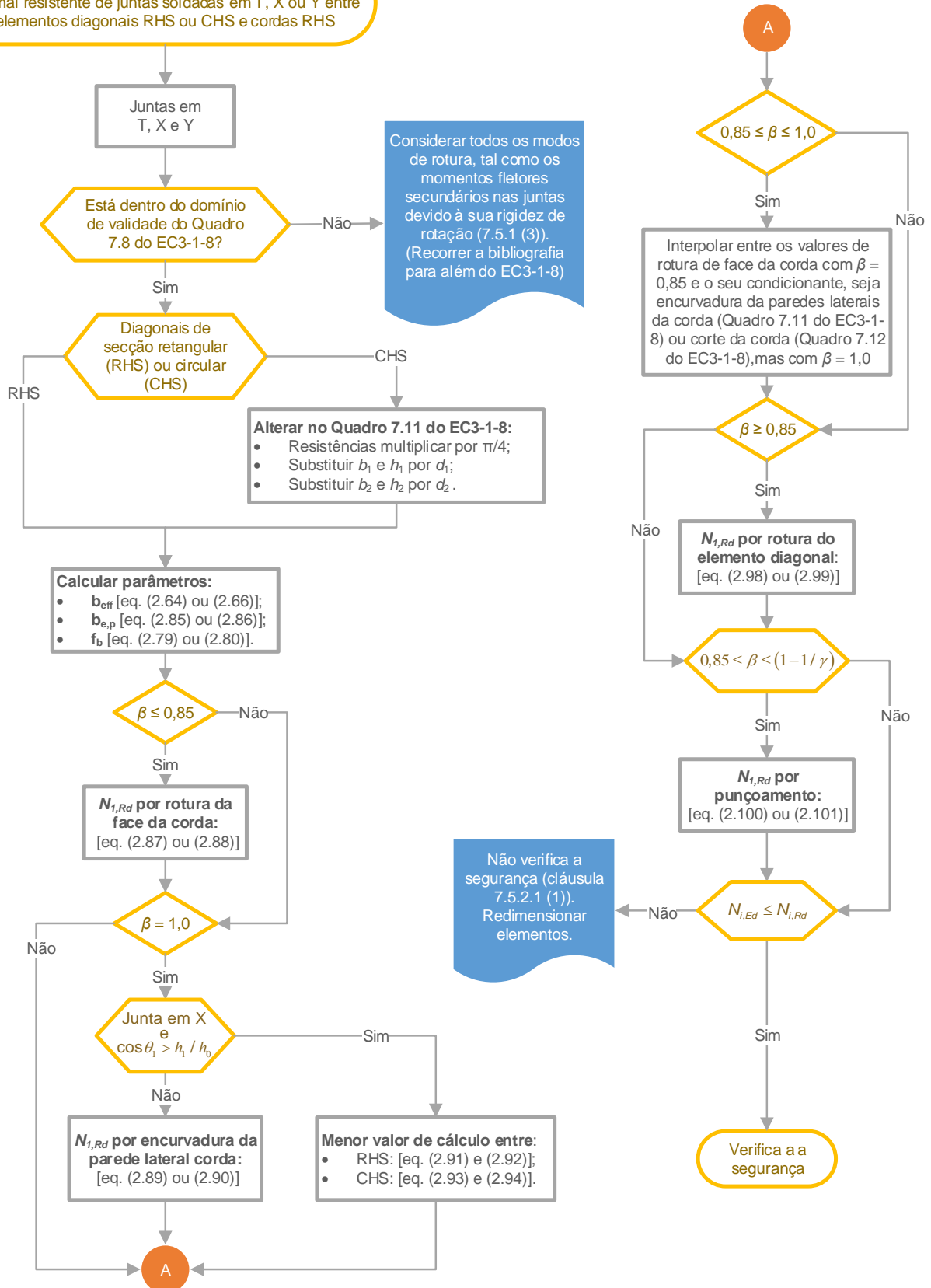
- $0,85 \leq \beta \leq (1 - 1/\gamma)$:

$$\text{RHS : } N_{1,Rd} = \frac{f_{y0}t_0}{\sqrt{3}\text{sen}\theta_1} \left(\frac{2h_1}{\text{sen}\theta_1} + 2b_{e,p} \right) / \gamma_{M5} \quad (2.100)$$

$$\text{CHS : } N_{1,Rd} = \left(\frac{f_{y0}t_0}{\sqrt{3}\text{sen}\theta_1} \left(\frac{2d_1}{\text{sen}\theta_1} + 2b_{e,p} \right) / \gamma_{M5} \right) \frac{\pi}{4} \quad (2.101)$$

FLUXOGRAMA 2.10 - ORGANIZAÇÃO LÓGICA E EFICIENTE UTILIZAÇÃO DO QUADRO 7.11 DO EC3-1-8

Quadro 7.11 do EC3-1-8: Valores de cálculo de esforço normal resistente de juntas soldadas em T, X ou Y entre elementos diagonais RHS ou CHS e cordas RHS



2.5.1.3. Valores de cálculo do esforço normal resistente de juntas soldadas em K e em N entre elementos diagonais RHS ou CHS e cordas RHS

O Quadro 7.12 do EC3-1-8 trata de juntas do tipo K e N com diagonais circulares ou retangulares e cordas retangulares completando o quadro anterior, o 7.11 do EC3-1-8.

QUADRO 2.20 - SÍNTESE DO QUADRO 7.12 DO EC3-1-8

Juntas soldadas em K e em N entre elementos diagonais RHS ou CHS e cordas RHS			
Tipo de junta	Tipo de rotura	Equações	
K e N com afastamento	Face da corda	(2.101) ou (2.102)	
	Corte na corda	(2.103) ou (2.104)	
	Rotura do elemento diagonal	(2.105) ou (2.106)	
	Punçoamento	(2.107) ou (2.108)	
K e N com sobreposição	Rotura do elemento diagonal	$25 \% \leq \lambda_{ov} < 50 \%$	(2.73) ou (2.74)
		$50 \% \leq \lambda_{ov} < 80 \%$	(2.75) ou (2.76)
		$\lambda_{ov} \geq 80 \%$	(2.77) ou (2.78)

I) Juntas em K e em N com afastamento:

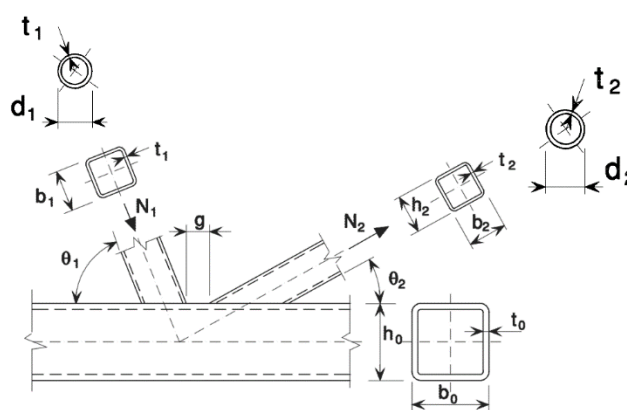


FIGURA 2.29 – JUNTA EM K DE DIAGONAIS E CORDA EM RHS

a) Rotura da face da corda:

$$RHS : N_{i,Rd} = \frac{8,9k_n f_{y0} t_0^2 \sqrt{\gamma}}{\text{sen}\theta_i} \left(\frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4b_0} \right) / \gamma_{M5} \quad (2.102)$$

$$\text{CHS} : N_{i,Rd} = \left(\frac{8,9k_n f_{y0} t_0^2 \sqrt{\gamma}}{\text{sen}\theta_i} \left(\frac{2d_1 + 2d_2}{4b_0} \right) / \gamma_{M5} \right) \frac{\pi}{4} \quad (2.103)$$

b) Corte na corda:

$$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} A_v}{\sqrt{3} \text{sen}\theta_i} / \gamma_{M5} \quad (2.104)$$

$$N_{0,Rd} = \left[(A_0 - A_v) f_{y0} + A_v f_{y0} \sqrt{1 - (V_{Ed}/V_{pl,Rd})^2} \right] / \gamma_{M5} \quad (2.105)$$

c) Rotura do elemento diagonal:

$$\text{RHS} : N_{i,Rd} = f_{yi} t_i (2h_i - 4t_i + b_i + b_{eff}) / \gamma_{M5} \quad (2.106)$$

$$\text{CHS} : N_{i,Rd} = \left(f_{yi} t_i (2d_i - 4t_i + d_i + b_{eff}) / \gamma_{M5} \right) \frac{\pi}{4} \quad (2.107)$$

d) Punçamento:

- $\beta \leq (1 - 1/\gamma)$:

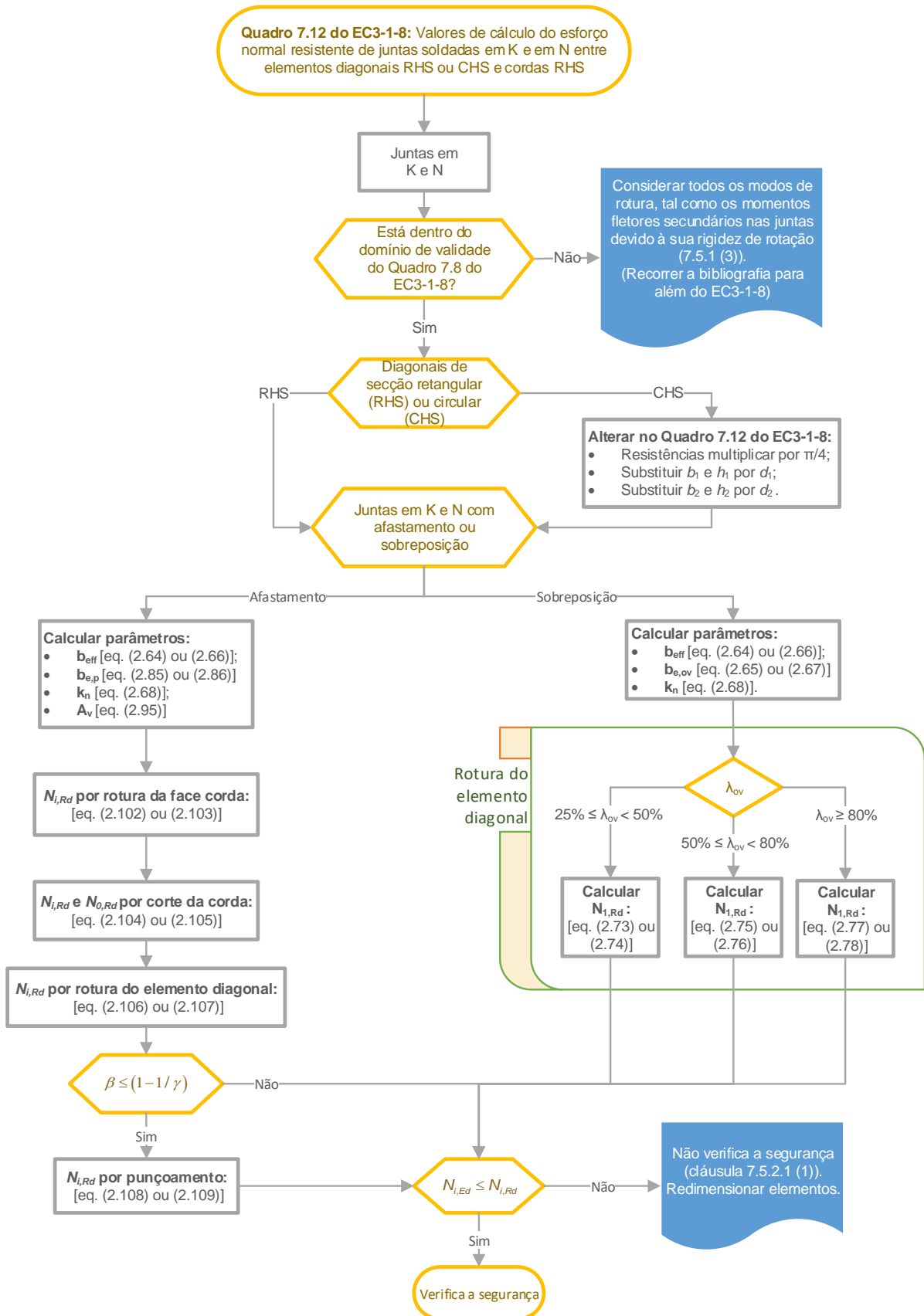
$$\text{RHS} : N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} t_0}{\sqrt{3} \text{sen}\theta_i} \left(\frac{2h_i}{\text{sen}\theta_i} + b_i + b_{e,p} \right) / \gamma_{M5} \quad (2.108)$$

$$\text{CHS} : N_{i,Rd} = \left(\frac{f_{y0} t_0}{\sqrt{3} \text{sen}\theta_i} \left(\frac{2d_i}{\text{sen}\theta_i} + d_i + b_{e,p} \right) / \gamma_{M5} \right) \frac{\pi}{4} \quad (2.109)$$

II) Juntas em K e em N com sobreposição:

O Quadro 7.12 do EC3-1-8 remete o método de cálculo para o Quadro 7.10 do EC3-1-8, o que indica que o Quadro 7.9 do EC3-1-8 terá de ser verificado, tal como a seção da corda deverá agora ser quadrada e as diagonais quadradas ou circulares.

FLUXOGRAMA 2.11 - ORGANIZAÇÃO LÓGICA E EFICIENTE UTILIZAÇÃO DO QUADRO 7.12 DA EC3-1-8



2.5.1.4. Valores de cálculo da resistência de juntas soldadas em que se ligam chapas de gousset ou perfis em I ou em H a elementos RHS

O presente Quadro 7.13 do EC3-1-8, utiliza um complemento de domínio de validade ao Quadro 7.8 do EC3-1-8, além de continuar a utilizar os parâmetros como b_{eff} e $b_{e,p}$, insere também um novo, o k_m .

QUADRO 3.21 – SÍNTESE DO QUADRO 7.13 EC3-1-8

Juntas soldadas em que se ligam chapas de <i>gousset</i> ou perfis em I ou H a elementos RHS			
Tipo de diagonal	Tipo de rotura		Equações
Chapa de <i>gousset</i> transversal	Face da corda		(2.111)
	Esmagamento da parede lateral da corda		(2.112)
	Punçoamento		(2.113)
Chapa de <i>gousset</i> transversal	Rotura da face da corda		(2.114)
Perfil em I ou em H	Decomposição da ligação como chapas de <i>gousset</i> .	Face da corda	(2.111) e (2.115)
		Esmagamento da parede lateral da corda	(2.112) e (2.115)
		Punçoamento	(2.113) e (2.115)

QUADRO 2.22 – DOMÍNIO DE VALIDADE COMPLEMENTAR PARA O QUADRO 7.13 DO EC3-1-8

Em complemento dos limites indicados nos Quadro 2.13 e Quadro 2.14 (Quadro 7.8 do EC3-1-8):	$0,5 \leq \beta \leq 1,0$
	$b_0/t_0 \leq 30$

$$k_m = \begin{cases} 1,3(1 - n) & \text{mas } k_m \leq 1,0 \text{ para } n > 0 \text{ (compressão)} \\ 1,0 & \text{para } n \leq 0 \text{ (tração)} \end{cases} \quad (2.110)$$

I) Chapa de gousset transversal:

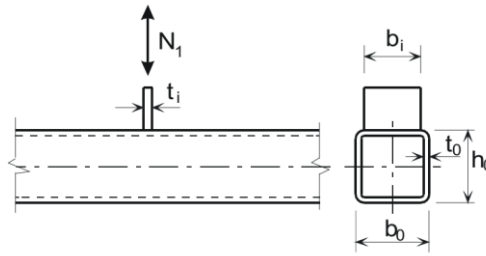


FIGURA 2.30 – JUNTA COM CHAPA DE GOUSSET SOLDADA EM POSIÇÃO TRANSVERSAL AO EIXO LONGITUDINAL DA CORDA
RHS

a) Rotura da face da corda:

- $\beta \leq 0,85$:

$$N_{1,Rd} = k_n f_{y0} t_0^2 \frac{2 + 2,8\beta}{\sqrt{1 - 0,9\beta}} / \gamma_{M5} \quad (2.111)$$

Sendo que as ligações soldadas com cordão de ângulo deverão ser calculadas de acordo com 4.10 (de acordo com nota de rodapé na tabela).

b) Esmagamento da parede lateral da corda:

- Quando $b_1 \geq b_0 - 2t_0$:

$$N_{1,Rd} = k_n f_{y0} t_0 (2t_1 + 10t_0) / \gamma_{M5} \quad (2.112)$$

c) Punçamento:

- Quando $b_1 \leq b_0 - 2t_0$:

$$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0} t_0}{\sqrt{3}} (2t_1 + 2b_{e,p}) / \gamma_{M5} \quad (2.113)$$

II) Chapa de *gousset* longitudinal:

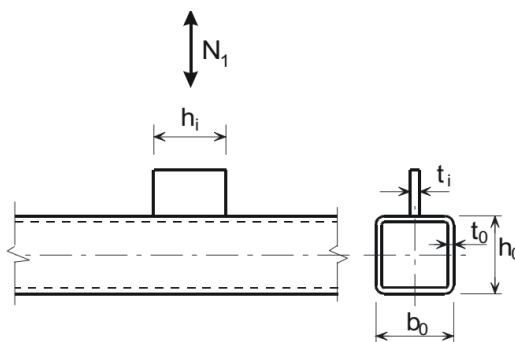


FIGURA 2.31 - JUNTA COM CHAPA DE GOUSSET SOLDADA EM POSIÇÃO LONGITUDINAL AO EIXO LONGITUDINAL DA CORDA RHS

a) Rotura da face da corda:

- Quando $\frac{t_1}{b_0} \leq 0,2$:

$$N_{1,Rd} = k_m f_{y0} t_0^2 (2h_1/b_0 + 4\sqrt{1 - t_1/b_0}) / \gamma_{M5} \quad (2.114)$$

III) Perfil em I ou em H:

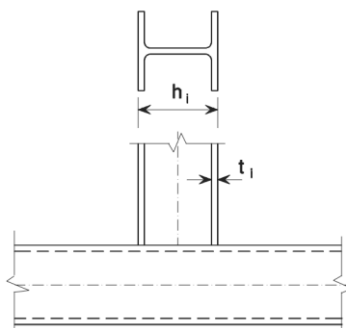
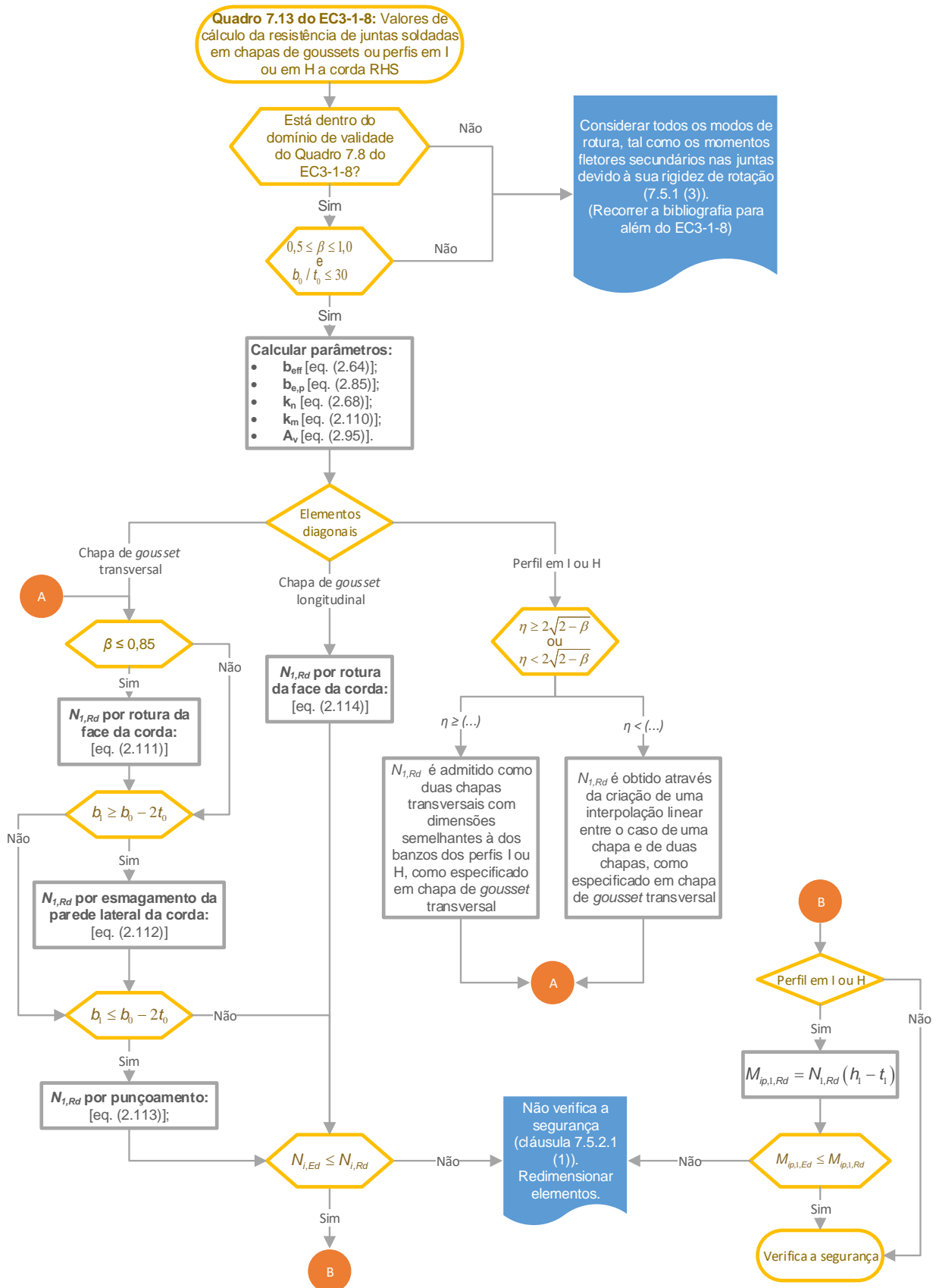


FIGURA 2.32 – JUNTA EM T DE DIAGONAL DE PERFIL H SOLDADO A CORDA RHS

Para os casos dos perfis em I ou em H é determinada a resistência como se de uma chapa de *gousset* transversal se tratasse, no entanto é necessária a verificação de um campo de validade η , para entender que no caso dos perfis, consoante o valor da variável η , o cálculo nos obriga a contar com o equivalente a duas chapas de *gousset* de dimensões equivalentes aos banzos dos perfis, ou a interpolar entre um banzo ou dois.

$$\text{Se: } \begin{cases} \eta \geq 2\sqrt{1 - \beta} & \text{logo duas chapas} \\ \eta < 2\sqrt{1 - \beta} & \text{'logo interpolar entre uma e duas chapas} \end{cases} \quad (2.115)$$

FLUXOGRAMA 2.12 - ORGANIZAÇÃO LÓGICA E EFICIENTE UTILIZAÇÃO DO QUADRO 7.13 DO EC3-1-8



2.6. Juntas planas reforçadas

A norma prevê a utilização de chapas de reforço quando se prevê que sem a existência das mesmas, e devido à geometria dos elementos utilizados nas juntas, se criam mecanismos de rotura precoces, nomeadamente a rotura da face da corda, rotura do elemento diagonal ou mesmo rotura por punçoamento. Por outro lado, as chapas de reforço também controlam em juntas K ou N com sobreposição, a insuficiente sobreposição destes.

A utilização de chapas de reforço previstas no EC3-1-8 são:

1. **Chapas de reforço dos banzos:** irão aumentar a resistência da junta às roturas da face da corda, punçoamento e elemento diagonal;
2. **Chapas laterais:** irão aumentar a resistência da junta às roturas das paredes laterais da corda ou corte da corda por corte;
3. **Solda a reforço vertical:** por modo a colmatar a sobreposição de elementos diagonais no caso de juntas em K e N;
4. **Combinação dos três tipos acima mencionados.**

Quando se utilizam reforços, a norma indica que, a classe de aço deste não deverá ser inferior à classe de aço da corda.

2.6.1.1. Valores de cálculo da resistência à flexão de juntas soldadas entre elementos diagonais RHS e cordas RHS

O Quadro 7.14 do EC3-1-8 indica o cálculo de resistência à flexão, de momentos dentro e fora do plano, para juntas soldadas entre elementos diagonais e cordas RHS.

Considerando apenas juntas em T ou X, com o ângulo θ fixo em 90° , o presente quadro analisa e diversos modos de rotura consoante o valor de β .

QUADRO 2.23 – SÍNTESE DO QUADRO 7.14 DE EC3-1-8

Juntas soldadas em T ou X entre elementos diagonais e corda RHS		
Tipo de momento	Tipo de rotura	Equações
No plano	Face da corda	(2.116)
	Esmagamento da parede lateral da corda	(2.118)
	Elemento diagonal	(2.122)
Fora do plano	Face da corda	(2.117)
	Esmagamento da parede lateral da corda	(2.119)
	Elemento diagonal	(2.123)
	Distorção da corda	(2.124)

I) Juntas em X e T:

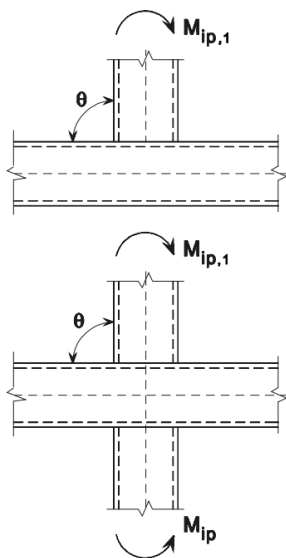


FIGURA 2.33 – REPRESENTAÇÃO DOS MOMENTOS NO PLANO, EM CIMA, NUMA JUNTA EM T, EM BAIXO, NUMA JUNTA EM X. DIAGONAIS E CORDA EM RHS

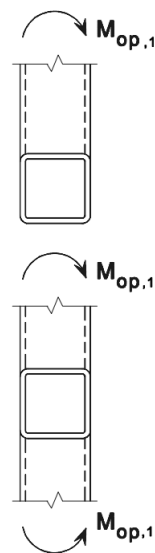


FIGURA 2.34 - REPRESENTAÇÃO DOS MOMENTOS FORA DO PLANO, EM CIMA, NUMA JUNTA EM T, EM BAIXO, NUMA JUNTA EM X. DIAGONAIS E CORDA EM RHS

a) Momentos no plano e fora do plano ($\theta = 90^\circ$) :

i) Rotura da face da corda:

- $\beta \leq 0,85$

$$M_{ip,1,Rd} = k_n f_{y0} t_0^2 h_1 \left(\frac{1}{2\eta} + \frac{2}{\sqrt{1-\beta}} + \frac{\eta}{1-\beta} \right) / \gamma_{M5} \quad (2.116)$$

$$M_{op,1,Rd} = k_n f_{y0} t_0^2 \left(\frac{h_1(1+\beta)}{2(1-\beta)} + \sqrt{\frac{2b_0b_1(1+\beta)}{1-\beta}} \right) / \gamma_{M5} \quad (2.117)$$

ii) Esmagamento da parede lateral da corda

- $0,85 < \beta \leq 1,0$:

$$M_{ip,1,Rd} = 0,5 f_{yk} t_0 (h_1 + 5t_0)^2 / \gamma_{M5} \quad (2.118)$$

$$M_{op,1,Rd} = f_{yk} f_0 (b_0 - t_0) (h_1 + 5t_0) / \gamma_{M5} \quad (2.119)$$

$$f_{yk} = \begin{cases} f_{yk} & \text{para juntas em T} \\ 0,8 f_{yk} & \text{para juntas em X} \end{cases} \quad (2.120)$$

$$f_{yk} = \begin{cases} f_{yk} & \text{para juntas em T} \\ 0,8 f_{yk} & \text{para juntas em X} \end{cases} \quad (2.121)$$

iii) Rotura do elemento diagonal:

- $0,85 < \beta \leq 1,0$:

$$M_{ip,1,Rd} = f_{y1} (W_{p1,1} - (1 - b_{eff}/b_1) b_1 (h_1 - t_1) t_1) / \gamma_{M5} \quad (2.122)$$

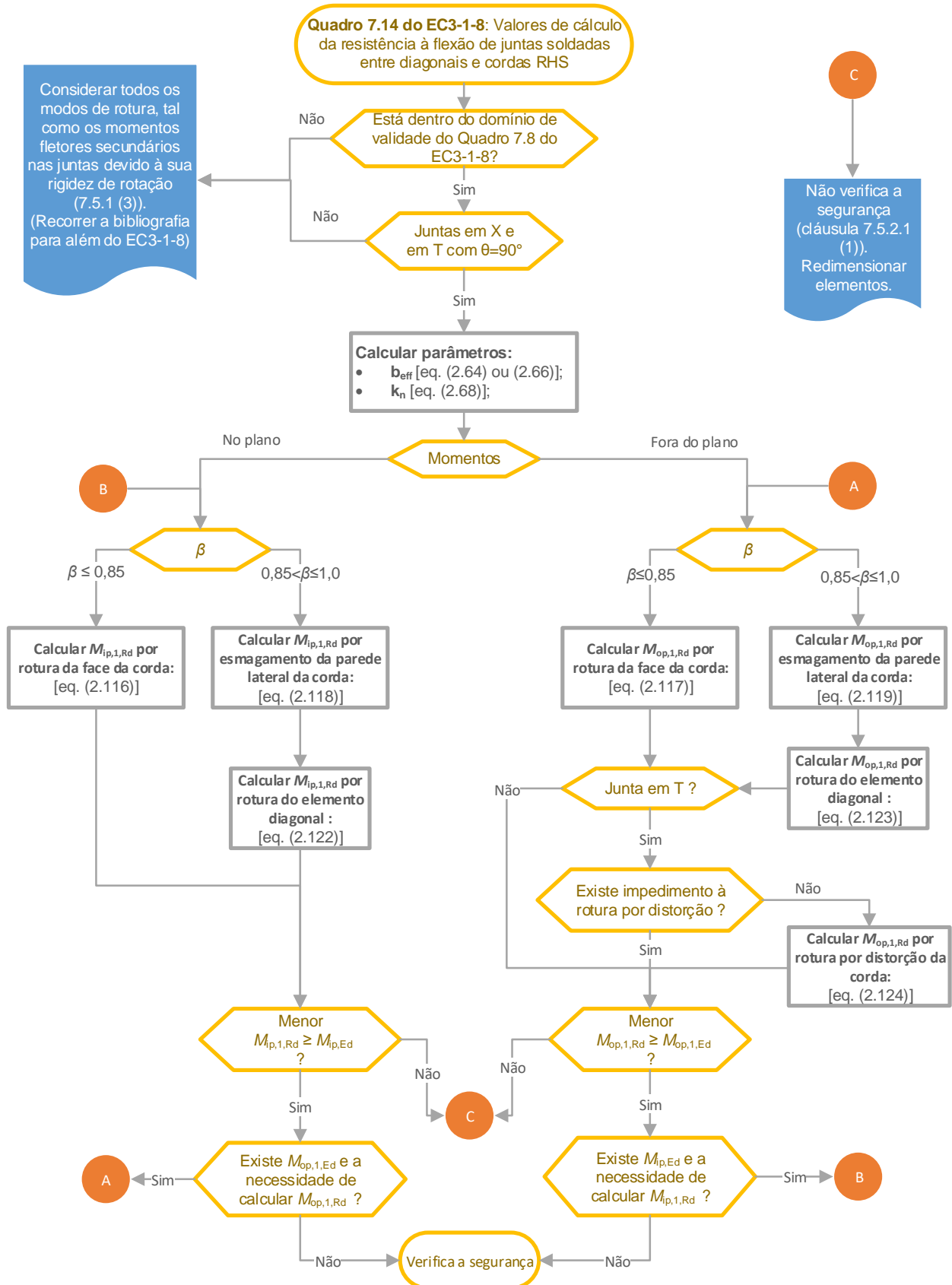
$$M_{op,1,Rd} = f_{y1} (W_{p1,1} - 0,5(1 - b_{eff}/b_1)^2 b_1^2 t_1) / \gamma_{M5} \quad (2.123)$$

iv) Rotura por distorção da corda (apenas para juntas em T)

Apenas existe fora do plano e não se aplica quando a rotura da corda por distorção é impedida por outros meios.

$$M_{op,1,Rd} = 2 f_{y0} t_0 (h_1 t_0 + \sqrt{b_0 h_0 t_0 (b_0 + h_0)}) / \gamma_{M5} \quad (2.124)$$

FLUXOGRAMA 2.13 - ORGANIZAÇÃO LÓGICA E EFICIENTE UTILIZAÇÃO DO QUADRO 7.14 DA EC3-1-8



2.6.1.2. Critérios de cálculo para tipos particulares de juntas soldadas entre elementos diagonais RHS e cordas RHS

O Quadro 7.15 do EC3-1-8 pretende obter esforços normais resistentes ($N_{1,Rd}$) para casos particulares de juntas soldadas entre elementos diagonais e cordas RHS, utilizando os Quadros 7.11 e 7.12 do EC3-1-8, consoante determinados requisitos.

QUADRO 2.24 - SÍNTESE TEÓRICA DO QUADRO 7.15 DE EC3-1-8

Juntas soldadas entre diagonais e cordas RHS		
Tipo de junta particular	Junta a alterar e em que Quadros de EC3-1-8	Equações
DY	X no Quadro 7.11	(2.125)
KT	K no Quadro 7.12	(2.126), (2.127) e (2.128)
DK	X no Quadro 7.11	(2.129) e (2.130)
DK	K no Quadro 7.12	(2.131) e (2.132)

(i) Requisitos específicos para a junta particular DY:

Em ambos os elementos diagonais, os esforços poderão ser de tração ou de compressão, mas a atuar no mesmo sentido.

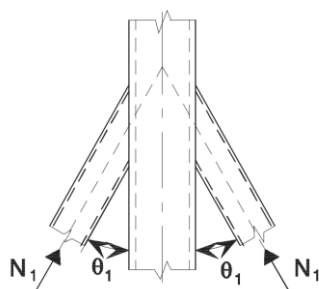


FIGURA 2.35 – JUNTA EM DY, COM DIAGONAIS E CORDA EM RHS, COM SIMETRIA NAS DIAGONAIS, FORÇAS E SENTIDOS DESTAS

$$\text{Para: } N_{1,Ed} \leq N_{1,Rd}, \text{ então:} \quad (2.125)$$

Sendo o valor de $N_{1,Rd}$ obtido através do Quadro 7.11 de EC3-1-8, para uma junta em X.

(ii) Requisitos específicos para a junta particular KT:

Considerando o elemento 1 sempre comprimido e o elemento 2 sempre tracionado.

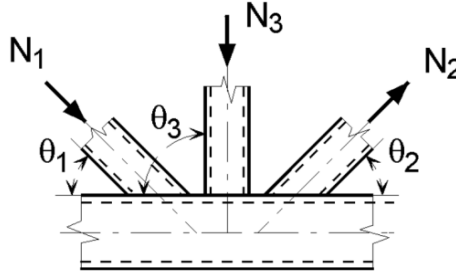


FIGURA 2.36 – JUNTA EM KT DE DIAGONAIS E CORDA EM RHS

Para:
$$N_{1,Ed} \text{sen} \theta_1 + N_{3,Ed} \text{sen} \theta_3 \leq N_{1,Rd} \text{sen} \theta_1 \quad (2.126)$$

E:
$$N_{2,Ed} \text{sen} \theta_2 \leq N_{1,Rd} \text{sen} \theta_1 \quad (2.127)$$

Sendo o valor de $N_{1,Rd}$ obtido através do Quadro 7.12 de EC3-1-8, para uma junta em K.

No entanto é necessário alterar parte da expressão para colmatar a necessidade de um terceiro elemento diagonal, deste modo, a expressão da rotura da face da corda é alterada de seguinte modo:

a) Rotura da face da corda:

$$N_{i,Rd} = \frac{8,9 k_n f_{y0} t_0^2 \sqrt{\gamma}}{\text{sen} \theta_i} \left(\frac{b_1 + b_2 + b_3 + h_1 + h_2 + h_3}{6 b_0} \right) / \gamma_{M5} \quad (2.128)$$

Sendo as restantes expressões para a rotura por corte na corda, elemento diagonal e punçoamento igual ao do quadro 7.12 de EC3-1-8, para juntas entre diagonais e cordas RHS.

(iii) Requisitos específicos para a junta particular DK(x):

Todos os elementos diagonais devem estar tracionados ou comprimidos.

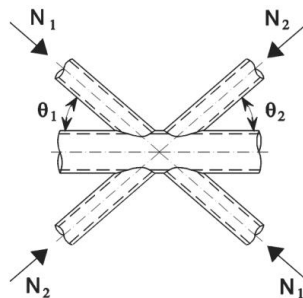


FIGURA 2.37 – JUNTA EM DK COM DIAGONAIS E CORDA EM CHS

Para:
$$N_{1,Ed} \text{sen}\theta_1 + N_{2,Ed} \text{sen}\theta_2 \leq N_{x,Rd} \text{sen}\theta_x \quad (2.129)$$

Em que:
$$N_{x,Rd} \text{sen}\theta_x = \text{maior} \{ |N_{1,Rd} \text{sen}\theta_1|, |N_{2,Rd} \text{sen}\theta_2| \} \quad (2.130)$$

$N_{1,Rd}$ é obtido através do Quadro 7.11 de EC3-1-8, para uma junta em X.

(iv) Requisitos específicos para a junta particular DK(k):

O elemento 1 está sempre comprimido e o elemento 2 está sempre tracionado.

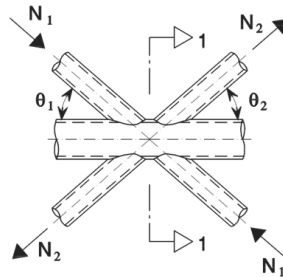


FIGURA 2.38 – JUNTA EM DK COM DIAGONAIS E CORDA EM CHS

Considerando a validade da seguinte expressão:

$$N_{i,Ed} \leq N_{i,Rd} \quad (2.131)$$

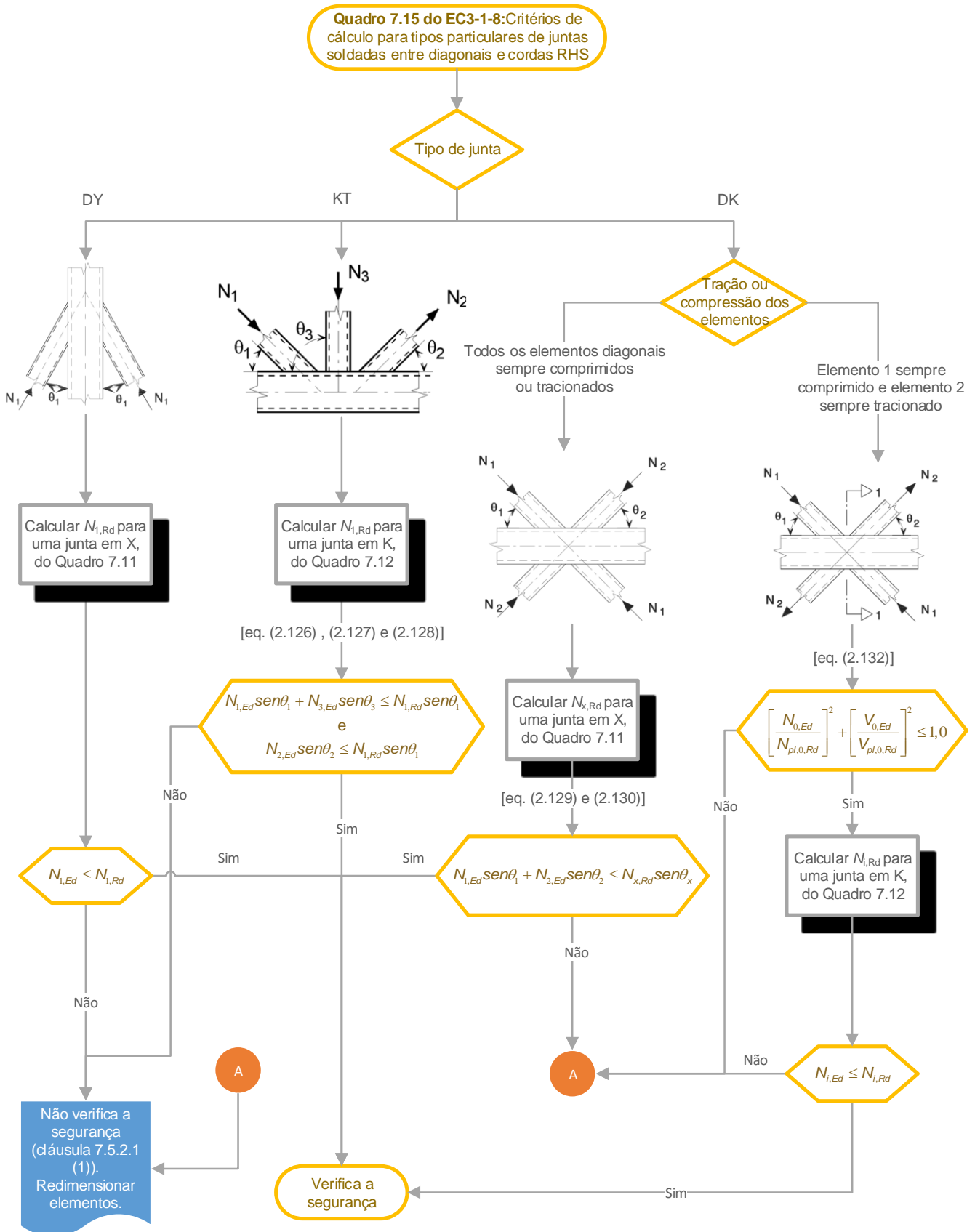
Segundo o Quadro 7.15 de EC3-1-8, caso este tipo de junta particular tenha um afastamento na secção 1-1, é necessário fazer uma verificação prévia das ações instaladas na corda, e da sua resistência à plastificação.

Com afastamento na secção 1-1:

Verificação:
$$\left[\frac{N_{0,Ed}}{N_{pl,0,Rd}} \right]^2 + \left[\frac{V_{0,Ed}}{V_{pl,0,Rd}} \right]^2 \leq 1,0 \quad (2.132)$$

O valor de $N_{1,Rd}$ é obtido através do Quadro 7.12 de EC3-1-8, para uma junta em K.

FLUXOGRAMA 2.14 - ORGANIZAÇÃO LÓGICA E EFICIENTE UTILIZAÇÃO DO QUADRO 7.15 DA EC3-1-8



2.6.1.3. Critérios de dimensionamento para juntas soldadas de elementos RHS em cotovelo e para nós em que a corda é quebrada

O Quadro 7.16 do EC3-1-8 apresenta critérios de dimensionamento para casos específicos de elementos RHS, em que as diagonais ou cordas estão “quebradas”, ou seja, não têm a mesma linearidade. Podendo estas se encontrar soldadas, em bisel, com chapa de reforço ou não.

QUADRO 2.25 – SÍNTESE DO QUADRO 7.16 DE EC3-1-8

Juntas soldadas entre elementos RHS			
Tipo de junta	Critérios		Equações
Cotovelo sem reforço	Verificação de esforços resistentes plásticos ($N_{pl,Rd}$ e $M_{pl,Rd}$)	Amplitude do ângulo do cotovelo	(2.133) e (2.134)
Cotovelo com reforço		Dimensão das chapas de reforço	(2.137) e (2.138)
Com ponto anguloso na corda	Quadro 7.12 : junta em K ou N com sobreposição		(2.139)

I) Juntas em cotovelo soldadas sem reforço:

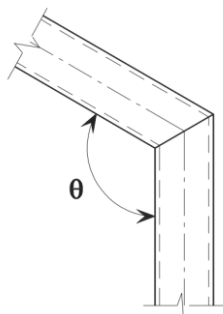


FIGURA 2.39 – JUNTA SOLDADA EM COTOVELO

$$N_{Ed} \leq 0,2N_{pl,Rd} \quad (2.133)$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} \leq \kappa \quad (2.134)$$

Se $\theta \leq 90^\circ$:

$$\kappa = \frac{3\sqrt{b_0/h_0}}{[b_0/t_0]^{0,8}} + \frac{1}{1 + 2b_0/h_0} \quad (2.135)$$

Se $90^\circ < \theta \leq 180^\circ$:

$$\kappa = 1 - (\sqrt{2} \cos(\theta/2))(1 - \kappa_{90}) \quad (2.136)$$

Nota: κ_{90} corresponde ao valor de κ para $\theta=90^\circ$

II) Juntas em cotovelo com chapa de reforço

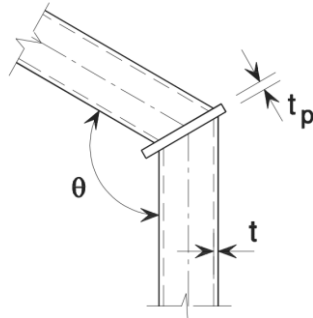


FIGURA 2.40 – JUNTA SOLDADA EM COTOVELO REFORÇADA COM CHAPA

$$t_p \geq \begin{cases} 1,5t \\ 10 \text{ mm} \end{cases} \quad (2.137)$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} \leq 1,0 \quad (2.138)$$

III) Juntas com ponto anguloso no eixo da corda

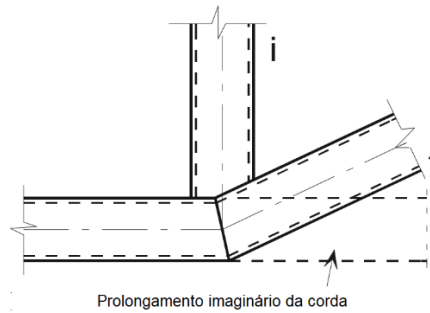
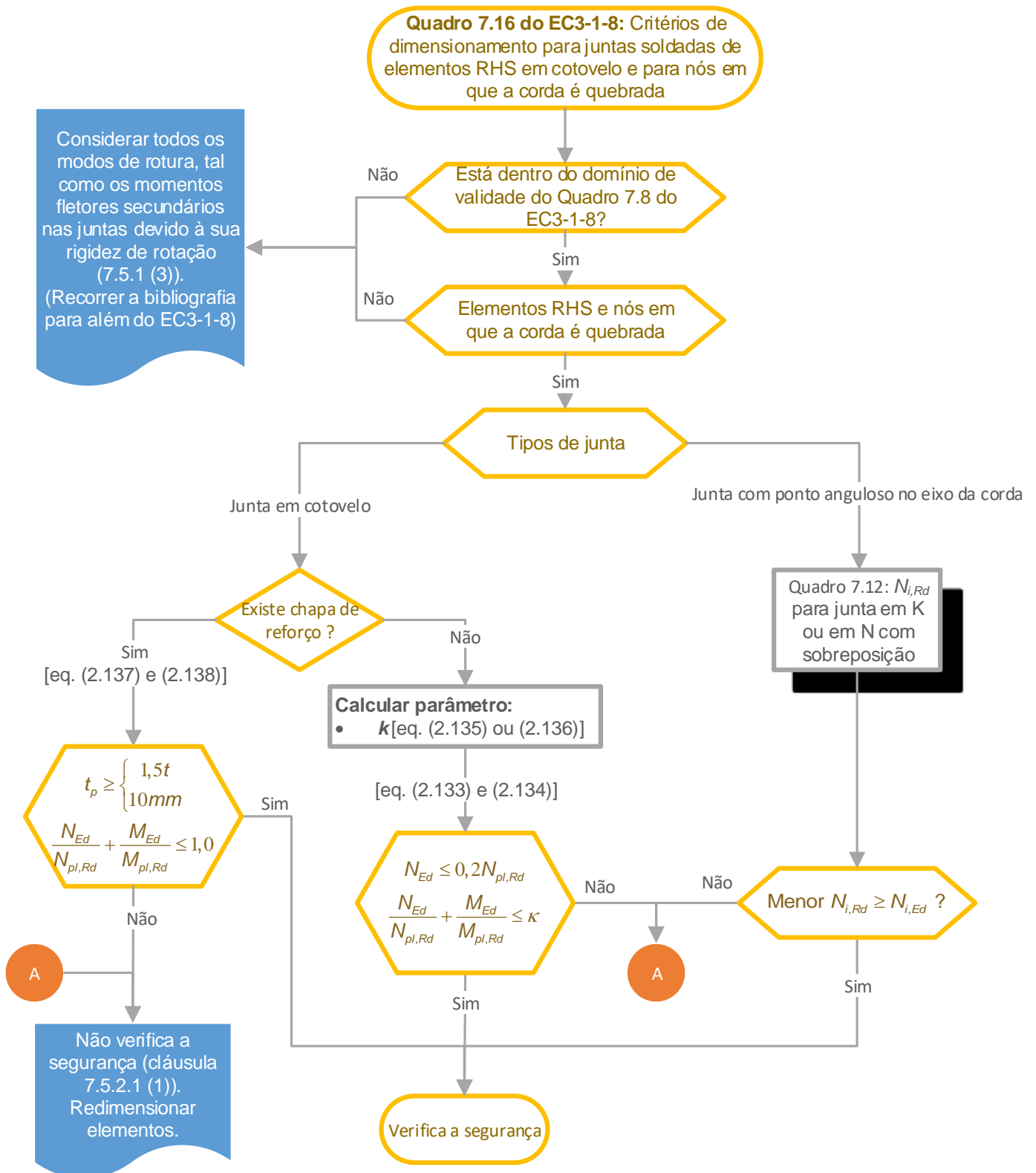


FIGURA 2.41 – JUNTA SOLDADA EM QUE A CORDA É “QUEBRADA”, OU EXISTE UM PONTO ANGULOSO NO EIXO DA CORDA

$$N_{i,Ed} \leq N_{i,Rd} \quad (2.139)$$

Nota: $N_{i,Rd}$ é calculado a partir do Quadro 7.12 de EC3-1-8 para juntas em K ou N com sobreposição

FLUXOGRAMA 2.15 - ORGANIZAÇÃO LÓGICA E EFICIENTE UTILIZAÇÃO DO QUADRO 7.16 DA EC3-1-8



2.6.1.4. Valores de cálculo da resistência de juntas soldadas reforçadas em T, Y e X entre elementos diagonais RHS ou CHS e cordas RHS

O Quadro 7.17 do EC3-1-8 indica como determinar a resistência de ligações entre diagonais retangulares e circulares com cordas retangulares, com chapas de reforço.

Para juntas em T, X ou Y, com reforço no banzo ou com chapas laterais, o presente Quadro 7.17 do EC3-1-8, analisa as dimensões da chapa de reforço soldada, e remete para o Quadro 7.11 do EC3-1-8 com alterações pontuais a este.

QUADRO 2.26 – SÍNTESE DO QUADRO 7.17 DE EC3-1-8

Juntas soldadas Reforçadas em T, X e Y, entre diagonais RHS e CHS com cordas RHS			
Tipo de esforço	Tipo de reforço	Tipos de rotura	Equações
Tração	Chapa de banzo	Face da corda, rotura do elemento diagonal e punçoamento	(2.140) a (2.144)
Compressão			(2.145) a (2.150)
Tração e compressão	Chapas laterais	Encurvadura das paredes laterais da corda e corte das paredes laterais	(2.151) a (2.153)

I) Reforço com chapas de banzo:

a) Esforço de tração:

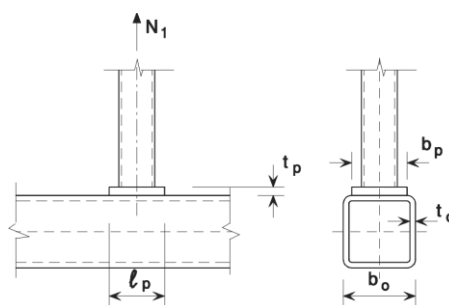


FIGURA 2.42 – JUNTA EM T DE DIAGONAL E CORDA EM RHS REFORÇADA COM CHAPA DE BANZO

- $\beta_p \leq 0,85:$ (2.140)

$$\ell_p \geq \frac{h_1}{\text{sen}\theta_1} + \sqrt{b_p(b_p - b_1)} \quad (2.141)$$

$$b_p \geq b_0 - 2t_0 \quad (2.142)$$

$$t_p \geq 2t_1 \quad (2.143)$$

$$N_{1,Rd} = \frac{f_{yp} t_p^2}{(1 - b_1/b_p) \text{sen}\theta_1} \left(\frac{2h_1/b_p}{\text{sen}\theta_1} + 4\sqrt{1 - b_1/b_p} \right) / \gamma_M \quad (2.144)$$

b) Esforço de compressão:

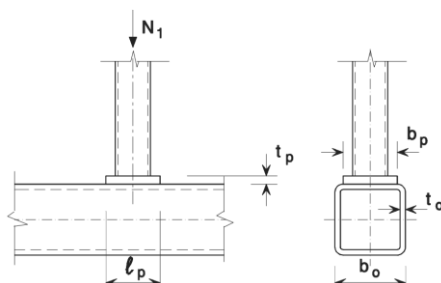


FIGURA 2.43 - JUNTA EM T DE DIAGONAL E CORDA EM RHS REFORÇADA COM CHAPA DE BANZO

- $\beta_p \leq 0,85$: (2.145)

$$\ell_p \geq \frac{h_1}{\text{sen}\theta_1} + \sqrt{b_p(b_p - b_1)} \quad (2.146)$$

$$b_p \geq b_0 - 2t_0 \quad (2.147)$$

$$t_p \geq 2t_1 \quad (2.148)$$

- Quadro 7.11 de EC3-1-8:

$$k_n = 1,0 \quad (2.149)$$

$$t_0 \text{ por } t_p \quad (2.150)$$

II) Reforço com chapas laterais:

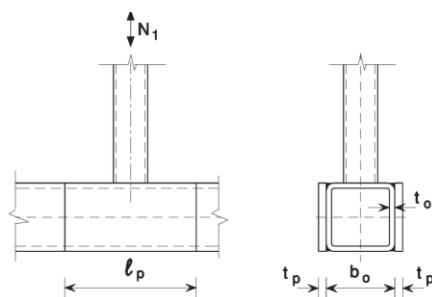


FIGURA 2.44 - JUNTA EM T DE DIAGONAL E CORDA EM RHS REFORÇADA COM CHAPAS LATERAIS

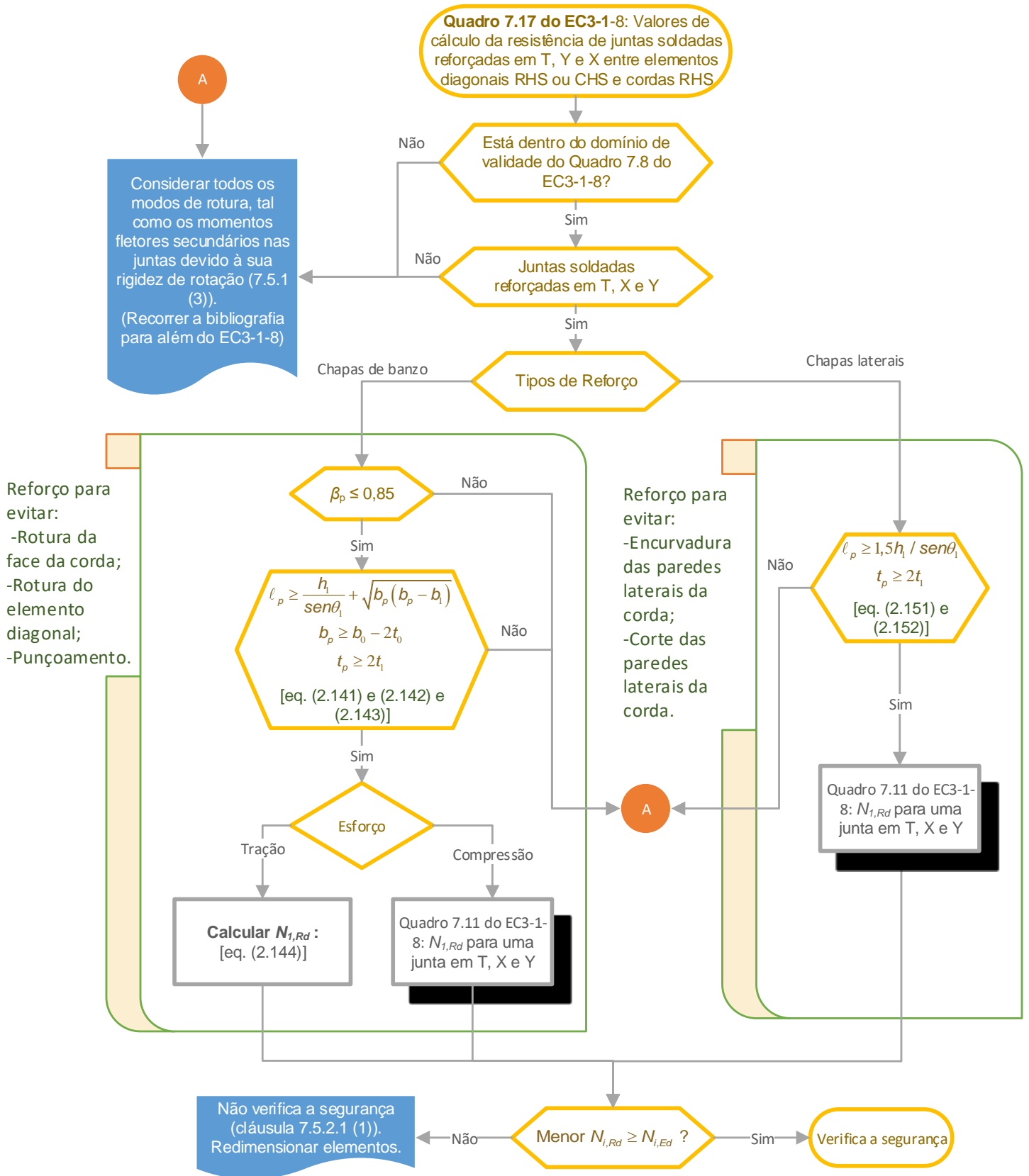
$$\ell_p \geq 1,5h_1/\text{sen}\theta_1 \quad (2.151)$$

$$t_p \geq 2t_1 \quad (2.152)$$

- Quadro 7.11 de EC3-1-8:

$$t_0 \text{ por } (t_0 + t_p) \quad (2.153)$$

FLUXOGRAMA 2.16 - ORGANIZAÇÃO LÓGICA E EFICIENTE UTILIZAÇÃO DO QUADRO 7.17 DA EC3-1-8



2.6.1.5. Valores de cálculo da resistência de juntas soldadas reforçadas em K e em N entre elementos diagonais RHS ou CHS e cordas RHS

O Quadro 7.18 do EC3-1-8, à semelhança do anterior quadro, indica como determinar a resistência das juntas soldadas com chapas de reforço, mas agora para juntas em K e N, com um caso chapa de separação entre diagonais quando existe a necessidade de sobreposição, e esta é insuficiente.

QUADRO 2.27 – SÍNTESE DO QUADRO 7.18 DE EC3-1-8

Juntas soldadas reforçadas em K e N, entre diagonais RHS e CHS com cordas RHS		
Tipo de reforço	Tipos de rotura ou requisitos geométricos	Equações
Chapa de banzo	Face da corda, rotura do elemento diagonal e punçoamento	(2.154) a (2.157)
Chapas laterais	Corte das paredes laterais da corda	(2.158) e (2.159)
Chapa de separação	Sobreposição insuficiente entre elementos diagonais	(2.160) e (2.161)

l) Reforço com chapas de banzo:

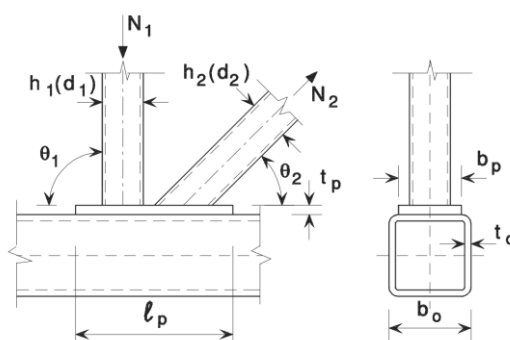


FIGURA 2.45 - JUNTA EM N DE DIAGONAL E CORDA EM RHS REFORÇADA COM CHAPA DE BANZO

$$\ell_p \geq 1,5 \left(\frac{h_1}{\text{sen}\theta_1} + g + \frac{h_2}{\text{sen}\theta_2} \right) \quad (2.154)$$

$$b_p \geq b_0 - 2t_0 \quad (2.155)$$

$$t_p \geq \begin{cases} 2t_1 \\ 2t_2 \end{cases} \quad (2.156)$$

- Substituir no Quadro 7.12 do EC3-1-8:

$$t_0 \text{ por } t_p \quad (2.157)$$

II) Reforço com chapas laterais:

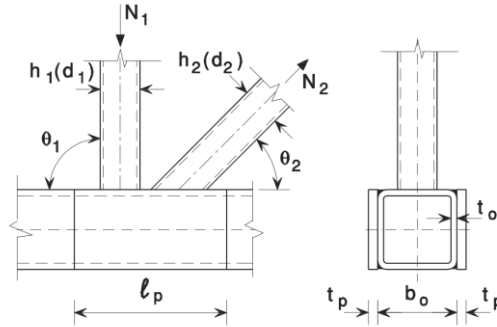


FIGURA 2.46 - JUNTA EM N DE DIAGONAL E CORDA EM RHS REFORÇADA COM CHAPAS LATERAIS

$$l_p \geq 1,5 \left(\frac{h_1}{\text{sen}\theta_1} + g + \frac{h_2}{\text{sen}\theta_2} \right) \quad (2.158)$$

- Substituir Quadro 7.12 de EC3-1-8:

$$t_0 \text{ por } (t_0 + t_p) \quad (2.159)$$

III) Reforço com chapa de separação:

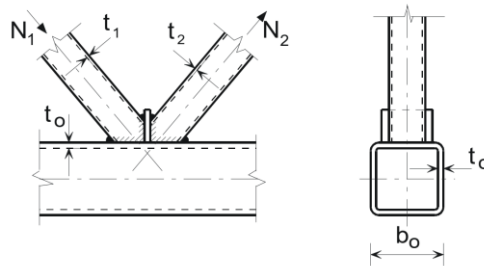


FIGURA 2.47 – JUNTA EM K COM DIAGONAIS E CORDA EM RHS COM CHAPA DE SEPARAÇÃO ENTRE ELEMENTOS DIAGONAIS

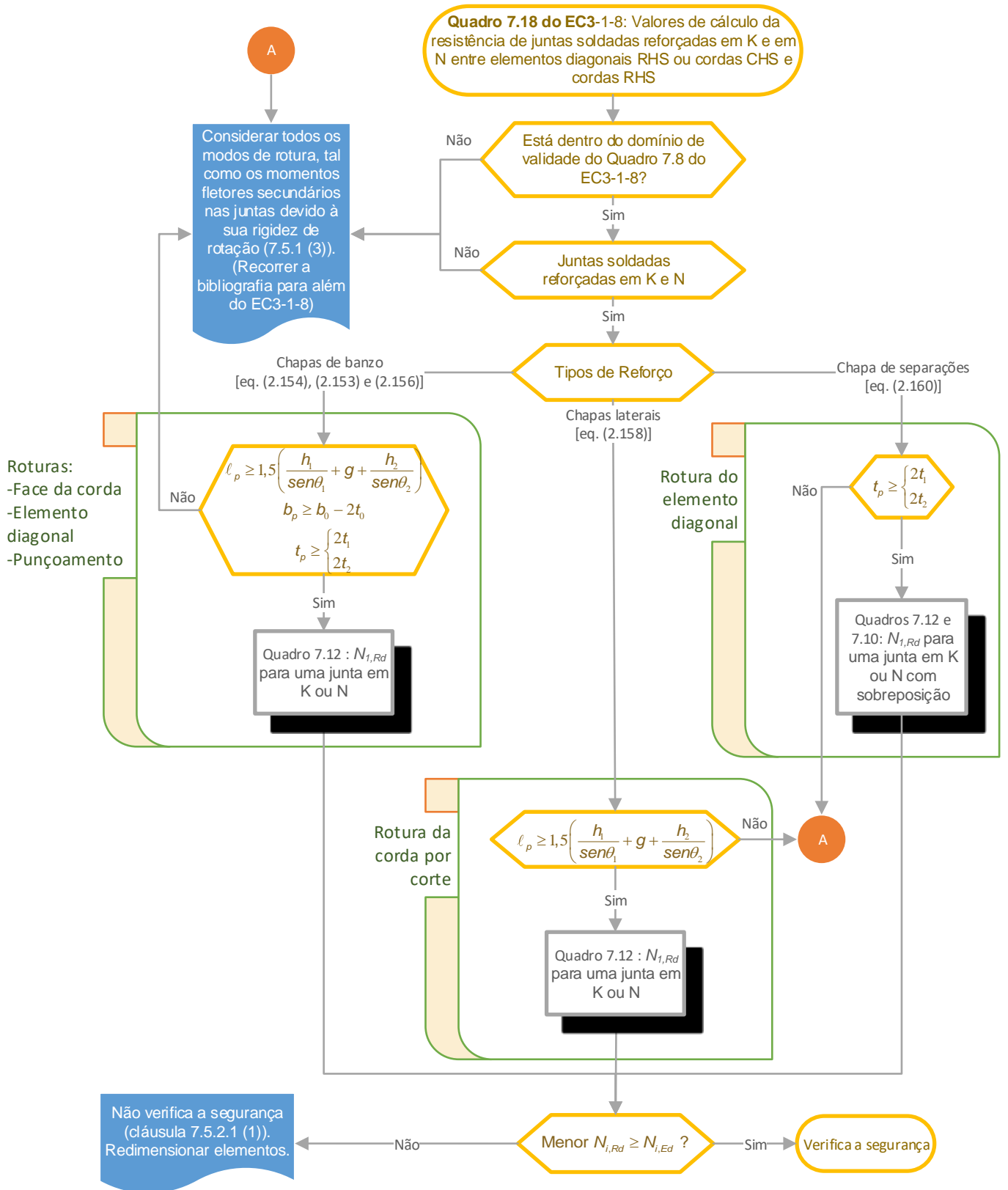
$$t_p \geq \begin{cases} 2t_1 \\ 2t_2 \end{cases} \quad (2.160)$$

- $\lambda_{ov} < 80 \%$:

Substituir no Quadro 7.12 de EC3-1-8:

$$t_0 \text{ por } t_p \quad (2.161)$$

FLUXOGRAMA 2.17 - ORGANIZAÇÃO LÓGICA E EFICIENTE UTILIZAÇÃO DO QUADRO 7.18 DA EC3-1-8



2.6.2. Juntas tridimensionais

À semelhança do que foi descrito para as juntas tridimensionais de corda CHS, o mesmo se repete para as juntas de corda RHS, alterando apenas os coeficientes.

I) Junta em TT

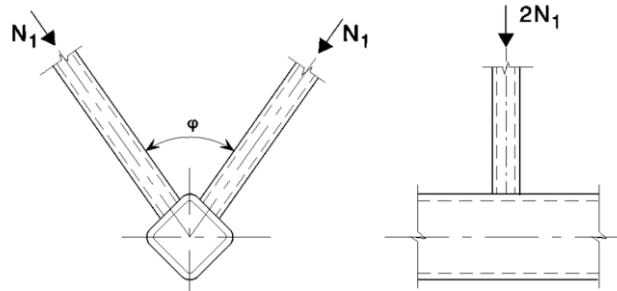


FIGURA 2.48 – JUNTA TRIDIMENSIONAL EM TT DE DIAGONAIS E CORDA EM RHS

Para a junta tridimensional TT, elemento 1 poderá estar tracionado ou comprimido, respeitando os limites impostos para o ângulo de φ .

Para: $60^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$ (2.162)

Então: $\mu = 0,9$

II) Junta em XX:

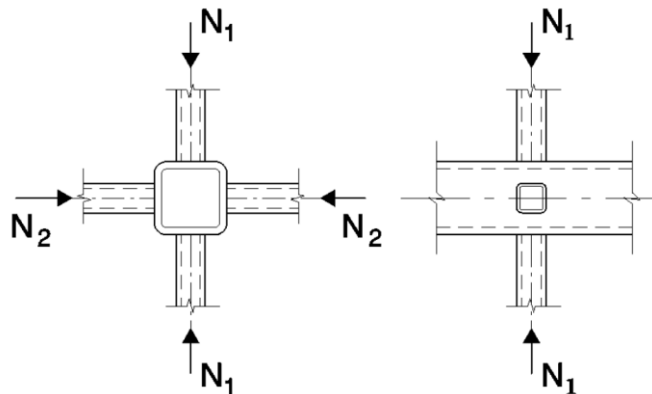


FIGURA 2.49 – JUNTA TRIDIMENSIONAL EM XX DE DIAGONAL E CORDA EM RHS

Na junta tridimensional em XX os elementos 1 e 2 podem estar comprimidos ou tracionados, sendo que a relação $N_{2,Ed}/N_{1,Ed}$ é negativa se um elemento estiver tracionado e o outro comprimido.

$$\mu = 0,9(1 + 0,33N_{2,Ed}/N_{1,Ed}) \quad (2.163)$$

Com $|N_{2,Ed}| \leq |N_{1,Ed}|$

III) Junta e KK:

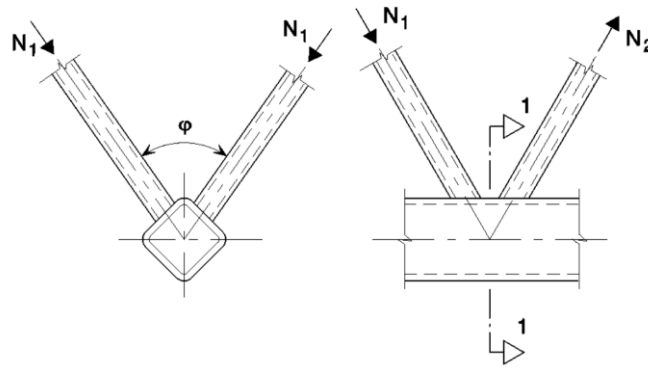


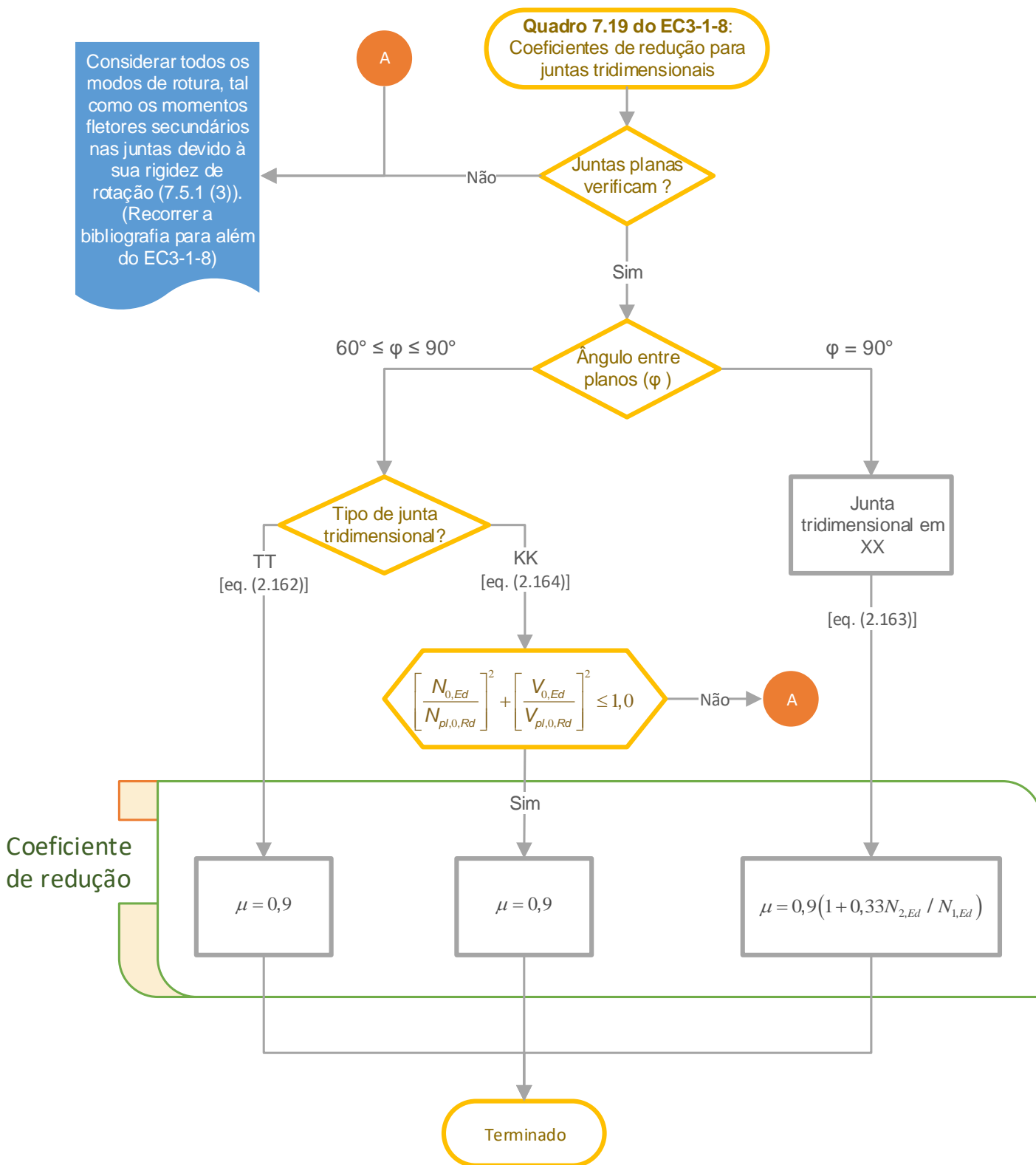
FIGURA 2.50 – JUNTA TRIDIMENSIONAL EM KK DE DIAGONAL E CORDA EM RHS

Na junta tridimensional KK, da figura acima, o elemento 1 está sempre comprimido e o elemento 2 sempre tracionado. Para os limites do ângulo φ , $60^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$, e na secção 1-1 se houver um afastamento g , deve verificar-se a equação (2.164).

$$\left[\frac{N_{0,Ed}}{N_{pl,0,Rd}} \right]^2 + \left[\frac{V_{0,Ed}}{V_{pl,0,Rd}} \right]^2 \leq 1,0 \quad (2.164)$$

O coeficiente de redução é: $\mu = 0,9$

FLUXOGRAMA 2.18 - ORGANIZAÇÃO LÓGICA E EFICIENTE UTILIZAÇÃO DO QUADRO 7.19 DA EC3-1-8



2.7. Juntas soldadas entre elementos diagonais CHS ou RHS e cordas em perfil em I ou H

Para os casos em que diagonais circulares ou retangulares ligam a cordas de perfil I ou H, é necessário que a geometria destes se encontrem dentro do domínio de validade do Quadro 7.20 do EC3-1-8

Caso os limites geométricos do Quadro 7.20 do EC3-1-8, sejam respeitados, apenas será necessário considerar os modos de rotura indicados nos Quadros 7.21 e 7.22 de EC3-1-8, consoante o tipo de junta.

Caso contrário, será necessário calcular todos os modos de rotura, tendo em conta os momentos flectores secundários devido à rigidez de rotação.

Nas ligações de elementos diagonais solicitados apenas a esforços normais então verificação de $N_{i,Rd} \geq N_{i,Ed}$, determinada segundo o Quadro 7.21 do EC3-1-8.

No entanto, quando as diagonais estão sujeitas a uma combinação de esforços normais e de flexão no plano, a seguinte condição deverá ser respeitada:

$$\frac{N_{i,Ed}}{N_{i,Rd}} + \frac{M_{ip,i,Ed}}{M_{ip,i,Rd}} \leq 1,0 \quad (2.165)$$

QUADRO 2.28 – DOMÍNIO DE VALIDADE PARA JUNTAS SOLDADAS ENTRE ELEMENTOS DIAGONAIS CHS OU RHS E CORDAS EM PERFIL EM I OU EM H (ADAPTADO DO QUADRO 7.20 DO EC3-1-8)

Tipo de junta	Parâmetro da junta					
	$\frac{d_w}{t_w}$	Relações geométricas		$\frac{h_i}{b_i}$	$\frac{b_0}{t_f}$	$\frac{b_i}{b_j}$
		Compressão	Tração			
X	Classe 1 e $d_w \leq 400 \text{ mm}$	Classe 1 ou 2 e $\frac{h_i}{t_i} \leq 35$ $\frac{b_i}{t_i} \leq 35$ $\frac{d_i}{t_i} \leq 50$	$\frac{h_i}{t_i} \leq 35$ $\frac{b_i}{t_i} \leq 35$ $\frac{d_i}{t_i} \leq 50$	$\geq 0,5$ mas $\leq 2,0$	Classe 1 ou 2	---
T ou Y	Classe 1 ou 2 e $d_w \leq 400 \text{ mm}$			$1,0$		---
K e N afastamento				$\geq 0,5$ mas $\leq 2,0$		$\geq 0,75$
K e N com sobreposição $25 \% \leq \lambda_{ov} \leq \lambda_{ov,lim}$						

2.7.1. Valores de cálculo da resistência de juntas soldadas entre elementos diagonais RHS ou CHS e cordas em perfil I ou H

O Quadro 7.21 de EC3-1-8 apresenta valores de cálculo para a resistência à rotura de diagonais retangulares ou circulares com cordas de perfil I ou H. Que como é visível no quadro seguinte está sujeito a vários tipos de rotura a ser analisado.

QUADRO 2.29 - SÍNTESE DO QUADRO 7.21 DA EC3-1-8

Juntas soldadas entre elementos diagonais RHS ou CHS com cordas em perfil I ou H				
Tipo de junta		Tipo de rotura		Equações
T, Y ou X		Plastificação da alma da corda		(2.177) e (2.178)
		Elemento diagonal		(2.179) e (2.180)
K ou N	Com afastamento	Plastificação da alma da corda		(2.181) e (2.182)
		Elemento diagonal		(2.183) a (2.188)
		Corte da corda		(2.189) a (2.192)
		Elemento diagonal com reforço		(2.199) a (2.203)
	Com sobreposição	elemento diagonal	$25 \% \leq \lambda_{ov} < 50 \%$	(2.193) e (2.194)
			$50 \% \leq \lambda_{ov} < 80 \%$	(2.195) e (2.196)
			$\lambda_{ov} \geq 80 \%$	(2.197) e (2.198)

(v) **Coefficientes intermédios:**

$$A_v = A_0 - (2 - \alpha)b_0t_f + (t_w + 2r)t_f \quad (2.166)$$

$$\text{RHS:} \quad \alpha = \sqrt{\frac{1}{(1 + 4g^2/(3t_f^2))}} \quad (2.167)$$

$$\text{CHS:} \quad \alpha = 0 \quad (2.168)$$

$$p_{eff} = t_w + 2r + 7t_f f_{y0}/f_{yi} \quad (2.169)$$

Juntas em T, X Y e também K e N com afastamento: RHS: $p_{eff} \leq b_i + h_i - 2t_i$ (2.170)

CHS: $p_{eff} \leq 2d_i - 2t_i$ (2.171)

Juntas em K e N com sobreposição: RHS: $p_{eff} \leq b_i$ (2.172)

CHS: $p_{eff} \leq d_i$ (2.173)

$$\text{RHS:} \quad b_w = \frac{h_i}{\text{sen}\theta_i} + 5(t_f + r) \quad (2.174)$$

$$\text{CHS: } b_w = \frac{d_i}{\text{sen}\theta_i} + 5(t_f + r) \quad (2.175)$$

$$\text{E: } b_w \leq 2t_i + 10(t_f + r) \quad (2.176)$$

I) Juntas em T, X e Y:

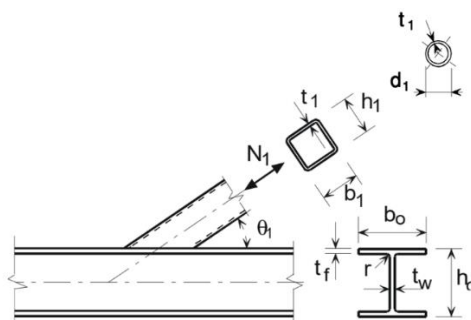


FIGURA 2.51 – JUNTA EM Y DE DIAGONAL EM RHS E CORDA EM PERFIL EM I

a) Plastificação da alma da corda:

$$\text{RHS: } N_{1,Rd} = \frac{f_{y0}t_w b_w}{\text{sen}\theta_1} / \gamma_{M5} \quad (2.177)$$

$$\text{CHS: } N_{1,Rd} = \left(\frac{f_{y0}t_w b_w}{\text{sen}\theta_1} / \gamma_{M5} \right) \frac{\pi}{4} \quad (2.178)$$

b) Rotura do elemento diagonal:

$$\text{RHS: } N_{1,Rd} = 2f_{y1}t_1 p_{eff} / \gamma_{M5} \quad (2.179)$$

$$\text{CHS: } N_{1,Rd} = \left(2f_{y1}t_1 p_{eff} / \gamma_{M5} \right) \frac{\pi}{4} \quad (2.180)$$

II) Juntas em K e N com afastamento:

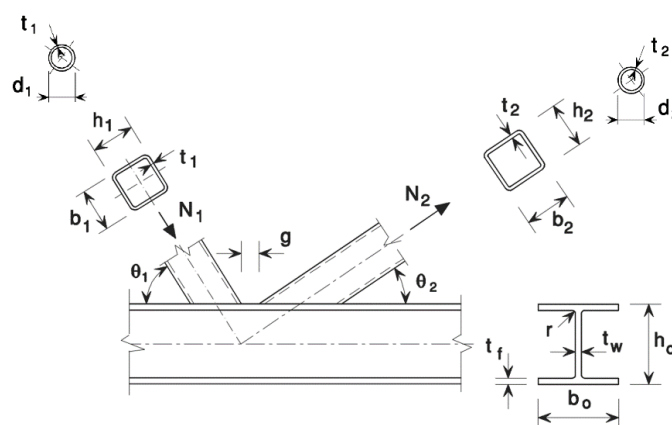


FIGURA 2.52 – JUNTA EM K DE DIAGONAIS EM RHS E CORDA EM PERFIL EM I

a) Plastificação da alma da corda:

$$\text{RHS: } N_{1,Rd} = \frac{f_{y0} t_w b_w}{\text{sen}\theta_1} / \gamma_{M5} \quad (2.181)$$

$$\text{CHS: } N_{1,Rd} = \left(\frac{f_{y0} t_w b_w}{\text{sen}\theta_1} / \gamma_{M5} \right) \frac{\pi}{4} \quad (2.182)$$

b) Rotura do elemento diagonal:

- Não é necessário verificar a rotura do elemento diagonal :

$$\text{Se: } \begin{cases} g/t_f \leq 20 - 28\beta & (2.183) \\ \beta \leq 1,0 - 0,03b_0/2t_f & (2.184) \end{cases}$$

$$\text{CHS: } 0,75 \leq d_1/d_2 \leq 1,33 \quad (2.185)$$

$$\text{RHS: } 0,75 \leq b_1/b_2 \leq 1,33 \quad (2.186)$$

- Caso contrário:

$$\text{RHS: } N_{1,Rd} = 2f_{y1} t_1 p_{eff} / \gamma_{M5} \quad (2.187)$$

$$\text{CHS: } N_{1,Rd} = \left(2f_{y1} t_1 p_{eff} / \gamma_{M5} \right) \frac{\pi}{4} \quad (2.188)$$

c) Corte da corda:

$$\text{RHS: } \text{menor} \begin{cases} N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} A_v}{\sqrt{3} \text{sen}\theta_i} / \gamma_{M5} & (2.189) \\ N_{0,Rd} = \left[(A_0 - A_v) f_{y0} + A_v f_{y0} \sqrt{1 - (V_{Ed}/V_{pl,Rd})^2} \right] / \gamma_{M5} & (2.190) \end{cases}$$

$$\text{CHS: } \text{menor} \begin{cases} N_{i,Rd} = \left(\frac{f_{y0} A_v}{\sqrt{3} \text{sen}\theta_i} / \gamma_{M5} \right) \frac{\pi}{4} & (2.191) \\ N_{0,Rd} = \left[(A_0 - A_v) f_{y0} + A_v f_{y0} \sqrt{1 - (V_{Ed}/V_{pl,Rd})^2} \right] / \gamma_{M5} & (2.192) \end{cases}$$

III) Juntas em K e N com sobreposição:

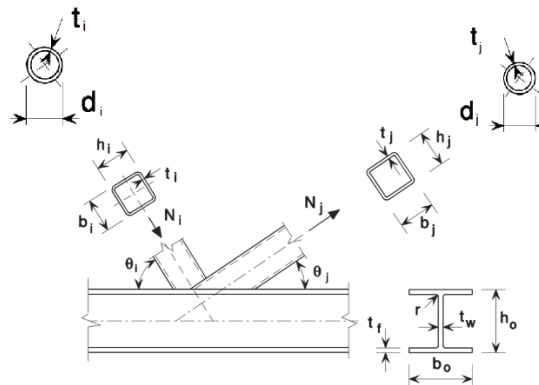


FIGURA 2.53 – JUNTA EM K COM SOBREPOSIÇÃO E DIAGONAIS EM RHS E CORDA EM PERFIL EM I

a) Rotura do elemento diagonal:
(i) $25\% \leq \lambda_{ov} < 50\%$:

$$\text{SHS} : N_{i,Rd} = f_{yi} t_i (p_{eff} + b_{e,ov} + 2h_i \frac{\lambda_{ov}}{50} - 4t_i) / \gamma_{M5} \quad (2.193)$$

$$\text{CHS} : N_{i,Rd} = (f_{yi} t_i (p_{eff} + b_{e,ov} + 2d_i \frac{\lambda_{ov}}{50} - 4t_i) / \gamma_{M5}) \frac{\pi}{4} \quad (2.194)$$

(ii) $50\% \leq \lambda_{ov} < 80\%$:

$$\text{SHS} : N_{i,Rd} = f_{yi} t_i (p_{eff} + b_{e,ov} + 2h_i - 4t_i) / \gamma_{M5} \quad (2.195)$$

$$\text{CHS} : N_{i,Rd} = (f_{yi} t_i (p_{eff} + b_{e,ov} + 2d_i - 4t_i) / \gamma_{M5}) \frac{\pi}{4} \quad (2.196)$$

(iii) $\lambda_{ov} \geq 80\%$:

$$\text{SHS} : N_{i,Rd} = f_{yi} t_i (b_i + b_{e,ov} + 2h_i - 4t_i) / \gamma_{M5} \quad (2.197)$$

$$\text{CHS} : N_{i,Rd} = (f_{yi} t_i (d_i + b_{e,ov} + 2d_i - 4t_i) / \gamma_{M5}) \frac{\pi}{4} \quad (2.198)$$

IV) Juntas com reforço na corda:

Para juntas em T, X e Y e juntas K ou N com afastamento, caso se verifique reforço nas cordas de perfil em I ou H (rigidificadores transversais), conforme a figura que se segue, o cálculo da rotura do elemento diagonal é determinado de modo diferente (EN3-1-8, 7.6(8)):



FIGURA 2.54 – RIGIDIFICADORES DE BANZOS EM PERFIL I, ADAPTADO DO CATALOGO CORUS DE 2002 [6]

$$N_{i,Rd} = 2f_{yi} t_i (b_{eff} + b_{eff,s}) / \gamma_{M5} \quad (2.199)$$

$$b_{eff} = t_w + 2r + \frac{7t_f f_{y0}}{f_{yi}} \text{ mas } \leq b_i + h_i - 2t_i \quad (2.200)$$

Soldadura em **ambos os lados** do reforço:

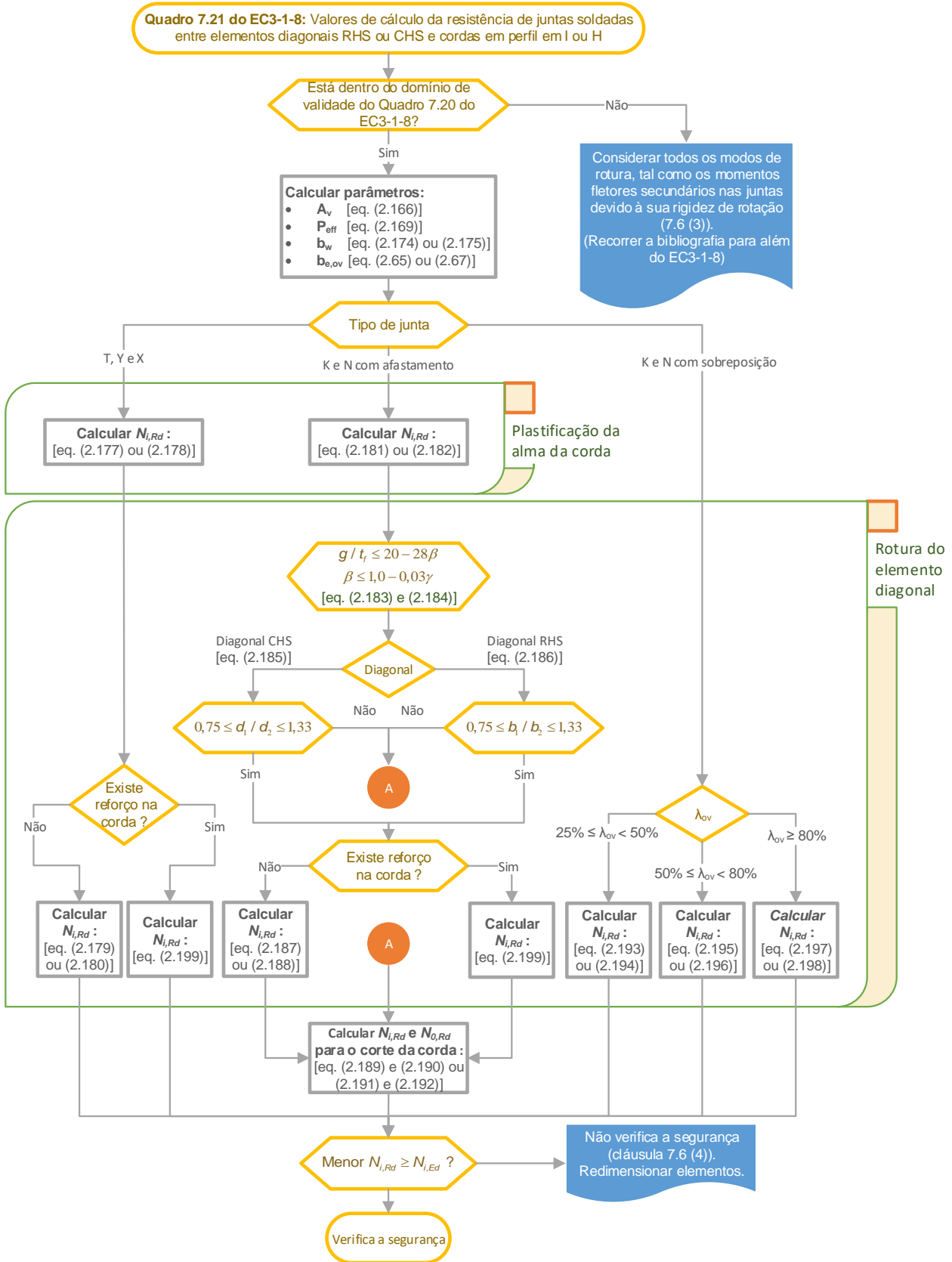
$$b_{eff,s} = t_s + 2a + \frac{7t_f f_{y0}}{f_{yi}} \text{ mas } \leq b_i + h_i - 2t_i \quad (2.201)$$

Soldadura em **apenas um lado** do reforço:

$$b_{eff,s} = t_s + a + \frac{7t_f f_{y0}}{f_{yi}} \text{ mas } \leq b_i + h_i - 2t_i \quad (2.202)$$

$$b_{eff} + b_{eff,s} \leq b_i + h_i - 2t_i \quad (2.203)$$

FLUXOGRAMA 2.19 - ORGANIZAÇÃO LÓGICA E EFICIENTE UTILIZAÇÃO DO QUADRO 7.21 DA EC3-1-8



2.7.2. Valores de cálculo da resistência à flexão de juntas soldadas entre elementos diagonais RHS e cordas em perfil em I ou em H

No Quadro 7.22 do EC3-1-8, é abordado o método de cálculo dos momentos resistentes no plano $M_{ip,1,Rd}$, para uma junta soldada entre elementos diagonais retangulares e cordas em perfil em I ou H, por modo a verificar os principais critérios de rotura, a plastificação da alma da corda e a rotura do elemento diagonal, desde que verificando previamente o Quadro 7.20 do EC3-1-8.

QUADRO 2.30 – SÍNTESE DO QUADRO 7.22 DE EC3-1-8

Juntas entre elementos diagonais RHS e cordas de perfil em I ou H		
Tipo de junta	Tipo de rotura	Equações
Juntas em T ou Y	Plastificação da alma da corda	(2.204)
	Elemento diagonal	(2.205)

I) Juntas em T e em Y

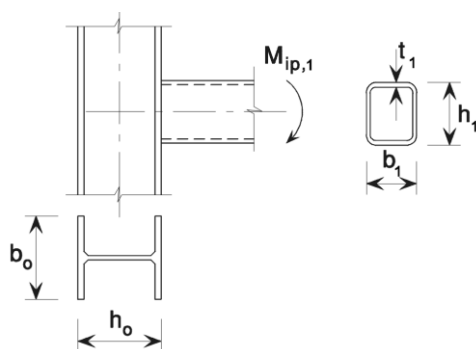


FIGURA 2.55 – JUNTA EM T COM DIAGONAL EM RHS E CORDA EM PERFIL EM I OU H

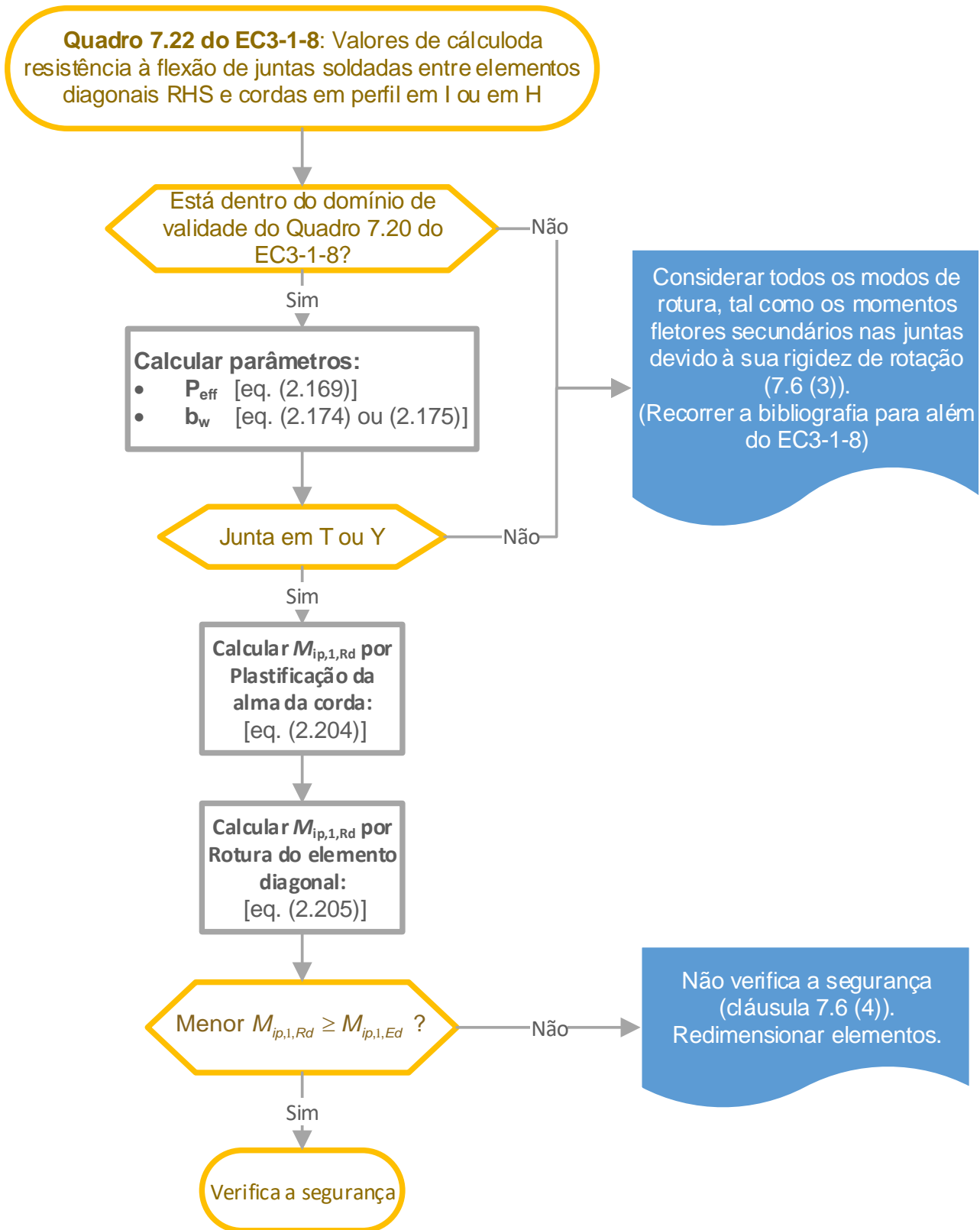
a) Plastificação da alma da corda:

$$M_{ip,1,Rd} = 0,5f_{y0}t_w b_w (h_1 - t_1) / \gamma_{M5} \quad (2.204)$$

b) Rotura do elemento diagonal:

$$M_{ip,1,Rd} = f_{y1}t_1 p_{eff} (h_1 - t_1) / \gamma_{M5} \quad (2.205)$$

FLUXOGRAMA 2.20 - ORGANIZAÇÃO LÓGICA E EFICIENTE UTILIZAÇÃO DO QUADRO 7.22 DA EC3-1-8



2.8. Juntas soldadas entre elementos diagonais CHS ou RHS e cordas em perfil em U

A geometria das juntas deverá estar dentro do domínio de validade do Quadro 7.23 do EC3-1-8 para se determinar os valores de cálculo de resistência das juntas soldadas entre os elementos diagonais de secção tubular e cordas de perfil em U no Quadro 7.24 do EC3-1-8.

No entanto, os momentos fletores secundários nas juntas, devido à sua rigidez de flexão, deverão ser considerados.

No caso de juntas com afastamento, o valor de cálculo do esforço normal resistente da secção transversal da corda, $N_{0,Rd}$, terá de considerar a transmissão do esforço transversal de uma diagonal para a outra, através da corda, desconsiderando os momentos fletores secundários. No entanto esta verificação deverá ser feita de acordo com a EN 1993-1-1 (EC3-1-8, 7.7, (1, 2 e 3)).

QUADRO 2.31 – DOMÍNIO DE VALIDADE PARA AS JUNTAS SOLDADAS ENTRE ELEMENTOS DIAGONAIS CHS OU RHS E CORDAS EM PERFIL EM U (ADAPTADO DO QUADRO 7.23 DA EC3-1-8)

Tipo de junta	Parâmetros das juntas			
	$0,5 \leq \frac{h_i}{b_i} \leq 2,0$ e $\frac{b_0}{t_0}$ da classe 1 ou 2			
	$\frac{b_i}{b_0}$	Relações geométricas		Afastamento ou sobreposição $\frac{b_i}{b_j}$
		Compressão	Tração	
K e N com g	$\geq 0,4$ e $b_0 \leq 400$ mm	Classe 1 ou 2 com $\frac{h_i}{t_i} \leq 35$	$\frac{h_i}{t_i} \leq 35$	Nota ¹⁾
K e N com q	$\geq 0,25$ e $b_0 \leq 400$ mm	$\frac{h_i}{t_i} \leq 35$ $\frac{b_i}{t_i} \leq 35$ $\frac{d_i}{t_i} \leq 50$	$\frac{b_i}{t_i} \leq 35$ $\frac{d_i}{t_i} \leq 50$	$25\% \leq \lambda_{ov} \leq \lambda_{ov,lim}$ Nota ²⁾ $\frac{b_i}{b_j} \geq 0,75$

Nota 1):

Apenas quando $\beta \leq 0,85$:

- $0,5(1 - \beta^*) \leq g/b_0^* \leq 1,5(1 - \beta^*)$ e

- $g \geq t_1 + t_2$

Em que:

- $\beta^* = b_1/b_0 - 2(t_w + r_0)$ e
- $b_0^* = b_0 - 2(t_w + r_0)$

Nota 2):

$\lambda_{ov,lim} = 60\%$ no caso de comprimento oculto da junta não estar soldado, e de 80% no caso de ter sido soldado. Se a sobreposição exceder o valor de $\lambda_{ov,lim}$, ou se as secções forem tubulares retangulares com $h_i < b_i$ e/ou $h_j < b_j$, a ligação entre as diagonais e a face da corda deverá ser verificada ao corte.

2.8.1. Valores de cálculo de resistência de juntas soldadas entre elementos diagonais RHS ou CHS e cordas em perfil em U

O Quadro 7.24 do EC3-1-8 apresenta valores de cálculo para juntas soldadas entre diagonais RHS ou CHS e cordas em perfil em U, para tal como nos quadros anteriores é necessário que a junta esteja dentro dos parâmetros do domínio de validade do Quadro 7.23.

QUADRO 2.32 – SÍNTESE DO QUADRO 7.24 DE EC3-1-8

Diagonais RHS ou CHS e cordas em perfil em U			
Tipo de junta	Tipo de rotura		Equações
K e N com afastamento	Elemento diagonal		(2.213) e (2.214)
	Corte da corda		(2.215) e (2.216)
K e N com sobreposição	Rotura do elemento diagonal	$25 \% \leq \lambda_{ov} < 50 \%$	(2.217) e (2.218)
		$50 \% \leq \lambda_{ov} < 80 \%$	(2.219) e (2.220)
		$\lambda_{ov} \geq 80 \%$	(2.221) e (2.222)

(i) Coeficientes intermédios:

$$A_v = A_0 - (1 - \alpha)b_0^*t_0 \quad (2.206)$$

$$b_0^* = b_0 - 2(t_w + r_0) \quad (2.207)$$

$$\text{RHS: } \alpha = \sqrt{\frac{1}{(1 + 4g^2/3t_f^2)}} \quad (2.208)$$

$$\text{CHS: } \alpha = 0 \quad (2.209)$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{f_{y0}A_v}{\sqrt{3}}/\gamma_{M5} \quad (2.210)$$

$$V_{Ed} = (N_{i,Ed} \text{ sen } \theta_i)_{\max} \quad (2.211)$$

$$b_{eff} = \frac{10f_{y0}t_0}{b_0^*/t_0f_{yi}t_i} b_i \text{ mas } b_{eff} \leq b_i \quad (2.212)$$

l) Juntas em K e N com afastamento:

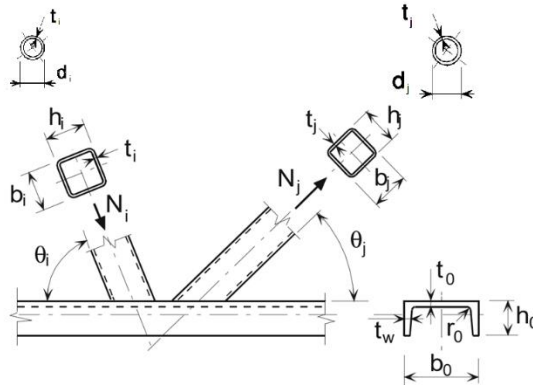


FIGURA 2.56 – JUNTA EM K COM DIAGONAIS EM RHS E CORDA DE PERFIL EM U

a) Rotura do elemento diagonal:

$$\text{RHS: } N_{i,Rd} = f_{yi}t_i(b_i + b_{eff} + 2h_i - 4t_i)/\gamma_{M5} \quad (2.213)$$

$$\text{CHS: } N_{i,Rd} = (f_{yi}t_i(d_i + b_{eff} + 2d_i - 4t_i)/\gamma_{M5}) \frac{\pi}{4} \quad (2.214)$$

b) Rotura da corda:

$$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0}A_v}{\sqrt{3}\text{sen}\theta_i}/\gamma_{M5} \quad (2.215)$$

$$N_{0,Rd} = \left[(A_0 - A_v)f_{y0} + A_vf_{y0}\sqrt{1 - (V_{Ed}/V_{pl,Rd})^2} \right] / \gamma_{M5} \quad (2.216)$$

II) Juntas em K e N com sobreposição:

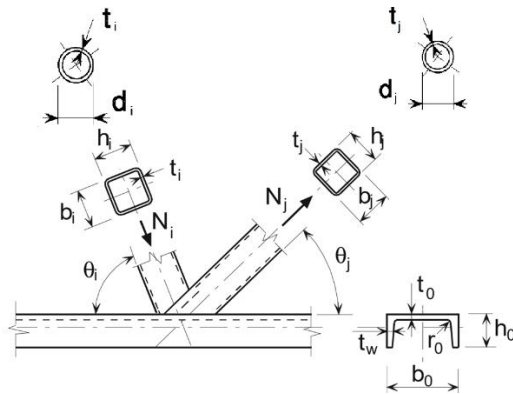


FIGURA 2.57 – JUNTA EM K COM SOBREPOSIÇÃO E DIAGONAIS EM RHS E CORDA EM PERFIL EM U

a) Rotura do elemento diagonal:

(i) $25 \% \leq \lambda_{ov} < 50 \%$

$$\text{SHS} : N_{i,Rd} = f_{yi} t_i (b_{eff} + b_{e,ov} + 2h_i \frac{\lambda_{ov}}{50} - 4t_i) / \gamma_{M5} \quad (2.217)$$

$$\text{CHS} : N_{i,Rd} = (f_{yi} t_i (b_{eff} + b_{e,ov} + 2d_i \frac{\lambda_{ov}}{50} - 4t_i) / \gamma_{M5}) \frac{\pi}{4} \quad (2.218)$$

(ii) $50 \% \leq \lambda_{ov} < 80 \%$

$$\text{SHS} : N_{i,Rd} = f_{yi} t_i (b_{eff} + b_{e,ov} + 2h_i - 4t_i) / \gamma_{M5} \quad (2.219)$$

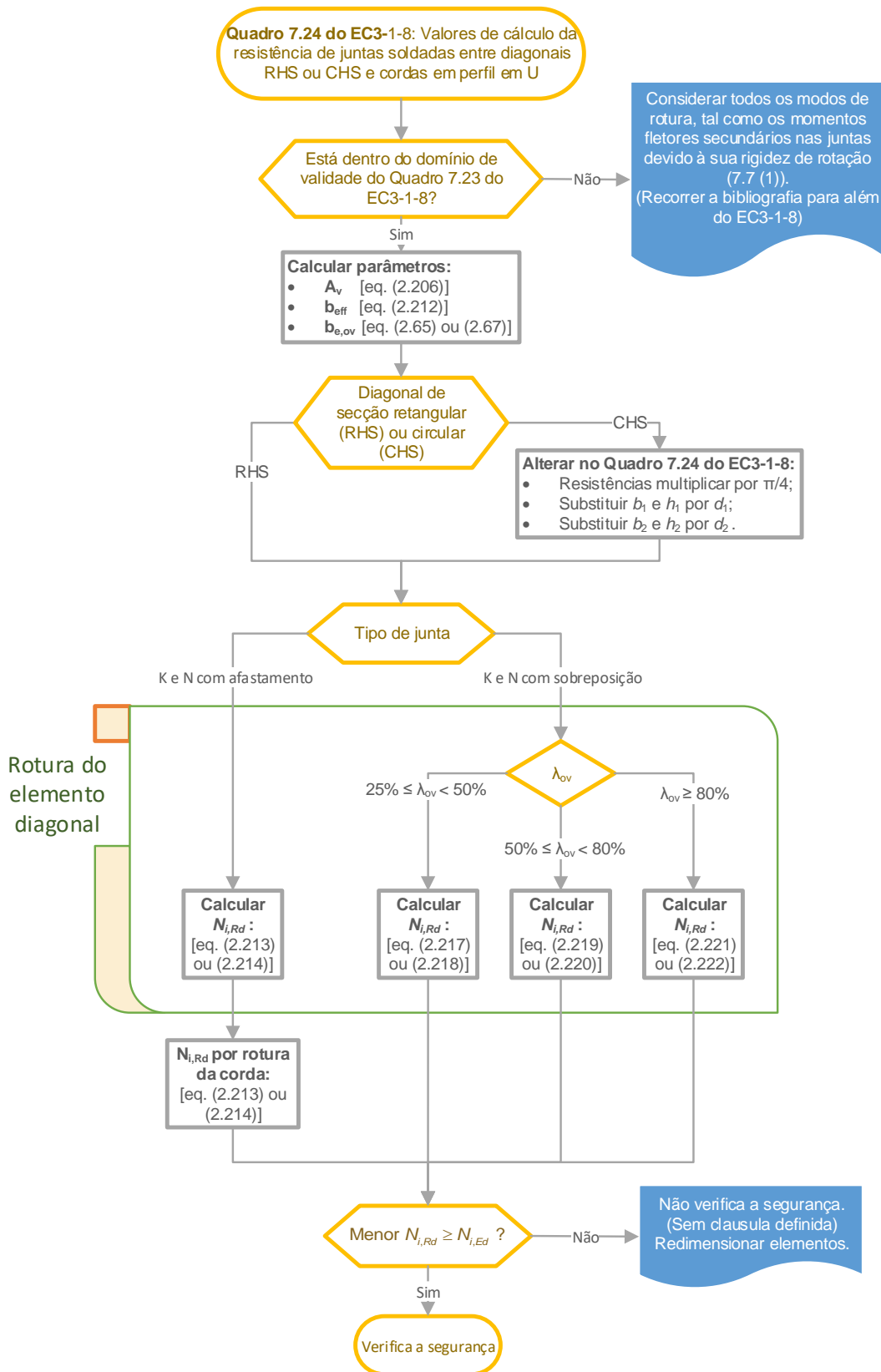
$$\text{CHS} : N_{i,Rd} = (f_{yi} t_i (b_{eff} + b_{e,ov} + 2d_i - 4t_i) / \gamma_{M5}) \frac{\pi}{4} \quad (2.220)$$

(iii) $\lambda_{ov} \geq 80 \%$

$$\text{SHS} : N_{i,Rd} = f_{yi} t_i (b_i + b_{e,ov} + 2h_i - 4t_i) / \gamma_{M5} \quad (2.221)$$

$$\text{CHS} : N_{i,Rd} = (f_{yi} t_i (d_i + b_{e,ov} + 2d_i - 4t_i) / \gamma_{M5}) \frac{\pi}{4} \quad (2.222)$$

FLUXOGRAMA 2.21 - ORGANIZAÇÃO LÓGICA E EFICIENTE UTILIZAÇÃO DO QUADRO 7.24 DA EC3-1-8



3. Programa em Excel

Foi desenvolvido um programa em Excel com elementos de VBA (“Visual Basic Applications”) que visa utilizar a informação adquirida no Capítulo 7 do EC3-1-8, para que de uma forma organizada e lógica, realize as verificações de segurança de juntas soldadas de acordo com este Eurocódigo.

Para a criação do programa foi necessário recorrer a várias bibliografias acerca da linguagem de programação em **VBA**, nomeadamente “Excel 2016 Power Programming with VBA” e “Excel VBA Programming For Dummies” [7] e [8].

O programa limita-se apenas a ligações de juntas soldadas com diagonais e cordas circulares, devido a limitações de tempo para a realização desta dissertação. Além do mais o desenvolvimento para outro tipo de perfil passa a ser repetitivo.

O programa faz uso de uma lista de perfis tubulares circulares comerciais providenciados pela “Tata Steel Europe” [9] e [10].

O utilizador do programa terá de introduzir manualmente os valores dos esforços atuantes normais, dos momentos fora e dentro do plano, como também selecionar os tipos de juntas planas e tridimensionais, como se segue:

- (i) Esforços atuantes axiais;
- (ii) Esforços de momentos dentro do plano;
- (iii) Esforços de momentos fora do plano;
- (iv) Tensões de cedência das diagonais e corda;
- (v) Classe do aço das diagonais e corda;
- (vi) Esforços atuantes de corte na corda;
- (vii) Comprimento do corte da diagonal soldada à corda: p ;
- (viii) Comprimento da sobreposição entre diagonais: q ;
- (ix) Ângulos entre diagonais e cordas no plano;
- (x) Ângulos entre diagonais fora do plano;
- (xi) Selecionar o tipo de junta plana;
- (xii) Selecionar o tipo de junta tridimensional.

De seguida o “software” em função do tipo de ligação passa por todos os quadros necessários para verificar se a junta está de acordo os limites normativos, e depois procede para a verificação de segurança, indicando igualmente a margem de segurança dos principais mecanismos de rotura que a norma prevê par a ligação em causa.

Após a verificação dos mecanismos de rotura, o programa quantifica os valores resistentes e aplica a equação (2.4) por modo ao combinar as ações axiais e momentos fora e dentro do plano, determinando se verifica a segurança das diagonais.

3.1. Elementos do programa

Os principais parâmetros da corda e das diagonais são visíveis no seguinte quadro, em que os elementos a cinzento são valores que o utilizador insere manualmente, e os restantes são automaticamente preenchida quando o utilizador escolhe as gamas das secções tubulares para as cordas e as diagonais.

QUADRO 3.1– PROGRAMA EM EXCEL: “INPUT” DE DADOS DA CORDA E DIAGONAIS

Parâmetros da corda						
Corda	Area, Ao	17.1	cm ²	N0,Ed	60	kN
	Wel,0	26.4	cm ³	M0,Ed	5	KNm
	fyo	400	N/mm ²			
	t0	8	mm	V0,Ed	15	kN
	d0	76.1	mm			
	classe	1		γ_M5	1	
Parâmetros das diagonais						
Diagonal 1	Area, A1	3.07	cm ²	N1,Ed	30	kN
	Wel,1	2.14	cm ³	Mip,1,Ed	1	KNm
	fy1	355	N/mm ²	Mop,1,Ed	0.7	KNm
	t1	3.2	mm			
	d1	33.7	mm	θ_1	45	Graus
	classe	1				
Diagonal 2	Area, A2	4.39	cm ²	N2,Ed	65	kN
	Wel,2	3.93	cm ³	Mip,2,Ed	0.99	KNm
	fy2	355	N/mm ²	Mop,2,Ed	0.7	KNm
	t2	3.6	mm			
	d2	42.4	mm	θ_2	50	Graus
	classe	1				

A lista de perfis tubulares circulares, pré-definida pertence às tabelas da “Tata Steel” [10] armazenada numa “base de dados” como mostra o quadro seguinte:

QUADRO 3.2 - PROGRAMA EM EXCEL: SELEÇÃO DOS PERFIS E AS SUAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

Perfis CHS	Section designation		Dimensions and properties										
	Outside diameter	Thickness	Mass per metre	Area of section	Ratio for local buckling	Second moment of area	Radius of gyration	Elastic modulus	Plastic modulus	Torsional constants		Surface area	
49	d	t	kg/m	A	d/t	I	i	W_{el}	W_{pl}	I_T	W_T	Per metre	Per tonne
	mm	mm		cm ²		cm ⁴	cm	cm ³	cm ³	cm ⁴	cm ³	m ²	m ²
Corda	76.1	8	13.4	17.1	9.51	101	2.42	26.4	37.3	201	52.9	0.239	17.8
Atribuir valores à Corda													
Diagonal 1	33.7	3.2	2.41	3.07	10.5	3.6	1.08	2.14	2.99	7.21	4.28	0.106	44
Atribuir valores à Diagonal 1													
Diagonal 2	42.4	3.6	3.44	4.39	11.8	8.33	1.38	3.93	5.44	16.7	7.86	0.133	38.7
Atribuir valores à Diagonal 2													

Posteriormente, a atribuição dos restantes valores inerentes à geometria e acabamento da corda e diagonais é feita nos seguintes quadros:

QUADRO 3.3 – PROGRAMA EXCEL: “INPUT” E SELEÇÃO DE CARACTERÍSTICAS DOS PERFIS CHS

Sobreposição e afastamento			
p	25	mm	
q	15	mm	
λ_{ov}	60.00	%	
g	10	mm	
θ_1	35	graus	
θ_2	45	graus	
Ângulo entre planos			
φ	70	graus	
Tipo de juntas			
Juntas Planas		Juntas tridimensionais	
X		TT	
Y		XX	
T		KK	
K ou N com afastamento		Apenas Junta plana	
K ou N com sobreposição soldada			
K ou N com sobreposição não soldada			
x	1	Apenas Junta plana	
Acabamento dos perfis			
Tipos:	Acabado a quente	Corda	Acabado a quente
	Enfornado a frio	Diagonal 1	Acabado a quente
		Diagonal 2	Acabado a quente

Os valores de ângulos ou sobreposição / afastamento das diagonais inserem-se nas células a cinzento. Os tipos de junta plana ou tridimensional tal como os acabamentos dos perfis, são atribuídos pelas listas, clicando nos botões.

Seguidamente é apresentado os quadros de resultados em Excel, adquiridos após análise dos quadros das normas:

QUADRO 3.4 – PROGRAMA EXCEL: AVALIAÇÃO DA TENSÃO DE CEDÊNCIA

Verificação geral:			
		Mpa	
Verificação da tensão de cedência - fy	Corda - f_y0	360	EN 1993-1-8 - 7.1.1 (4)
	Diagonal 1 - f_y1	355	
	Diagonal 2 - f_y2	355	

O quadro acima indicado, mostra o valor da tensão de cedência a utilizar na análise, e que depende do tipo de acabamento do perfil e da tensão de cedência inicial, conforme as clausulas 7.1.1 (4) do EC3-1-8.

O quadro seguinte faz a verificação prévia da geometria dos elementos das juntas, de modo a avaliar se esta cumpre os limites do Quadro 2.7 (Quadro 7.1 do EC3-1-8), tendo o "output" para os restantes quadros o seguinte significado:

- **“VERIFICA”**: Os dados inseridos/selecionados enquadram-se “neste” quadro, e cumpre os critérios em avaliação;
- **“NÃO VERIFICA”**: Os dados inseridos/selecionados enquadram-se “neste” quadro, mas não verificam os critérios em avaliação;
- **“(N/A)”**: Os dados inseridos/selecionados não se inserem nesta categoria em avaliação (significa: Não Aplicável).

QUADRO 3.5 - PROGRAMA EXCEL: VERIFICAÇÃO DO QUADRO 7.1 DO EC3-1-8

Domínios de validade - Quadro 7.1 da EN1993-1-8			
Diâmetros entre Corda-Diagonais		d1/d0	VERIFICA
		d2/d0	VERIFICA
Corda	TENSÃO	Geral	(N/A)
		Junta em X	NÃO VERIFICA
	COMPRESSÃO	Classe	(N/A)
		Junta em X	(N/A)
Diagonais	Tensão	d1/t1	VERIFICA
		d2/t2	VERIFICA
	Compressão	Classe D1	(N/A)
		Classe D2	(N/A)
Limites de sobreposição: λ_ov	Junta sobreposta não soldada		(N/A)
	Junta sobreposta soldada ou diagonais RHS "deitadas"		(N/A)
Afastamento entre diagonais	g		(N/A)

Os Quadros Quadro 3.6 e Quadro 3.7 seguintes apresentam a verificação das juntas de acordo com o Quadro 2.8 (Quadro 7.2 do EN3-1-8).

QUADRO 3.6 - PROGRAMA EXCEL: VERIFICAÇÃO GERAL DO QUADRO 7.2 DO EC3-1-8

Esforços normais - Quadro 7.2 da EN1993-1-8			
Rotura da face da corda	Juntas em T ou Y		(N/A)
	Juntas em X		VERIFICA
	Juntas em K ou N com afastamento ou sobreposição	Diagonal 1	(N/A)
		Diagonal 2	(N/A)
Rotura por Punçoamento	Juntas em K, N e KT com afastamento e Juntas em X, Y e T	Diagonal 1	VERIFICA
		Diagonal 2	VERIFICA

QUADRO 3.7 - PROGRAMA EXCEL: CÁLCULOS INTERMÉDIOS PARA A ROTURA DA FACE DA CORDA, DO QUADRO 7.2 DO EC3-1-8

Detalhes:			
Rotura da face da corda		Juntas em X	
γ	4.756		
β	0.443		
k_g	(N/A)		
$\sigma_{(0,Ed)}$	224481.659	kPa	Eq.: (2.1)
$N_{(p,Ed)}$	35.425	kN	Eq.: (2.3)
$\sigma_{(p,Ed)}$	210110.570	kPa	Eq.: (2.2)
n_p	5.253E-04		
k_p	1.000		Eq.: (2.6)
$N_{(1,Rd)}$	361.844	kN	Eq.: (2.7) a (2.9)
$N_{(2,Rd)}$	(N/A)	kN	Eq.: (2.7) a (2.10)
Margem de segurança: (1-N1,Ed/N1,Rd)*100%	91.709	%	
Margem de segurança: (1-N2,Ed/N2,Rd)*100%	(N/A)	%	

Como se mostra no quadro anterior e conforme o tipo de junta, determinam-se os parâmetros intermédios para calcular os esforços normais resistentes para a rotura da face da corda, indicando de seguida, a margem de segurança existente até atingir a rotura da face da corda.

Sempre que determinados parâmetros não se enquadrarem no tipo de junta, ou mesmo não exista uma segunda diagonal, as células apresentam "(N/A)".

Seguidamente são apresentados os valores resistentes normais para a rotura por punçoamento e a respetiva margem de segurança.

QUADRO 3.8 - PROGRAMA EXCEL: CÁLCULOS INTERMÉDIOS PARA A ROTURA POR PUNÇOAMENTO, DO QUADRO 7.2 DO EC3-1-8

Rotura por punçoamento				
Diametros das diagonais induzem punçoamento?	Diagonal 1 Diagonal 2	Sim (N/A)		
N (1,Rd) =		366.11	kN	Eq.: (2.11)
N (2,Rd) =		420.11	kN	
Margem de segurança: (1-N1,Ed/N1,Rd)*100%		91.806	%	
Margem de segurança: (1-N2,Ed/N2,Rd)*100%		84.52795967	%	

Os quadros seguintes apresentam os valores normais resistentes adquiridos até agora, e seleccionando os menores entre estes para cada diagonal, se demonstrando a margem de segurança existente para os valores em causa.

QUADRO 3.9 - PROGRAMA EXCEL: DETERMINAÇÃO DE ESFORÇOS AXIAIS RESISTENTES CONDICIONANTES

Comparação de valores				
Juntas em X			Menor Ni,Rd - de dimensionamento	
Tipo de Rotura		kN		kN
Face da corda	D1	361.844	N1,Rd	361.844
	D2	(N/A)	N2,Rd	(N/A)
Punçoamento	D1	366.109		
	D2	(N/A)		
Margem de segurança: (1-N1,Ed/N1,Rd)*100%			(N/A)	%
(1-N2,Ed/N2,Rd)*100%			(N/A)	%

O quadro seguinte demonstra se os momentos atuantes dentro e fora do plano estão dentro da capacidade resistente das juntas.

QUADRO 3.10 - PROGRAMA EXCEL: VERIFICAÇÃO GERAL DO QUADRO 7.5 DO EC3-1-8

Flexão - Quadro 7.5 da EN1993-1-8				
Rotura da face da corda	Dentro do plano	Juntas em X, Y e T	Diagonal 1	VERIFICA
	Fora do plano	Juntas em X, Y, T, K e N	Diagonal 1	VERIFICA
			Diagonal 2	(N/A)
Rotura por Punçoamento	Dentro do plano	Juntas em X, Y, T e K ou N com afastamento	Diagonal 1	VERIFICA
			Diagonal 2	(N/A)
	Fora do plano		Diagonal 1	VERIFICA
			Diagonal 2	(N/A)

De seguida é demonstrado em detalhe os parâmetros intermédios para chegar aos momentos resistentes dentro e fora do plano, consoante o seu mecanismo de rotura, como também as margens de segurança, se houverem, associados aos mesmos. Primeiro para o mecanismo de rotura da face da corda e de seguida, para a rotura por punçoamento.

QUADRO 3.11 - PROGRAMA EXCEL: CÁLCULOS INTERMÉDIOS PARA A VERIFICAÇÃO DA ROTURA DA FACE DA CORDA, DO QUADRO 7.2 DO EC3-1-8

Detalhes:				
Rotura da face da corda		Juntas em X		
γ		4.756		
β		0.443		
k_g		(N/A)		Eq.: (2.5)
$\sigma_{(0,Ed)}$		224481.659	kPa	Eq.: (2.1)
$N_{(p,Ed)}$		35.425	kN	Eq.: (2.3)
$\sigma_{(p,Ed)}$		210110.570	kPa	Eq.: (2.2)
n_p		5.253E-04		
k_p		1.000		
$M_{(ip,1,Rd)}$		7.045	kNm	Eq.: (2.38)
$M_{(op,1,Rd)}$		6.333	kNm	Eq.: (2.39)
$M_{(op,2,Rd)}$		(N/A)	kNm	
Margem de segurança: (1- $M_{ip,1,Ed}/M_{ip,1,Rd}$)*100%		85.806	%	
Margem de segurança: (1- $M_{op,1,Ed}/M_{op,1,Rd}$)*100%		88.94604801	%	
Margem de segurança: (1- $M_{op,2,Ed}/M_{op,2,Rd}$)*100%		(N/A)	%	

QUADRO 3.12 - PROGRAMA EXCEL: CÁLCULOS INTERMÉDIOS PARA A VERIFICAÇÃO DA ROTURA POR PUNÇOAMENTO, DO QUADRO 7.2 DO EC3-1-8

Rotura por punçoamento		Juntas em X		
Diametros das diagonais induzem punçoamento?	Diagonal 1 Diagonal 2	Sim Sim		
M _(ip,1,Rd)		4.841800357	kNm	Eq.: (2.41)
M _(ip,2,Rd)		(N/A)	kNm	
M _(op,1,Rd)		7.209162698	kNm	Eq.: (2.42)
M _(op,2,Rd)		(N/A)	kNm	
Margem de segurança: (1-M _{ip,1,Ed} /M _{ip,1,Rd})*100%		79.34652554	%	
Margem de segurança: (1-M _{ip,2,Ed} /M _{ip,2,Rd})*100%		(N/A)	%	
Margem de segurança: (1-M _{op,1,Ed} /M _{op,1,Rd})*100%		90.29013452	%	
Margem de segurança: (1-M _{op,2,Ed} /M _{op,2,Rd})*100%		(N/A)	%	

O quadro seguinte analisa a validade da junta tridimensional consoante o EC3-1-8, testando o ângulo ϕ existente entre as diagonais, e outras particularidades no caso de cada junta tridimensional. No caso da junta tridimensional, é determinado o fator de redução μ .

QUADRO 3.13 - PROGRAMA EXCEL: ANÁLISE DE JUNTA TRIDIMENSIONAL DE ACORDO COMO QUADRO 7.7 DO EC3-1-8

Juntas tridimensionais - Quadro 7.7 da EN1993-1-8				
Apenas Junta plana				
	ϕ	70	Graus	
Junta tridimensional	Ângulo entre planos (ϕ)	TT	(N/A)	
		XX	(N/A)	
		KK	(N/A)	
	Plastificação axial e transversa	KK	(N/A)	
		Coeficiente de redução (μ)	TT	(N/A)
			XX	(N/A)
KK	(N/A)			

O quadro seguinte faz uma verificação de validação do quadro anterior, para juntas tridimensionais do tipo XX e KK.

QUADRO 3.14 - PROGRAMA EXCEL: CÁLCULOS INTERMÉDIOS PARA A VERIFICAÇÃO DA JUNTA TRIDIMENSIONAL, DO QUADRO 7.7 DO EC3-1-8

Detalhes:			
Junta tridimensional em XX			
N_(2,Ed)	(N/A)	kN	Eq.: (2.61)
N_(1,Ed)	(N/A)	kN	
Junta tridimensional em KK			
Av	(N/A)	m^2	Eq.: (2.62)
N_pl,0,Rd	(N/A)	kN	
V_pl,0,Rd	(N/A)	kN	
$\left[\frac{N_{0,Ed}}{N_{pl,0,Rd}} \right]^2 + \left[\frac{V_{0,Ed}}{V_{pl,0,Rd}} \right]^2 \leq 1,0$		(=)	(N/A) <OU= 1.0

Finalmente, o seguinte quadro, indica a combinação dos valores até agora obtidos necessários para verificar a segurança da junta como um todo.

QUADRO 3.15 - PROGRAMA EXCEL: VERIFICAÇÃO DA COMBINAÇÃO DE AÇÕES PARA JUNTAS PLANAS E TRIDIMENSIONAIS PELO EC3-1-8

Combinação de ações - 7.4.2 da EN1993-1-8					
Juntas planas:			Juntas em X		
$\frac{N_{i,Ed}}{N_{i,Rd}} + \left[\frac{M_{ip,i,Ed}}{M_{ip,i,Rd}} \right]^2 + \frac{ M_{op,i,Ed} }{M_{op,i,Rd}} \leq 1,0$			Eq.: (2.4)		
Diagonal 1 =	0.222663857	< ou = 1.0	Ações e Perfis CHS verificam a segurança		
Diagonal 2 =	(N/A)	< ou = 1.0			
Juntas tridimensionais do tipo:			Apenas Junta plana		
μ determinado:	0	< OU = 1.0	μ utilizado:	0	
$\frac{N_{i,Ed}}{N_{i,Rd} * \mu} + \left[\frac{M_{ip,i,Ed}}{M_{ip,i,Rd} * \mu} \right]^2 + \frac{ M_{op,i,Ed} }{M_{op,i,Rd} * \mu} \leq 1,0$			Eq.: (2.4) com μ		
Junta tridimensional (1º Plano de junta plana)					
Diagonal 1 =	(N/A)	< ou = 1.0	(N/A)		
Diagonal 2 =	(N/A)	< ou = 1.0	(N/A)		

Caso não exista junta tridimensional, a célula irá apresentar “(N/A)”, caso exista e verifique a segurança irá apresentar “Ações e Perfis CHS verificam a segurança”, se não verificar irá apresentar “Ações e Perfis CHS não verificam a segurança”.

3.2. Análise comparativa

3.2.1. Exemplo 1

Para a verificação do programa utilizou-se um problema previamente resolvido do livro “*Hollow Sections in Structural Applications*” [11] emitido pelo CIDECT, onde uma estrutura treliçada com cordas e diagonais de perfil de secção tubular circular (CHS) está sujeita a cargas pontuais nos nós, neste caso, como é visível na figura seguinte:

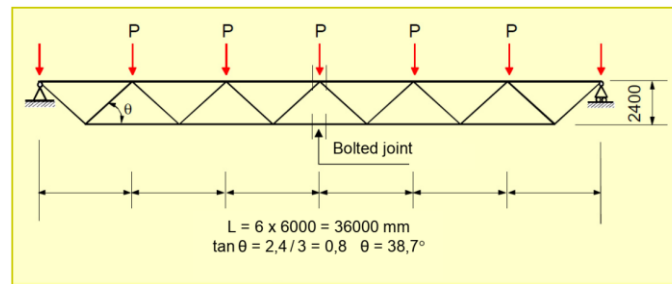


FIGURA 3.1 – ESTRUTURA TRELIÇADA, ADAPTADO DE [11]

A seguinte figura mostra a distribuição de esforços axiais na estrutura em estudo, sendo que a corda superior tem uma compressão máxima de 1148 kN, e a inferior uma tração máxima de 1215 kN, com uma carga pontual em cada nó da corda superior, afastado de 6m cada.

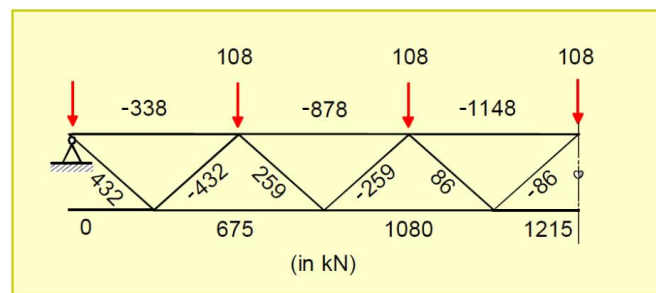


FIGURA 3.2 – AÇÕES AXIAIS ATUANTES NA ESTRUTURA, ADAPTADO DE [11]

A figura que se segue mostra a numeração dos nós, neste caso das juntas soldadas, juntamente com as características geométricas dos perfis tubulares circulares utilizados, em milímetros.

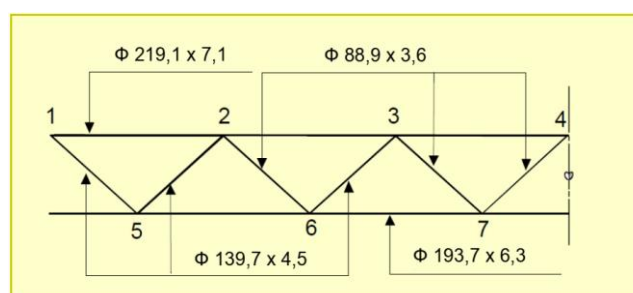


FIGURA 3.3 – NUMERAÇÃO DAS JUNTAS E PERFIS CHS UTILIZADOS, ADAPTADO DE [11]

O nó em estudo será o nó 2, que corresponde a uma junta em tipo K com as seguintes características geométricas:

- **Corda:** 219.1 mm de diâmetro (d_0) e 7.1 mm de espessura (t_0);
- **Diagonal 1:** 139.7 mm de diâmetro (d_1) e 4.5 mm de espessura (t_1);
- **Diagonal 2:** 88.9 mm de diâmetro (d_2) e 3.6 de espessura (t_2).

As características mecânicas são as seguintes:

- **Corda:** tensão de cedência de 355 MPa, e de classe de aço 1;
- **Diagonal 1 e 2:** tensão de cedência de 275 MPa, e de classe de aço 1;

As ações atuantes na corda são de compressão, de 338 kN e 878 kN. Devido às características geométricas dos perfis das diagonais, como também ao afastamento utilizado entre estas, uma excentricidade é criada, o que faz com que as distribuições de esforços, da corda para as diagonais, terão de ser acompanhadas por um momento, como a figura seguinte demonstra.

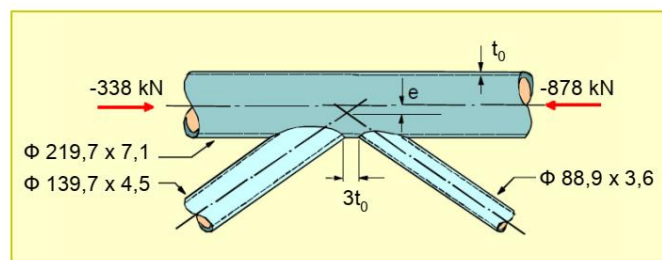


FIGURA 3. 4 – JUNTA 2, REPRESENTAÇÃO DOS ESFORÇOS AXIAIS NA CORDA E PORMENORES GEOMÉTRICOS, ADAPTADO DE [11]

$$M_{0,Ed} = (878 \text{ kN} - 338 \text{ kN}) \times \text{excentricidade}$$

A excentricidade, “e”, têm o valor de 28mm, logo o momento têm o valor de:

$$M_{0,Ed} = (878 \text{ kN} - 338 \text{ kN}) \times 28 \times 10^{-3} \text{ m} = 15.12 \text{ kNm}$$

Uma vez que o comprimento e a rigidez EI da corda superior entre as juntas 1-2 e 2-3 é o mesmo, o momento poderá ser redistribuído, conforme a seguinte figura.

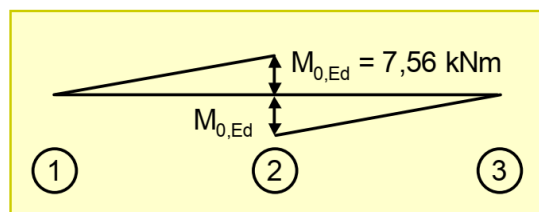


FIGURA 3. 5 – REDISTRIBUIÇÃO DE MOMENTOS NA JUNTA 2, ADAPTADO DE [11]

Deste modo, o momento na corda será $M_{0,Ed} = 7.56 \text{ kNm}$.

No nó 2, na figura seguinte, verifica-se o equilíbrio de esforços axiais atuantes. De acordo com este livro, a compressão é negativa e a tração é positiva, critério oposto ao do EC3-1-8, no qual a compressão é positiva e a tração negativa.

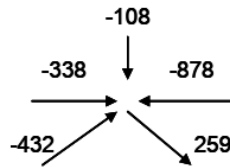


FIGURA 3.6 – DISTRIBUIÇÃO DE AÇÕES ATUANTES NA JUNTA 2, ADAPTADO DE [11]

Utilizando o programa criado em Excel, começa-se por definir as características geométricas, mecânicas e esforços atuantes como mostra o Quadro 3. 16.

QUADRO 3. 16– RESOLUÇÃO DA JUNTA 2: INSERÇÃO DE DADOS

Parâmetros da corda						
Corda	Area, A _o	47.3	cm ²	N _{0,Ed}	878	kN
	W _{el,0}	243	cm ³	M _{0,Ed}	7.56	KNm
	f _{yo}	355	N/mm ²			
	t ₀	7.1	mm	V _{0,Ed}	0	kN
	d ₀	219.1	mm			
	classe	1		γ _{M5}	1	
Parâmetros das diagonais						
Diagonal 1	Area, A ₁	19.1	cm ²	N _{1,Ed}	432	kN
	W _{el,1}	62.6	cm ³	M _{ip,1,Ed}	0	KNm
	f _{y1}	275	N/mm ²	M _{op,1,Ed}	0	KNm
	t ₁	4.5	mm			
	d ₁	139.7	mm	θ ₁	38.7	Graus
	classe	1				
Diagonal 2	Area, A ₂	9.65	cm ²	N _{2,Ed}	-259	kN
	W _{el,2}	19.8	cm ³	M _{ip,2,Ed}	0	KNm
	f _{y2}	275	N/mm ²	M _{op,2,Ed}	0	KNm
	t ₂	3.6	mm			
	d ₂	88.9	mm	θ ₂	38.7	Graus
	classe	1				

Uma vez que a junta é do tipo K (veja-se a Figura 2.8 do parágrafo 2.4.1.1), as forças à compressão na corda e diagonais serão introduzidos como positivas e as de tração como negativas.

Também aqui se inserem momentos atuantes dentro e fora do plano, que poderão existir, tal como tensões de cedência de cada elemento e a respetiva classe de aço.

QUADRO 3. 17 – RESOLUÇÃO DA JUNTA 2: CONTINUAÇÃO DA INSERÇÃO DE DADOS

Sobreposição e afastamento			
p	0	mm	
q	0	mm	
λ_{ov}	0.00	%	
g	21.3	mm	
θ_1	38.7	graus	
θ_2	38.7	graus	
Ângulo entre planos			
φ	0	graus	
Tipo de juntas			
Juntas Planas		Juntas tridimensionais	
X		TT	
Y		XX	
T		KK	
K ou N com afastamento		Apenas Junta plana	
K ou N com sobreposição soldada			
K ou N com sobreposição não soldada			
K ou N com afastamento		Apenas Junta plana	
Acabamento dos perfis			
Tipos:	Acabado a quente	Corda	Acabado a quente
	Enformado a frio	Diagonal 1	Acabado a quente
		Diagonal 2	Acabado a quente

Como não existe sobreposição nesta junta, os parâmetros **p** e **q** são nulos. O afastamento **g** corresponde ao valor de $3 \times t_0 = 21.3mm$, os ângulos entre diagonais e corda **θ** de 38.7 graus. O ângulo entre planos para juntas tridimensional **φ** é nulo, por este exercício não contemplar uma junta tridimensional como é visível nos botões de seleção “pop-up” para o tipo de junta. Também por botões é selecionado o tipo de acabamento do perfil.

QUADRO 3. 18 : RESULTADOS OBTIDOS PARA JUNTA K – PARTE 1

Resultados				
Verificação geral:				
Verificação da tensão de cedência - fy	Corda - f_y0	Mpa	355	EN 1993-1-8 - 7.1.1 (4)
	Diagonal 1 - f_y1		275	
	Diagonal 2 - f_y2		275	
Domínios de validade - Quadro 7.1 da EN1993-1-8				
Diâmetros entre Corda-Diagonais	d1/d0		VERIFICA	
	d2/d0		VERIFICA	
Corda	Tensão	Geral	(N/A)	
		Junta em X	(N/A)	
	Compressão	Classe	VERIFICA	
		Junta em X	(N/A)	
Diagonais	Tensão	d1/t1	(N/A)	
		d2/t2	VERIFICA	
	Compressão	Classe D1	VERIFICA	
		Classe D2	(N/A)	
Limites de sobreposição: λ_{ov}	Junta sobreposta não soldada		(N/A)	
	Junta sobreposta soldada ou diagonais RHS "deitadas"		(N/A)	
Afastamento entre diagonais	g		VERIFICA	
Esforços normais - Quadro 7.2 da EN1993-1-8				
Rotura da face da corda	Juntas em T ou Y		(N/A)	
	Juntas em X		(N/A)	
	Juntas em K ou N com afastamento ou sobreposição	Diagonal 1	VERIFICA	
		Diagonal 2	VERIFICA	
Rotura por Punçamento	Juntas em K, N e KT com afastamento e Juntas em X, Y e T	Diagonal 1	VERIFICA	
		Diagonal 2	VERIFICA	

Para a junta K em estudo verifica-se o seguinte:

- (i) As tensões de cedência não excedem os limites do parágrafo 2.1 e não necessitam ser reduzidas por um coeficiente de 0.9.
- (ii) Do Quadro 2.7 (Quadro 7.1 do EC3-1-8), Domínios de validade, constata-se que se cumprem:
 - a. A relação de diâmetros entre diagonais e corda;
 - b. Os critérios gerais da corda à compressão e classe do aço;
 - c. A diagonal 1, à compressão verifica a classe de aço, e a diagonal 2, à tração, verifica a relação diâmetro/espessura como é requerido pelo Quadro;
 - d. O afastamento entre diagonais g .
- (iii) Para esforços normais Quadro 2.8 (Quadro 7.2 do EC3-1-8):
 - a. A diagonal 1 e 2, para a junta do tipo K com afastamento, verifica à rotura da face da corda (Quadro 2.1), ou seja, os esforços axiais resistentes são superiores aos atuantes, garantindo que as diagonais não irão romper pela face da corda;
 - b. A diagonal 1 e 2, também verificam à rotura por punçoamento (Quadro 2.4), ou seja, as diagonais não irão romper por este mecanismo de rotura.

QUADRO 3.19 – RESULTADOS OBTIDOS PARA A JUNTA K – PARTE 2

Detalhes:			
Rotura da face da corda		Juntas em K ou N com afastamento ou sobreposição	
γ		15.430	
β		0.522	
k_g		2.235	
$\sigma_{(0,Ed)}$		216.735	MPa Eq.: (2.1)
$N_{(p,Ed)}$		338.723	kN Eq.: (2.3)
$\sigma_{(p,Ed)}$		102.723	MPa Eq.: (2.2)
n_p		0.289	
k_p		0.888	Eq.: (2.6)
$N_{(1,Rd)}$		471.682	kN Eq.: (2.7) a (2.9)
$N_{(2,Rd)}$		471.682	kN Eq.: (2.7) a (2.10)
Margem de segurança: (1- $N_{1,Ed}/N_{1,Rd}$)*100%		8.413	%
Margem de segurança: (1- $N_{2,Ed}/N_{2,Rd}$)*100%		45.090	%
Rotura por punçamento			
Diametros das diagonais induzem punçamento?		Diagonal 1	Sim
		Diagonal 2	Sim
$N_{(1,Rd)} =$		1327.59	kN Eq.: (2.11)
$N_{(2,Rd)} =$		844.83	kN
Margem de segurança: (1- $N_{1,Ed}/N_{1,Rd}$)*100%		67.460	%
Margem de segurança: (1- $N_{2,Ed}/N_{2,Rd}$)*100%		69.343	%
Comparação de valores			
Juntas em K ou N com afastamento ou sobreposição		Menor $N_{i,Rd}$ - de dimensionamento	
Tipo de Rotura			kN
Face da corda	D1	471.682	$N_{1,Rd}$ 471.682
	D2	471.682	$N_{2,Rd}$ 471.682
Punçamento	D1	1327.588	
	D2	844.829	
Margem de segurança: (1- $N_{1,Ed}/N_{1,Rd}$)*100%		8.413	%
(1- $N_{2,Ed}/N_{2,Rd}$)*100%		45.090	%

Compara-se agora os valores obtidos no programa com os resultados do exemplo resolvido no livro "Hollow Sections in Structural applications" (CIDECT) [11] para esforços normais:

(i) Os resultados do exemplo resolvido do livro são:

- a. Parâmetro k_g (que no livro é $f(y, g')$) é de 2.24;
- b. Parâmetro n_p (que no livro é n') é de 0.20;
- c. Parâmetro k_p (que no livro é $f(n')$) é de 0.93;
- d. Valor de $N_{1, Rd}$ (que no livro é N_1^*), para a diagonal 1, à rotura da face da corda, é de 496.5 kN;
- e. Valor de $N_{2, Rd}$ (que no livro é N_2^*), para a diagonal 2, à rotura por punçoamento é de 844.8 kN.

O que se constata é o que os valores de n_p , k_p e o valor axial resistente ao mecanismo de rotura da face da corda, $N_{1, Rd}$, apresentam diferenças, sendo os restantes iguais.

A diferença consiste no facto de que ao se calcular o parâmetro n_p e a equação (2.2),

- $\sigma_{p,Ed} = \frac{N_{p,Ed}}{A_0} + \frac{M_{0,Ed}}{W_{el,0}} (\leq f_{y0})$ e
- $n_p = \left(\frac{\sigma_{p,Ed}}{f_{y0}} \right) / \gamma_{M5}$,

Se prova que no exemplo não foi tido em conta o momento atuante na corda, e subsequentemente a relação $\frac{M_{0,Ed}}{W_{el,0}}$ de $\sigma_{p,Ed}$ vir diferente Deste modo ao considerar o momento atuante o valor de $N_{1, Rd}$, para a rotura da face da corda será, como calculado pelo programa, inferior, e de 471.8kN, estando deste modo do lado da segurança.

O cálculo nas tabelas seguintes refere-se à determinação do momento devido à excentricidade da ligação que não fora tido em conta no exemplo do livro.

QUADRO 3. 20 - RESULTADOS OBTIDOS PARA A JUNTA K – PARTE 3

Flexão - Quadro 7.5 da EN1993-1-8				
Rotura da face da corda	Dentro do plano	Juntas em X, Y e T	Diagonal 1	(N/A)
	Fora do plano	Juntas em X, Y, T, K e N	Diagonal 1	VERIFICA
			Diagonal 2	VERIFICA
Rotura por Punçoamento	Dentro do plano	Juntas em X, Y, T e K ou N com afastamento	Diagonal 1	VERIFICA
			Diagonal 2	VERIFICA
	Fora do plano		Diagonal 1	VERIFICA
			Diagonal 2	VERIFICA

QUADRO 3. 21 - RESULTADOS OBTIDOS PARA A JUNTA K – PARTE 4

Detalhes:				
Rotura da face da corda		Juntas em K ou N com afastamento ou sobreposição		
γ		15.430		
β		0.522		
k_g		2.235		Eq.: (2.5)
$\sigma_{(0,Ed)}$		216.735	MPa	Eq.: (2.1)
$N_{(p,Ed)}$		338.723	kN	Eq.: (2.3)
$\sigma_{(p,Ed)}$		102.723	MPa	Eq.: (2.2)
n_p		0.289		
k_p		0.8881		
$M_{(ip,1,Rd)}$		(N/A)	kNm	Eq.: (2.38)
$M_{(op,1,Rd)}$		18.696	kNm	Eq.: (2.39)
$M_{(op,2,Rd)}$		11.897	kNm	

QUADRO 3. 22- - RESULTADOS OBTIDOS PARA A JUNTA K – PARTE 5

Rotura por punçoamento		Juntas em K ou N com afastamento ou sobreposição		
Diametros das diagonais induzem punçoamento?	Diagonal 1	Sim		
	Diagonal 2	Sim		
$M_{(ip,1,Rd)}$		62.467	kNm	Eq.: (2.41)
$M_{(ip,2,Rd)}$		25.296	kNm	
$M_{(op,1,Rd)}$		96.556	kNm	Eq.: (2.42)
$M_{(op,2,Rd)}$		39.101	kNm	

QUADRO 3. 23 - RESULTADOS OBTIDOS PARA A JUNTA K – PARTE 6

Combinação de ações - 7.4.2 da EN1993-1-8			
Juntas planas:		Juntas em K ou N com afastamento ou sobreposição	
$\frac{N_{i,Ed}}{N_{i,Rd}} + \left[\frac{M_{ip,i,Ed}}{M_{ip,i,Rd}} \right]^2 + \frac{M_{op,i,Ed}}{M_{op,i,Rd}} \leq 1,0$		Eq.: (2.4)	
Diagonal 1 =	0.915872245	< ou = 1.0	Ações e Perfis CHS verificam a segurança
Diagonal 2 =	0.549099332	< ou = 1.0	Ações e Perfis CHS verificam a segurança

Após a combinação dos valores reduzidos das ações atuantes, como mostra a equação (2.4) no Quadro 3. 23, constata-se que ambas as diagonais 1 e 2 verificam a equação, pelo que a junta é segura de acordo com o EC3-1-8.

3.2.2. Exemplo 2

O seguinte exemplo é baseado na verificação à segurança de uma junta em Y resolvida pelo método do EC3-1-8, da dissertação “Juntas entre Perfis Tubulares de Aço” [12].

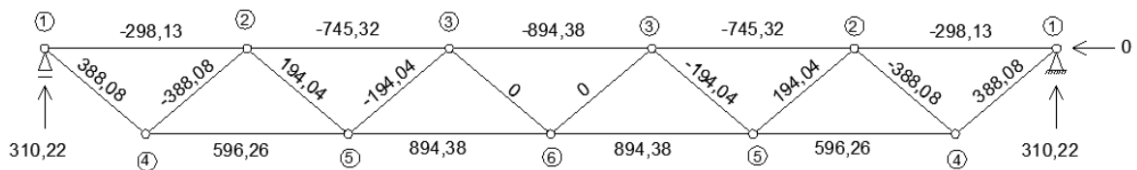


FIGURA 3.7 – ESTRUTURA TRELIÇADA, COM AS AÇÕES AXIAIS EM kN [12]

Em estudo estará o nó 1, uma junta com corda e diagonal tubular circular com as seguintes características:

- **Corda superior:** 139.7mm de diâmetro e 6.3mm de espessura;
- **Diagonais:** 101.6mm de diâmetro e 4.0 mm de espessura;
- **Cordas e diagonais:** tensão de cedência de 355 Mpa.

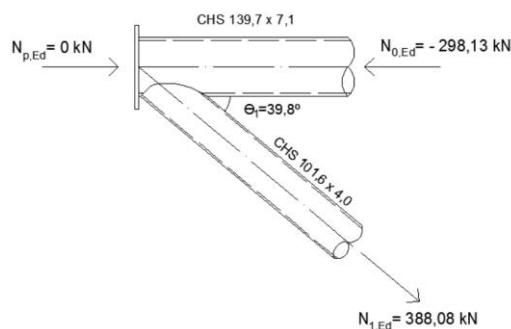


FIGURA 3. 8 – JUNTA 1 – PORMENORES [12]

Resolvendo pelo EC3-1-8, em primeiro lugar, é necessário verificar o domínio de validade da junta, recorrendo ao Quadro 2.7 (Quadro 7.1 do EC3-1-8).

QUADRO 3.24 – VERIFICAÇÃO DO DOMÍNIO DE VALIDADE PELO QUADRO 7.1 DO EC3-1-8

Domínios de validade		Junta	Verificação	
Relação entre diâmetros		$0,2 \leq d_i/d_0 \leq 1,0$	$d_i/d_0 = \frac{101,6}{139,7} = 0,73$	Verifica
Corda	compressão	Classe 1 ou 2	Classe 1	Verifica
		$10 \leq d_0/t_0 \leq 50$	$d_0/t_0 = \frac{139,7}{7,1} = 19,7$	Verifica
Diagonal	tensão	$d_i/t_i \leq 50$	$d_i/t_i = \frac{106,1}{4,0} = 25,4$	Verifica

(1º) Da equação (2.3), (2.2) e (2.6) temos:

- $N_{p,Ed} = N_{0,Ed} - \sum_{i>0} N_{i,Ed} \cos \theta_i = 298,13 \text{ kN} - 388,08 \text{ kN} * \cos(39,8^\circ) \cong 0 \text{ kN}$
- $\sigma_{p,Ed} = \frac{N_{p,Ed}}{A_0} + \frac{M_{0,Ed}}{W_{el,0}} = \frac{0 \text{ kN}}{A_0} + \frac{0 \text{ kNm}}{W_{el,0}} = 0 \text{ Mpa}$
- $k_p = 1$

(2º) Da equação (2.7) para a verificação da rotura da face da corda:

- $N_{1,Rd} = \frac{\gamma^{0,2} k_p f_{y0} t_0^2 (2,8 + 14,2\beta^2)}{\text{sen}\theta_1}$
- $N_{1,Rd} = \frac{\left(\frac{139,7}{2 \times 7,1}\right)^{0,2} \times 1 \times 355 \times 10^3 \times (7,1 \times 10^{-3})^2 (2,8 + 14,2 \left(\frac{101,6}{139,7}\right)^2)}{\text{sen}(39,8^\circ)} = 455,37 \text{ kN}$
- $N_{1,Rd} = 455,37 \text{ kN} > N_{1,Ed} = 388,08 \text{ kN} \therefore \text{verifica a segurança}$

(3º) Da equação (2.11), para a verificação da rotura por punçamento:

- $d_i \leq d_0 - 2t_0 \Leftrightarrow$
- $101,6 \text{ mm} \leq 139,7 \text{ mm} - 2 \times 7,1 \text{ mm} \Leftrightarrow$
- $101,6 \text{ mm} \leq 125,5 \text{ mm} \therefore \text{logo poderá haver punçamento}$
- $N_{1,Rd} = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} t_0 \pi d_1 \frac{1 + \text{sen}\theta_1}{2 \text{sen}^2\theta_1} / \gamma_{M5}$

- $N_{1,Rd} = \frac{355 \times 10^3}{\sqrt{3}} \times 7.1 \times 10^{-3} \times \pi \times 101,6 \times 10^{-3} \times \frac{1 + \text{sen}(39,8^\circ)}{2 \times \text{sen}^2(39,8^\circ)} / 1$
- $N_{1,Rd} = 929,62 \text{ kN} > N_{1,Ed} = 388,08 \text{ kN} \therefore \text{verifica a segurança}$

(4º) Confirmação dos resultados pelo programa:

QUADRO 3. 25 – RESULTADOS DO EXEMPLO 2 – PARTE 1

Parâmetros da corda						
Corda	Area, Ao	29.6	cm ²	N0,Ed	298.13	kN
	Wel,0	93.3	cm ³	M0,Ed	0	KNm
	fyo	355	N/mm ²			
	t0	7.1	mm	V0,Ed	0	kN
	d0	139.7	mm			
	classe	1		γ_M5	1	
Parâmetros das diagonais						
Diagonal 1	Area, A1	12.3	cm ²	N1,Ed	-388.08	kN
	Wel,1	28.8	cm ³	Mip,1,Ed	0	KNm
	fy1	355	N/mm ²	Mop,1,Ed	0	KNm
	t1	4	mm			
	d1	101.6	mm	θ_1	39.8	Graus
	classe	1				
Diagonal 2	Area, A2	12.3	cm ²	N2,Ed	0	kN
	Wel,2	28.8	cm ³	Mip,2,Ed	0	KNm
	fy2	355	N/mm ²	Mop,2,Ed	0	KNm
	t2	4	mm			
	d2	101.6	mm	θ_2	0	Graus
	classe	1				

QUADRO 3. 26 – RESULTADOS DO EXEMPLO 2 – PARTE 2

Tipo de juntas		
Juntas Planas	Juntas tridimensionais	
X	TT	
Y	XX	
T	KK	
K ou N com afastamento	Apenas Junta plana	
K ou N com sobreposição soldada		
K ou N com sobreposição não soldada		
Y	Apenas Junta plana	
Acabamento dos perfis		
Tipos:	Corda	Acabado a quente
	Diagonal 1	Acabado a quente
	Diagonal 2	Acabado a quente

É possível visualizar nos Quadros Quadro 3. 27 e Quadro 3. 28 que se confirmam os resultados do cálculo manual com os do cálculo automático

QUADRO 3. 27 – RESULTADOS DO EXEMPLO 2 – PARTE 3

Dominios de validade - Quadro 7.1 da EN1993-1-8			
Diâmetros entre Corda-Diagonais		d1/d0	VERIFICA (N/A)
		d2/d0	
Corda	Tensão	Geral	(N/A)
		Junta em X	(N/A)
	Compressão	Classe	VERIFICA
		Junta em X	VERIFICA (N/A)
Diagonais	Tensão	d1/t1	VERIFICA (N/A)
		d2/t2	
	Compressão	Classe D1	(N/A)
		Classe D2	(N/A)
Limites de sobreposição: λ_{ov}	Junta sobreposta não soldada		(N/A)
	Junta sobreposta soldada ou diagonais RHS "deitadas"		(N/A)
Afastamento entre diagonais	g		(N/A)

QUADRO 3. 28 – RESULTADOS DO EXEMPLO 2 – PARTE 4

Esforços normais - Quadro 7.2 da EN1993-1-8			
Rotura da face da corda	Juntas em T ou Y		VERIFICA
	Juntas em X		(N/A)
	Juntas em K ou N com afastamento ou sobreposição	Diagonal 1	(N/A)
		Diagonal 2	(N/A)
Rotura por Punçoamento	Juntas em K, N e KT com afastamento e Juntas em X, Y e T	Diagonal 1	VERIFICA
		Diagonal 2	(N/A)

QUADRO 3. 29 – RESULTADOS DO EXEMPLO 2 – PARTE 5

Detalhes:			
Rotura da face da corda		Juntas em T ou Y	
γ		9.838	
β		0.727	
k_g		(N/A)	
$\sigma_{(0,Ed)}$		100.720	MPa Eq.: (2.1)
$N_{(p,Ed)}$		-0.025	kN Eq.: (2.3)
$\sigma_{(p,Ed)}$		-0.009	MPa Eq.: (2.2)
n_p		0.000	
k_p		1.000	Eq.: (2.6)
$N_{(1,Rd)}$		455.368	kN Eq.: (2.7) a (2.9)
$N_{(2,Rd)}$		(N/A)	kN Eq.: (2.7) a (2.10)
Margem de segurança: (1-N1,Ed/N1,Rd)*100%		14.777	%
Margem de segurança: (1-N2,Ed/N2,Rd)*100%		(N/A)	%
Rotura por punçoamento			
Diametros das diagonais induzem punçoamento?		Diagonal 1 Diagonal 2	
		Sim (N/A)	
$N_{(1,Rd)} =$		929.62	kN Eq.: (2.11)
$N_{(2,Rd)} =$		929.62	kN
Margem de segurança: (1-N1,Ed/N1,Rd)*100%		58.254	%
Margem de segurança: (1-N2,Ed/N2,Rd)*100%		(N/A)	%
Comparação de valores			
Juntas em T ou Y		Menor Ni,Rd - de dimensionamento	
Tipo de Rotura		kN	
Face da corda	D1	455.368	N1,Rd 455.368
	D2	(N/A)	
Punçoamento	D1	929.616	N2,Rd (N/A)
	D2	(N/A)	
Margem de segurança: (1-N1,Ed/N1,Rd)*100%		14.777	%
(1-N2,Ed/N2,Rd)*100%		(N/A)	%

O quadro anterior mostra os valores resistentes obtidos, para os dois modos de rotura, e que são iguais dos da resolução manual, ou seja:

- **Para a rotura da face da corda:** $N_{1,Rd} = 455,368 \text{ kN}$
- **Para a rotura por punçoamento:** $N_{1,Rd} = 929,62 \text{ kN}$

Destes valores o programa escolherá o menor (o condicionante) que é o do mecanismo de rotura da face da corda. Também nesse quadro, parte inferior se verifica que a margem de segurança é de cerca de 14,8%, ou seja, a junta tem uma utilização de cerca de 85,2% da sua capacidade resistente.

4. Conclusão e desenvolvimentos futuros

4.1. Conclusão

A presente dissertação visa, antes de tudo, o estudo do capítulo 7 da EN 1993-1-8, a verificação de segurança de juntas soldadas tubulares, onde é exposto os diferentes tipos de juntas analisadas pela norma, os diferentes mecanismos de rotura que podem ocorrer, e as limitações de utilizar a norma.

A não verificação de domínios de validade, impossibilita a verificação de segurança pela norma, obrigando o utilizador a fazer a os estudos de todos os mecanismos de rotura com recurso a bibliografia especializada fora da norma.

A norma reduz deste modo, o número de verificações necessárias, restringindo o número de mecanismos de rotura possíveis, mas também a variabilidade de juntas possíveis, e as ações nestas aplicadas. Para juntas que não se enquadrem na norma, o ideal será a criação de um modelo da junta com recurso a elementos finitos de “casca” por modo a verificar a distribuição de esforços internos, facilitando a análise dos vários mecanismos de rotura.

Ao longo do estudo do capítulo 7 do EN 1993-1-8 verificou-se que existe alguma complexidade na utilização dos quadros para a verificação das juntas soldadas tubulares. A grande quantidade de verificações e parâmetros intermédios para a obtenção de valores resistentes, tornam a utilização da norma difícil para o utilizador, especialmente quando é necessária a verificação de várias juntas, como nos exemplos anteriormente apresentados das treliças.

A criação de fluxogramas vem deste modo elucidar o utilizador da lógica de utilização da norma, dos vários quadros e equações necessárias, criando igualmente uma base para a criação do programa.

A criação do programa, tem por intuito, indicar ao utilizador passo a passo os parâmetros necessários para chegar a uma solução.

Existem programas comerciais, como o “CoP”, que indicam valores de acordo com a EN 1993-1-8, no entanto, não explicam em pormenor os passos, equações ou valores intermédios, tornando a justificação de cálculo incompleta. A criação do programa vem deste modo tentar detalhar a resolução a que os outros programas faltam.

O programa criado trata apenas de juntas de secção tubular circular (cordas e diagonais), porque há limitação de tempo para desenvolver a dissertação, por outro lado a preocupação em construir uma ferramenta também didática, e visual, acarreta alguma complexidade ao programa, que se refletiu na ocupação de tempo adicional

Da experiência adquirida na construção desta ferramenta de cálculo, verifica-se que é possível a extensão da mesma a todo o tipo de juntas previstas na norma

Após a conclusão da ferramenta de cálculo, o programa, e a respetiva validação deste comparativamente aos resultados dos exemplos resolvidos, verifica-se é possível a continuação deste, podendo estender a todo o tipo de juntas previstas na norma.

4.2. Desenvolvimentos futuros

No que se refere a desenvolvimentos futuros das juntas tubulares soldadas e automatização das mesmas, recomendam-se os seguintes os seguintes tópicos:

- Continuação do programa, expandindo as verificações às juntas com cordas RHS ou perfis em I, H e U.
- Comparação do método de cálculo da EN 1993-1-8 com normas internacionais, analisando ligações com cordas de perfis I, H ou U.
- Estudar juntas não previstas na norma, possivelmente com ligações aparafusadas (e não apenas soldadas) com recurso a modelação de elementos finitos.
- Comprovar os resultados com ensaios laboratoriais

5. Bibliografia

- [1] E. L. Simões e A. Santiago, *Manual de Ligações Metálicas*. Coimbra, Portugal, 2003.
- [2] NP EN 1993-1-8, «Norma Portuguesa - Eurocódigo 3 - Projeto de estruturas de aço (Parte 1-8: Projecto de ligações)», *Instituto Português da Qualidade*. p. 146, 2010.
- [3] J. Wardenier, J. A. Packer, X. L. Zhao, e G. J. van der Vegte, *Hollow Sections in Structural Applications*. Geneva, Switzerland: Bouwen met Staal, 2010.
- [4] J. Wardenier, Y. Kurobane, J. A. Packer, A. van der Vegte, e X.-L. Zhao, *Design Guide 1: For Circular Hollow Section (CHS) Joints Under Predominantly Static Loading*. 2008.
- [5] N. E. 1993-1-1, «Norma Portuguesa - Eurocódigo 3 - Projeto de estruturas de aço (Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios)». 2010.
- [6] C. T. Corus, «Design of SHS Welded Joints : Supplements No. 1 , 2, 3, 4 and 5», *Corus*, vol. 44, n. 1. Corus, p. 11, 2002.
- [7] M. Alexander e D. Kusleika, «Excel 2016 Power Programming with VBA.», 2016.
- [8] J. Walkenbach, *Excel® VBA Programming For Dummies®, 3rd Edition*. 2013.
- [9] Tata Steel, «Structural hollow sections Environmental Product Declaration», p. 14, 2017.
- [10] Tata Steel Europe Limited, «Structural hollow sections Contents», 2018.
- [11] J. Wardenier, *Hollow Sections in Structural Applications*. 2001.
- [12] F. Jos e B. Pereira, «Juntas entre Perfis Tubulares de Aço», 2013.