

INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS
CAMPUS AVANÇADO PIUMHI
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

PEDRO GUSTAVO DE FARIA

**COMPARATIVO DE UMA LIGAÇÃO *FIN PLATE* ENTRE A ABNT NBR 8800 E A
EUROCODE 3 *PART 1-8***

Piumhi - MG

2023

PEDRO GUSTAVO DE FARIA

**COMPARATIVO DE UMA LIGAÇÃO *FIN PLATE* ENTRE A ABNT NBR 8800 E A
EUROCODE 3 *PART 1-8***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Bacharelado em Engenharia Civil ofertado pelo *Campus Avançado Piumhi* do Instituto Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Dra. Carla Cristiane Silva.

Piumhi - MG

2023

F224c Faria, Pedro Gustavo de.
Comparativo de uma ligação *Fin Plate* entre a ABNT NBR 8800 e a *Eurocode 3 part 1-8* [manuscrito] / Pedro Gustavo de Faria. – 2023.
67 f. : il. color.

Orientadora: Carla Cristiane Silva.
Trabalho de Conclusão de Curso (bacharelado) – Instituto Federal Minas Gerais. *Campus* Avançado Piumhi, 2023.

1. Ligas (Metalurgia). 2. Estruturas metálicas. 3. Normas técnicas (Engenharia). 4. Engenharia civil. I. Silva, Carla Cristiane. II. Instituto Federal de Minas Gerais. *Campus* Avançado Piumhi. III. Título.

CDD 620.1

Catálogo: Andreia Cristina Damasceno - CRB-6/1974

PEDRO GUSTAVO DE FARIA

**COMPARATIVO DE UMA LIGAÇÃO *FIN PLATE* ENTRE A ABNT NBR 8800 E A
EUROCODE 3 PART 1-8**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Bacharelado em Engenharia Civil ofertado pelo *Campus Avançado Piumhi* do Instituto Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Dra. Carla Cristiane Silva.

Aprovado em 01 de junho de 2023, pela banca examinadora:

Piumhi, 01 de junho de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **Carla Cristiane Silva, Professora**, em 01/06/2023, às 12:12, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Patrícia Vieira Medeiros, Professor(a) Substituto(a)**, em 01/06/2023, às 12:16, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **1571358** e o código CRC **29E5CC8B**.

23715.000472/2023-14

1571358v1

Criado por [carla.silva](#), versão 2 por [carla.silva](#) em 01/06/2023 12:12:18.



Documento assinado digitalmente
STELLA MARIA GOMES TOME
Data: 01/06/2023 15:26:27-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, meu pai, Antonio Carlos de Faria, minha mãe, Marina Ferreira da Silva Faria e minha irmã, Maria Eduarda da Silva Faria, que desde o início da minha jornada acadêmica, sempre me apoiaram, motivaram e graças a eles tive a oportunidade de estudar. Além de outros familiares que me ajudaram, quando eu precisei, sem querer nada em troca.

Agradeço aos amigos e colegas que fiz durante esse período, que me apoiaram e viveram experiências enriquecedoras comigo, moldando quem eu sou hoje e quem ainda vou me tornar.

E ainda, agradeço à minha orientadora, Carla Cristiane Silva, pelo apoio à realização do presente trabalho, e a todos outros professores e servidores do IFMG *Campus* Piumhi, que fazem de tudo para melhorar a faculdade e a sociedade em que vivemos.

“Ninguém pode entrar duas vezes no mesmo rio, pois quando nele se entra novamente, não se encontra as mesmas águas, e o próprio ser já se modificou.”

Heráclito

RESUMO

As estruturas metálicas vêm ganhando cada vez mais espaço na engenharia civil, pois apresentam diversas vantagens em relação aos outros métodos construtivos tradicionais. Além de reduzir o tempo de execução, as estruturas metálicas são usadas em países mais desenvolvidos por exigirem um padrão técnico elevado, porém sabe-se que quando não é executada corretamente, esse tipo de estrutura pode se tornar um grande problema na construção. A ligação realizada neste modo construtivo, é um ponto que deve ser escolhido, calculado e executado de forma minuciosa, pois pode definir o sucesso ou desastre da estrutura. Pensando nisso, a pesquisa a seguir tem o objetivo comparar a norma brasileira, ABNT NBR 8800 e a norma europeia, Eurocode 3 Part:1-8, quanto ao dimensionamento da ligação *fin plate*, com o objetivo de verificar qual a diferença de verificações e valores que as normas apresentam, analisando qual apresenta resultados mais conservadores. Por fim, foi possível verificar que a norma europeia apresenta um caráter mais detalhado sobre verificações, em comparação com a norma brasileira, quando o assunto é ligação metálicas e principalmente a *fin plate* e além disso, a norma nacional se mostrou mais conservadora no cálculo de resistências.

Palavras-chave: Ligações metálicas. Verificações e dimensionamento. Estruturas metálicas. ABNT NBR 8800. Eurocode 3.

ABSTRACT

Steel structures are gaining more and more space in civil engineering, as they have several advantages over other traditional construction methods. In addition to reducing execution time, steel structures are used in more developed countries because they require a high technical standard, but it is known that when not executed correctly, this type of structure can become a major problem in construction. The connection made in this constructive way is a point that must be chosen, calculated and executed in detail, as it can define the success or disaster of the structure. With that in mind, the following research aims to compare the Brazilian standard, ABNT NBR 8800, and the European standard, Eurocode 3 Part:1-8, regarding the sizing of the fin plate connection, with the aim of verifying the difference in checks and values that the norms present, analyzing which presents more conservative results. Finally, it was possible to verify that the European standard presents a more detailed character on verifications, in comparison with the Brazilian standard, when the subject is steel connections and mainly the fin plate and, in addition, the national standard proved to be more conservative in the calculation of resistances.

Keywords: Steel connections. Checks and sizing. Steel structures. ABNT NBR 8800. Eurocode 3.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tipos de perfis laminados.....	17
Figura 2 – Conexão tipo atrito.....	20
Figura 3 – Conexão tipo contato.....	21
Figura 4 – Tipos de furos.....	21
Figura 5 – Aplicação de soldas.....	24
Figura 6 – Tipos de soldas.....	25
Figura 7 – Simbologia da solda.....	25
Figura 8 – Colocação dos símbolos de soldagem.....	26
Figura 9 – Rotação da ligação rígida e flexível.....	28
Figura 10 – Deformação na cantoneira.....	28
Figura 11 – Limites de classificação de ligações viga-pilar.....	29
Figura 12 – Emenda viga-pilar com e sem enrijecedores.....	31
Figura 13 – Ligação <i>fin plate</i>	32
Figura 14 – Situação típica em que deve ser verificado o estado-limite.....	36
Figura 15 – Campus Avançado IFMG - Piumhi.....	49
Figura 16 – Foto aérea do novo prédio do IFMG.....	50
Figura 17 – Frente da ligação em análise.....	50
Figura 18 – Verso da ligação em análise.....	51
Figura 19 – Detalhamento da ligação.....	52
Figura 20 – Detalhamento da chapa.....	52
Figura 21 – Comparativo entre o espaçamento entre os furos.....	53
Figura 22 – Comparativo do espaçamento entre furo e borda.....	54
Figura 23 – Comparativo do cisalhamento do parafuso.....	54
Figura 24 – Comparativo da pressão de contato na chapa.....	55
Figura 25 – Comparativo da pressão de contato na alma da viga.....	56
Figura 26 – Comparativo do colapso por rasgamento da chapa.....	57
Figura 27 – Comparativo do cisalhamento da chapa.....	57
Figura 28 – Comparativo da resistência da solda sujeita ao cisalhamento.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dimensões máximas de furos para parafusos	22
Tabela 2 – Distância mínima do centro de um furo à borda	34
Tabela 3 – Compatibilidade do metal-base com o metal da solda ^{a),b)}	38
Tabela 4 – Tamanho mínimo da perna de uma solda de filete	39
Tabela 5 – Fator de correlação β_w para soldas de ângulo.....	44
Tabela 6 – Resumo Comparativo dos parâmetros utilizados na ANBT NBR 8800 e EUROCODE 3 Part 1-8.....	47

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	15
2.1 Objetivos específicos	15
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1 Histórico	16
3.2 Vantagens	16
3.3 Perfis metálicos	17
3.4 Ligações nas estruturas metálicas	18
3.5 Meios de ligação	19
3.5.1 Parafusos	19
3.5.1.1 <i>Vantagens</i>	19
3.5.1.2 <i>Desvantagens</i>	19
3.5.1.3 <i>Tipos de parafusos</i>	19
3.5.1.3.1 Parafusos comuns	19
3.5.1.3.2 Parafusos de alta resistência	20
3.5.1.4 <i>Tipos de furos</i>	21
3.5.2 Solda	22
3.5.2.1 <i>Vantagens</i>	22
3.5.2.2 <i>Desvantagens</i>	23
3.5.2.3 <i>Tipos de solda</i>	23
3.5.2.3.1 Solda de penetração	24
3.5.2.3.2 Solda filete	24
3.5.2.4 <i>Simbologia da solda</i>	25
3.6 CLASSIFICAÇÃO QUANTO À RIGIDEZ	26
3.7 CLASSIFICAÇÃO QUANTO AOS ELEMENTOS CONECTADOS	30
3.7.1 Emendas de Pilares	30
3.7.2 Emendas de Vigas	30
3.7.3 Emenda Viga-Pilar	31
3.8 LIGAÇÃO FIN PLATE	31
3.9 ABNT NBR 8800	32
3.9.1 <i>Espaçamento de furos</i>	33
3.9.2 <i>Cisalhamento dos parafusos</i>	34

3.9.3 Pressão de contato em furos	35
3.9.4 Colapso por rasgamento da chapa de ligação	35
3.9.5 Cisalhamento da chapa	36
3.9.6 Solda.....	37
3.10 EUROCODE.....	39
3.10.1 Espaçamento de furos	41
3.10.2 Cisalhamento dos parafusos.....	41
3.10.3 Pressão de contato em furos	42
3.10.4 Colapso por rasgamento da chapa de ligação	42
3.10.5 Cisalhamento da chapa	43
3.10.6 Solda.....	43
3.10.7 Outras resistências	45
3.11 ESTUDO COMPARATIVO ENTRE A ABNT NBR 8800 E EUROCODE 3 PART 1-8	46
4 METODOLOGIA	48
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	49
5.1 Resultados adicionais.....	58
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
6.1 Sugestões para trabalhos futuros	60
REFERÊNCIAS.....	62
APÊNDICE A – METODOLOGIA E RESULTADOS	64

1 INTRODUÇÃO

Há cerca de 1200 a.C., depois da idade do Bronze, se inicia a Idade do Ferro, essa que ficou marcada com o uso de utensílios de ferro no dia-a-dia. Entretanto, em 586 a.C. iniciou-se a idade do Aço, que para promover uma melhor segurança em utensílios e até em edificações, técnicas foram sendo aperfeiçoadas, uma delas foi o descobrimento de um metal mais resistente e durável que o ferro, o aço, que acontece na adição de carbono ao ferro (NAVARRO, 2006). Esse material é usado até os dias de hoje, principalmente na construção civil, para criação de edifícios seguros e em menos tempo.

O primeiro registro de uma estrutura feita de aço, é de uma ponte em Coalbrookdale, na Inglaterra, que passa sobre o rio Severn, finalizada em 1779. Ademais, essa existe até hoje, mostrando que o aço, quando usado de maneira correta, pode durar séculos (FRANCA, 2003).

Segundo Liubartas, *et al.*, (2015), o aço usado para estruturas metálicas possui diversos benefícios, que são listados a seguir: material resistente a choques e vibrações, execução de obras limpas, possibilidade de desmontagem e reaproveitamento de peças estruturais, facilitadas pelas conexões parafusadas ou soldadas e, alta resistência, tornando-as mais leves possibilitando vencer grandes vãos.

Além disso, a possibilidade de fabricar peças estruturais no processo de fundição e a variedade de aços que possuem no mercado nacional, faz com que ocorra uma redução de 25% no tempo de uma execução de obra, quando comparado com o uso de concreto nas estruturas (MATHEUS, 2020).

Os impactos ambientais que a construção civil causa são evidentes. Todo o processo desde a extração, produção, armazenamento, transporte, utilização e descarte contribuem de forma consideravelmente prejudicial ao planeta. A construção de edificações chega a consumir 75% dos recursos extraídos da natureza, sendo que grande parte desses recursos não são renováveis (JOHN, OLIVEIRA e LIMA, 2007).

Dados de pesquisadores de vários países reforçam como a emissão de carbono na fabricação e transporte do concreto é elevada. Na Coreia do Sul, há dados para um concreto de resistência de 40 MPa com emissões próximas à 340 KgCO₂/m³ (JI, HONG e PARK, 2014). Já na Espanha, para um mesmo concreto as emissões podem chegar a 143,77 KgCO₂/m³ (PAYA-ZAFORTEZA, YEPES, *et al.*, 2009). Essa

diferença deve-se a vários fatores, alguns dos mais relevantes são a questão do meio de transporte utilizado e a matriz energética empregada na fabricação, como a energia hidrelétrica que gera níveis menores de emissão quando comparada a fontes como a termoelétrica (POMMER e PADE, 2005).

As estruturas metálicas apresentam níveis de emissão de poluentes significativamente menores do que os da produção do concreto. Segundo dados do instituto de pesquisa britânico *Chatham House*, o cimento é fonte de aproximadamente 8% das emissões mundiais de CO₂ (RODGERS, 2018). Além disso, o aço usado nessas estruturas pode ser reciclado, como os parafusos, conexões e membros estruturais, sem perder sua resistência, e na atualidade metade de todo o aço produzido no mundo é oriundo de processos de reciclagem (NARDIN, 2008).

Hoje em dia, as estruturas metálicas vêm ganhando cada vez mais espaço no setor da construção civil, devido às diversas vantagens que ela apresenta. Entretanto, elas são mais complexas do que aparenta ser, por causa de diversos parâmetros e verificações que devem ser analisados para o uso da estrutura.

Uma dessas diversidades é na parte das ligações dessas peças metálicas, pois atualmente existem inúmeras maneiras de ligar uma peça com a outra, as ligações mais usadas são: a soldada e a parafusada. Ademais, os custos das estruturas de aço, são determinados em até 50% pelas suas ligações, mostrando a importância de projetar ligações modernas, em que não seja necessário reforços (BIJLAARD, 2006). E por se tratar de um conceito econômico que não para de crescer, mostra que se projetada da maneira correta, podem ser reduzidas significante o custo da edificação.

Ainda, por se tratar de um tema complexo, as ligações carecem de pesquisas nacionais a respeito, pensando nisso o presente trabalho tem como objetivo, auxiliar os projetistas de estruturas metálicas com as suas devidas verificações, nas ligações. De modo, a verificar o que as normas, ABNT NBR 8800 e a Eurocode 3 Part 1-8, trazem sobre o tema e compreender as diferenças e semelhanças dos resultados obtidos.

Dessa forma, é importante compreender o comportamento e como as ligações vão interferir em uma estrutura, sendo que seu dimensionamento e verificação devem ser analisados a fim de fornecer conforto, estética agradável e segurança para os usuários. Assim, este trabalho apresenta os cálculos e verificações

que as normas apresentam, de uma ligação específica, a *fin plate*, para que o projetista seja capaz de obter a melhor decisão.

2 OBJETIVOS

O objetivo dessa pesquisa é analisar, com base na ABNT NBR 8800 e a Eurocode 3, uma ligação metálica do prédio onde encontra os novos laboratórios do IFMG *Campus* Piumhi, e realizar um comparativo entre a norma brasileira e europeia.

2.1 Objetivos específicos

- Analisar a metodologia usada pela ABNT NBR 8800;
- Analisar a metodologia usada pela Eurocode 3;
- Compreender o dimensionamento e verificações para a ligação metálica;
- Encontrar uma ligação no novo prédio do IFMG Piumhi, que encaixa com os parâmetros a serem analisados;
- Aplicação dos conceitos para realização do comparativo, de uma determinada ligação.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Histórico

Com a passar do tempo, materiais novos surgiram no mercado, como o ferro fundido, o vidro e, logo após, o aço e o concreto armado. Ademais, o aumento e desenvolvimento de ferramentas construtivas, possibilitaram uma maior produtividade para o homem, gerando assim mais agilidade na construção (OLIVEIRA, 2013). Com a evolução dos materiais e da mão-de-obra, estruturas mais rápidas foram sendo feitas, com o objetivo de atender a demanda que se criava, uma dessas são as estruturas metálicas, que até hoje em dia são muito usadas.

O primeiro relato de estrutura metálica, usando ferro fundido, foi uma ponte em Coalbrookdale, na Inglaterra, sobre o rio Severn. Ela possui 30 metros de comprimento, foi construída em 1779 e existe até os dias atuais. Entretanto, o aço começou a ser mais utilizado, em 1856, quando Henry Bessemer criou um forno que conseguia produzir aço em larga escala, reduzindo o valor do material, iniciando assim a corrida de fabricação do aço (PFEIL e PFEIL, 2009).

No Brasil, a indústria siderúrgica deu início na década 20, em João Monlevade, Minas Gerais, com a criação da Companhia Siderúrgica Belo Mineira, que logo depois com grandes aportes de uma empresa luxemburguesa, ficou conhecida como: Companhia Siderúrgica Belgo-Mineira. Já no começo da indústria, a produção chegou a 35 mil toneladas, com a ajuda de outras fundições, e no fim da década atingiu a marca de 96 mil toneladas (GOECKS, 2011).

3.2 Vantagens

Segundo Goecks, o aço e as estruturas metálicas possuem diversas vantagens, sendo elas:

- a) Resistência elevada em comparação aos outros materiais;
- b) É um material homogêneo com produção controlada;
- c) Possui fabricação industrializada, sendo assim é produzida em escala, gerando custos e prazos menores;
- d) Montagem e desmontagem, podendo substituir até mesmo peças e reforçar quando necessário;

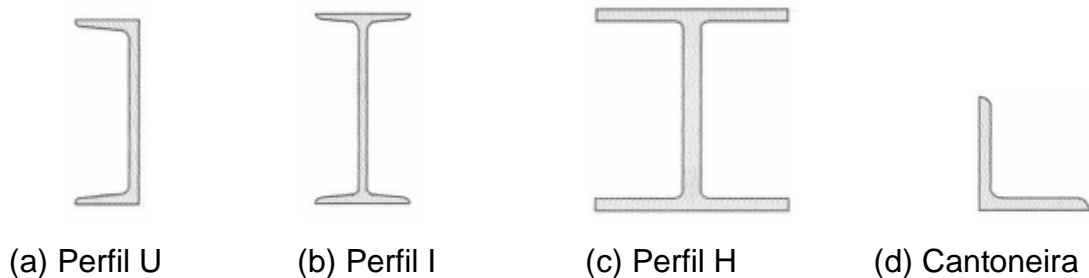
- e) Reaproveitamento do aço;
- f) Prazo menor de execução, quando comparada com outros tipos de estruturas.

3.3 Perfis metálicos

Os perfis metálicos podem ser laminados ou soldados, cada um possuindo sua especificidade.

Os perfis laminados são feitos pela passagem dos tarugos por rolos especiais, denominados laminadores, esse faz a transformação mecânica dos metais e dessa forma, é possível produzir diversos perfis. Eles podem possuir diversos formatos geométricos, os mais comuns são: perfil U, perfil I, perfil H e a cantoneira, Figura 1. Sendo que, cada um possui uma especificidade, o perfil I e U são empregados geralmente em vigas, já o perfil H é mais usual em pilares, pela sua capacidade de resistir a cargas de compressão, e por fim as cantoneiras que são usadas em treliças, contraventamento e ligações (GASPAR, 2008).

Figura 1 – Tipos de perfis laminados



Fonte: (PFEIL e PFEIL, 2009)

Os perfis soldados são produzidos com a união de dois ou mais perfis laminados, normalmente usando-se soldas elétricas. Eles são mais utilizados, quando é necessário o uso de perfis com dimensões maiores, que não são encontradas nos perfis laminados, os mais utilizados são os I e H. De acordo com Gaspar (2008), a CSN possui perfis soldados padronizados, para facilitar o uso dessas peças, que são as séries:

- Perfil CS – Colunas Soldadas
- Perfil VS – Vigas Soldadas
- Perfil CVS – Colunas e Vigas Soldadas

Esses perfis por serem mais trabalhosos de fabricar, quando comparado aos laminados, são mais caros, porém o seu uso pode ser justificado para atender conveniências de cálculo, como em pilares em que é necessário um momento de inércia maior nas direções X e Y (PFEIL e PFEIL, 2009).

3.4 Ligações nas estruturas metálicas

A NBR 8800, define as ligações metálicas sendo: constituída de elementos de ligação, como enrijecedores, chapas de ligação, cantoneiras e consolos, e meios de ligação, como soldas, parafusos, barras redondas rosqueadas e pinos.

Além disso, as ligações possuem a função de efetivar que a transmissão de esforços, de um elemento para outro, ocorra da melhor maneira possível. A norma prevê requisitos a serem verificados, como o estado limite último e o estado limite de serviço, esses que garantem segurança e conforto para a estrutura (PARANHOS, BATISTA, *et al.*, 2018).

Ademais, o comportamento das ligações resulta de propriedades, como o tipo e diâmetro dos parafusos, distância dos parafusos à face da peça, espessuras das cantoneiras, soldas e chapas de ligação, presença de enrijecedores, e limite de escoamento do material da peça e do elemento de ligação (MORRIS e PACKER, 1987).

Ainda, pode existir ligações mistas, que acontece quando a laje de concreto participa da transmissão de momento fletor de uma viga mista para um pilar ou para outra viga mista no vão adjacente. Quando o momento na viga for negativo, a armadura da laje é tracionada, e quando for positivo, a laje é comprimida (ABNT, 2008).

Segundo a NBR 8800, as ligações têm que ser dimensionadas de maneira que a resistência de cálculo a um estado limite último seja igual ou superior à solicitação de cálculo, combinada com a análise da estrutura sujeita às combinações de cálculo das ações. Existe em alguns casos, que o dimensionamento seja feito com base no estado limite de serviço.

As ligações parafusadas e soldadas são as mais comuns, entretanto a parafusada é um pouco mais resistente que a soldada em alguns modelos (PARANHOS, BATISTA, *et al.*, 2018). Desse modo, outros critérios devem ser analisados na escolha da ligação, visando uma execução rápida e uma obra mais

econômica, como a infraestrutura disponível do local em que o projeto será executado, além de que cada estrutura possui uma ligação ideal que deve ser analisada.

3.5 Meios de ligação

3.5.1 Parafusos

Segundo Goecks (2011) as ligações com parafusos possuem vantagens e desvantagens, que as diferenciam das outras ligações, sendo elas:

3.5.1.1 Vantagens

- a) Menos consumo de energia elétrica;
- b) Agilidade na produção das peças;
- c) Agilidade durante a execução das ligações no campo;
- d) Desnecessidade de montadores com grandes qualificações;
- e) Bom desempenho às tensões de fadiga.

3.5.1.2 Desvantagens

- a) Facilidade de erro na quantidade correta de parafusos;
- b) Dificuldade de efetuar modificações no campo;
- c) Necessidade de realizar verificações específicas;
- d) Em casos específicos, é necessário realizar pré-montagens de fábrica.

3.5.1.3 Tipos de parafusos

Os parafusos estruturais podem ser divididos em dois grupos: os comuns e os de alta resistência.

3.5.1.3.1 Parafusos comuns

Os parafusos comuns são feitos de aço carbono, podendo ser de cabeça e porca hexagonais ou cabeça e porca quadradas. As mais utilizadas são as hexagonais. As especificações mais usais são os ASTM A307 e ISO Classe 4.6

(FAKURY, SILVA e CALDAS, 2016). Eles possuem um baixo custo, porém por possuírem baixa resistência podem acabar gerando custos mais elevados, são ideais para serem usados em estruturas leves, elemento secundários, terças, etc., onde ocorre a presença de cargas baixas e lugares onde não existe movimento de peças (GOECKS, 2011).

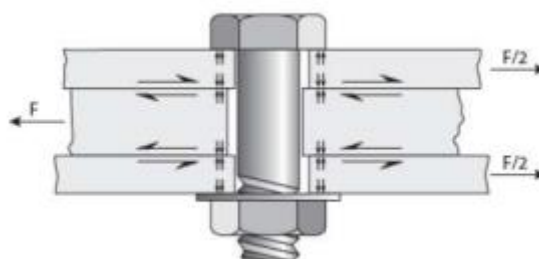
3.5.1.3.2 Parafusos de alta resistência

Os parafusos de alta resistência possuem cabeça e porca hexagonais e especificação registrada na cabeça do parafuso. As especificações mais usais são os ASTM A325, ISO Classe 8.8, com aço carbono temperado. Eles são ideais quando as peças a serem ligadas, estão sujeitas a cargas elevadas e quando as ligações estão submetidas a cargas dinâmicas. (FAKURY, SILVA e CALDAS, 2016).

Além disso, existe dois tipos de conexões nos parafusos de alta resistência, a tipo atrito e a tipo contato, descritas a seguir:

a) Tipo atrito: são apertados causando uma tensão de tração, o que acaba gerando uma força de atrito entre as peças, que é possível ser calculada com base no aperto controlado da porca. Desse modo, ele deve ser considerado no contato entre as peças metálicas, pois é o que faz com que o parafuso não seja quebrado pela força das peças que cortam o parafuso. Sendo utilizado quando a intenção é bloquear o movimento dos elementos de ligação (GOECKS, 2011). Esse tipo de conexão pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 – Conexão tipo atrito

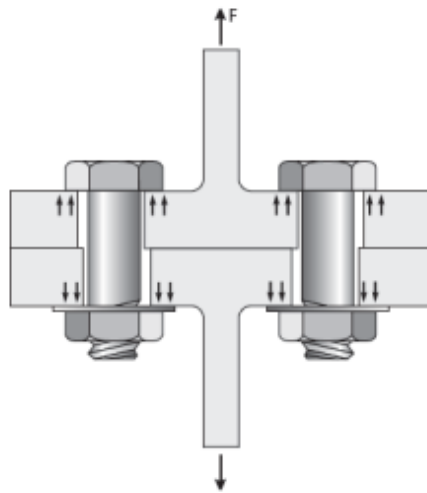


Fonte: (GOECKS, 2011)

b) Tipo contato: acontece quando a haste do parafuso toca na borda do furo da peça, sustentando o cisalhamento que ocorre. Desse modo, o material usado

nas conexões, a espessura das peças que integra a ligação, será predominante no cálculo da resistência final. Esse tipo de conexão é utilizado quando ocorre cargas estáticas e não reversíveis, por possuir um fator de segurança baixo, além disso é empregado quando é necessário pequenos movimentos entre as peças (GOECKS, 2011). Esse tipo de conexão pode ser observado na Figura 3.

Figura 3 – Conexão tipo contato

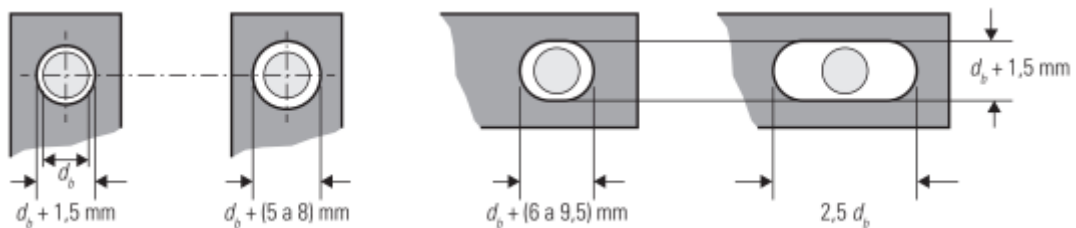


Fonte: (GOECKS, 2011)

3.5.1.4 Tipos de furos

Os furos são indispensáveis para o uso dos parafusos, com isso a ABNT NBR 8800, define em 4 tipos: diâmetro furo-padrão, diâmetro do furo alargado, diâmetro do furo pouco alargado e diâmetro do furo muito alargado, como pode ser observado na Figura 4, a seguir.

Figura 4 – Tipos de furos



Fonte: (FAKURY, SILVA e CALDAS, 2016)

Ainda, esses furos são determinados com base no d_b , diâmetro do parafuso, que pode variar de $(d_b + 1,50 \text{ mm})$, o furos-padrão até $2,5d_b$, furo muito alongado. Os furos-padrão são os mais empregados na prática, os outros tipos são usados em casos específicos, como em bases de pilares, com o objetivo de simplificar a montagem no concreto, e em lugares que existe variação de temperatura, servindo como uma junta de dilatação, como no caso dos apoios articulados móveis de vigas (FAKURY, SILVA e CALDAS, 2016). Com o objetivo de facilitar o cálculo do tipo do furo, a norma traz a Tabela 1.

Tabela 1 – Dimensões máximas de furos para parafusos

	Diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada d_b	Diâmetro do furo-padrão	Diâmetro do furo alargado	Dimensões do furo pouco alongado	Dimensões do furo muito alongado
Dimensões em milímetros	≤ 24	$d_b + 1,5$	$d_b + 5$	$(d_b + 1,5) \times (d_b + 6)$	$(d_b + 1,5) \times 2,5 d_b$
	27	28,5	33	$28,5 \times 35$	$28,5 \times 67,5$
	≥ 30	$d_b + 1,5$	$d_b + 8$	$(d_b + 1,5) \times (d_b + 9,5)$	$(d_b + 1,5) \times 2,5 d_b$
Dimensões em polegadas	$\leq 7/8$	$d_b + 1/16$	$d_b + 3/16$	$(d_b + 1/16) \times (d_b + 1/4)$	$(d_b + 1/16) \times 2,5 d_b$
	1	$1 \ 1/16$	$1 \ 1/4$	$1 \ 1/16 \times 1 \ 5/16$	$1 \ 1/16 \times 2 \ 1/2$
	$\geq 1 \ 1/8$	$d_b + 1/16$	$d_b + 5/16$	$(d_b + 1/16) \times (d_b + 3/8)$	$(d_b + 1/16) \times 2,5 d_b$

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

3.5.2 Solda

Segundo Goecks (2011) as ligações soldadas possuem vantagens e desvantagens, que devem ser levadas em consideração no projeto, sendo elas:

3.5.2.1 Vantagens

a) Como as ligações soldadas são ligadas diretamente peça com peça, sua rigidez é maior, quando comparada com as ligações parafusadas, que possuem elementos de ligação para unir as peças, como as chapas de ligação;

b) Na montagem em campo, possui mais simplicidade caso seja necessário realizar alguma mudança nos desenhos das peças e até mesmo na correção de possíveis erros que possam ocorrer;

c) Comparada as ligações parafusadas, que necessita de parafusos, porcas, chapas e outros elementos, as ligações soldadas usa uma quantidade menor de peças, desse modo diminuindo o tempo de detalhamento e fabricação.

3.5.2.2 Desvantagens

a) Devido ao efeito de retração que ela sofre, acaba reduzindo o comprimento da mesma;

b) Necessidade de energia elétrica, para máquinas de soldas, no local onde será executado a estrutura;

c) A tensão admissível pode ser reduzida a níveis extremamente baixos, devido a fadiga que essa ligação causa, sendo necessária uma análise mais aprofundada nesse quesito, quando comparado com as ligações parafusadas;

d) Execução dos elementos necessita de um tempo mais elevado;

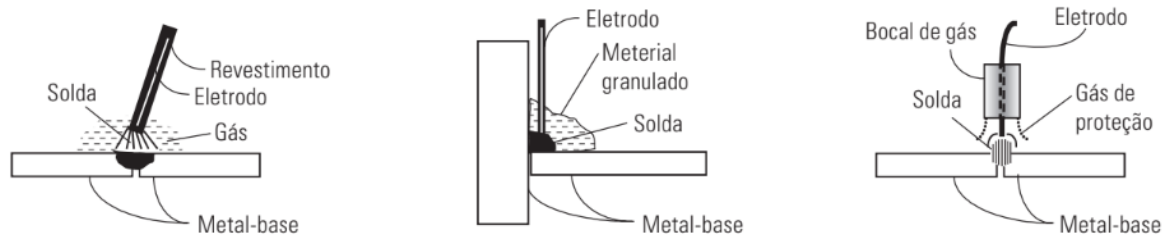
e) A experiência do soldador é algo que deve ser levado em consideração.

3.5.2.3 Tipos de solda

A solda elétrica é um tipo de ligação, que liga as peças de aço, usando um eletrodo metálico por meio da eletricidade. As mais utilizadas são a solda de penetração e a solda filete. Ademais, a solda possui algumas especificidades, como por exemplo, a posição em que é realizado a solda, podendo ser plana, horizontal, vertical ou sobrecabeça, além disso, a soldagem não pode ter interação química com o oxigênio e o nitrogênio, o contato com esses elementos faz com que a solda se torne frágil e mais propensa a corrosão (FAKURY, SILVA e CALDAS, 2016).

Desse modo, para evitar a interação é utilizado alguns métodos, os mais usados são, o arco elétrico com eletrodo revestido, que reveste o eletrodo usando escória e gás. O arco submerso, que submete a extremidade do eletrodo a um material granulado. E o arco elétrico com proteção gasosa, que utiliza de um gás mantido no próprio equipamento de soldagem, que é levado até a solda por meio de um bocal, todos esses evitando o contato com o ar atmosférico (FAKURY, SILVA e CALDAS, 2016). Como pode ser observado na Figura 5, a seguir:

Figura 5 – Aplicação de soldas



Fonte: (FAKURY, SILVA e CALDAS, 2016)

3.5.2.3.1 Solda de penetração

A solda de penetração pode ser total ou parcial. Quando a solda encosta nas duas faces das peças é penetração total e quando encosta somente em uma face é penetração parcial (FAKURY, SILVA e CALDAS, 2016). Elas são usadas com o objetivo de garantir a transmissão de esforço da ligação ou quando, por questões de projeto a solda filete não possa ser empregue. Ademais, para o uso da solda de penetração parcial e seus respectivos cálculos, a NBR 8800 terá que ser usada (ALMEIDA, 2014).

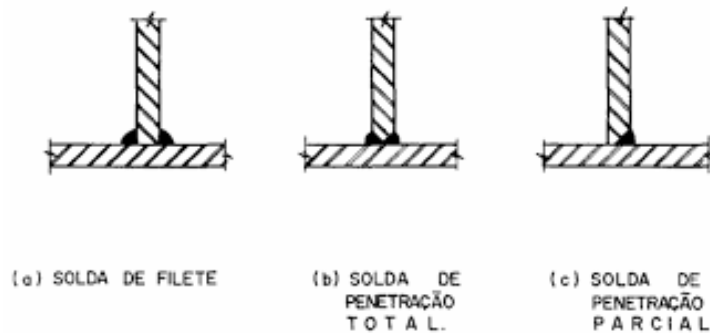
3.5.2.3.2 Solda filete

A solda filete dispõe de uma seção transversal triangular, os catetos do triângulo retângulo que é formado pela solda, são chamados de pernas do filete. Além disso, o tamanho do filete é determinado pelo comprimento da perna, assim a indicação do valor da perna é essencial no projeto (FAKURY, SILVA e CALDAS, 2016).

Além disso, tem a garganta efetiva que é a distância entre a raiz da solda até o lado externo, ou seja, onde a solda se encontra com as peças e a parte oposta, que fica para fora. Ainda, existe o comprimento efetivo da solda, que é a distância entre uma ponta até a outra do filete, com base nos pontos médios das gargantas efetivas. E por fim, a área efetiva que é a multiplicação entre a garganta efetiva e o comprimento efetivo da solda (ALMEIDA, 2014).

Os tipos de soldas citados, pode ser observado na Figura 6, a seguir:

Figura 6 – Tipos de soldas



Fonte: (CBCA , 2003).

3.5.2.4 Simbologia da solda

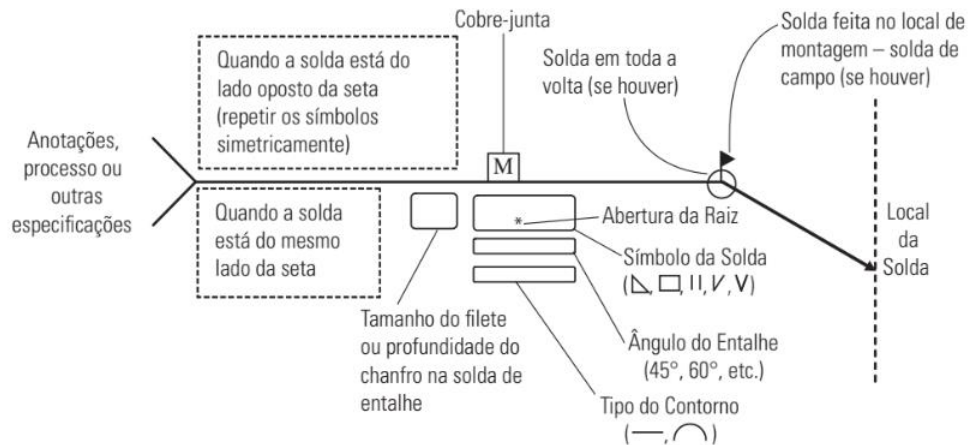
Os símbolos normatizados da solda, auxiliam na execução, indicando a localização, detalhes de chanfro, espessura e outras informações. Existem vários tipos de simbologia para solda, no Brasil o mais comum a ser usado é da norma americana, AWS A2.4, *Symbols for Welding and Nondestructive Testing* (CBCA , 2003). Os símbolos básicos da solda estão representados na Figura 7 e os diversos tipos de ligações soldadas com as respectivas simbologias e descrições na Figura 8.

Figura 7 – Simbologia da solda

Símbolos Básicos de Solda									
Rebordo	Filete	Tampão	Ranhura ou Chanfro					Filetes convexos	
			Reto	V	Meio V	U	J	Duplo	Simplex
Símbolos Suplementares									
Solda com chapa de base	Afastamento	Toda volta	Solda de campo	Contorno					
				Esmerilhar	Convexa				

Fonte: (CBCA , 2003)

Figura 8 – Colocação dos símbolos de soldagem



Fonte: (FAKURY, SILVA e CALDAS, 2016)

3.6 CLASSIFICAÇÃO QUANTO À RIGIDEZ

A NBR 8800 divide as ligações entre viga e pilar quanto a rigidez, em rotulada, rígida e semirrígida. Usando critérios de rigidez de ligação, módulo de elasticidade do aço, momento de inércia da seção transversal e o comprimento da peça conectada a ligação.

Para ligação rotulada é preciso seguir a equação 1.

$$S_i \leq 0,5 E \frac{I_v}{L_v} \quad (1)$$

Onde S_i é a rigidez inicial da ligação, correspondente a 2/3 do momento resistente de cálculo da ligação, E é o módulo de elasticidade do aço, I_v é o momento de inércia da seção transversal da viga e L_v é o comprimento da viga conectada à ligação.

Para ligação rígida é necessário usar as seguintes equações.

$$S_i \geq 25 E \frac{I_v}{L_v} \quad (2)$$

$$\frac{K_v}{K_p} \geq 0,1 \quad (3)$$

Onde K_v é o valor médio de I_v/L_v de todas as vigas no topo do pavimento e K_p é o valor médio I_p/L_p de todos os pilares do pavimento. Sendo I_p o momento de inércia de um pilar no plano da edificação e L_p a altura do pavimento para um pilar.

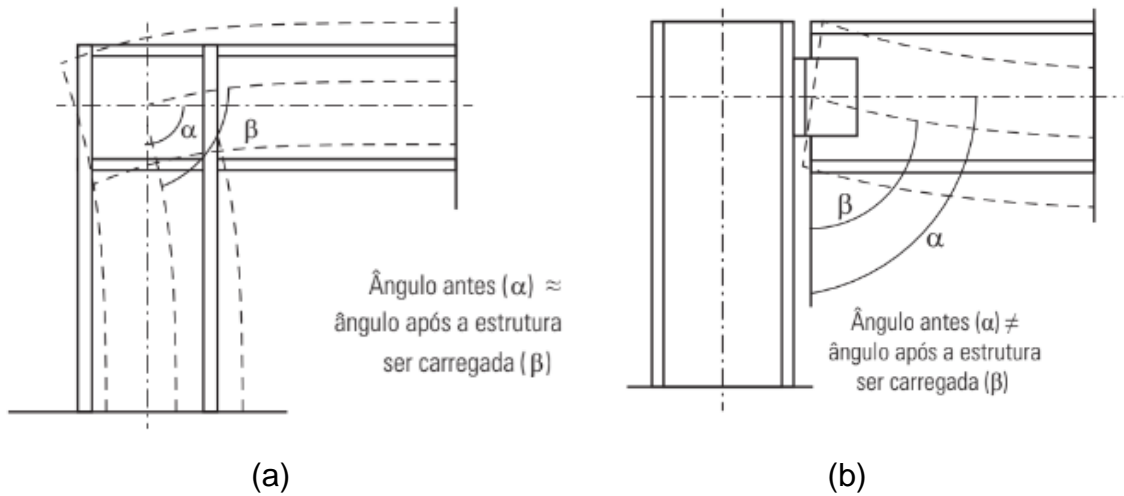
Caso a equação 2, seja respeitada, mas a equação 3, seja menor que 0,1, equação 4, é considerada ligação semirrígida.

$$\frac{K_v}{K_p} < 0,1 \quad (4)$$

As ligações flexíveis, também conhecidas como rotulada, possuem a particularidade de transmitir um momento irrisório, que é desconsiderado no projeto, sendo assim considerada uma rótula. A transmissão da força cortante é a única a ser considerada no projeto e se faz necessário que a ligação permita a rotação das vigas em relação ao pilar. Já no caso das ligações rígidas, elas impedem a rotação relativa entre a viga e o pilar, e nos projetos é considerado a transmissão de momento fletor, esforço cortante e a força axial da junta (PFEIL e PFEIL, 2009).

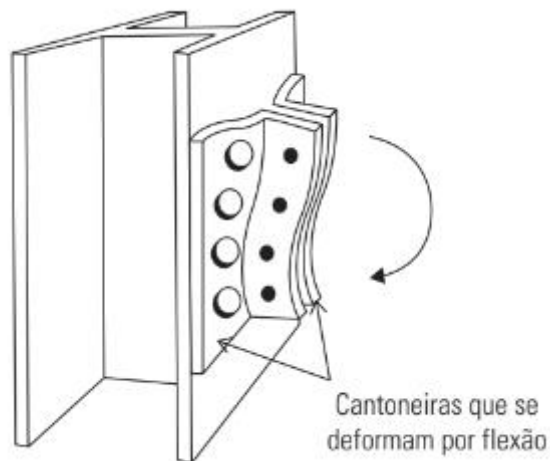
Além disso, pode ser observado o ângulo que se forma entre os elementos, antes e depois, do carregamento da estrutura. Nas ligações rígidas, o ângulo que forma entre o pilar e a viga, permanece praticamente igual ao ângulo de início, depois que as cargas são aplicadas, como pode ser observado na Figura 9 (a). Entretanto, nas ligações flexíveis o ângulo sofre uma variação expressiva após o carregamento, como na figura 9 (b). Por exemplo, na ligação pilar-viga usando parafusos e cantoneiras, o que permite essa variação é a cantoneira, que sofre deformação devido a flexão da viga, mostrado na Figura 10 (FAKURY, SILVA e CALDAS, 2016).

Figura 9 – Rotação da ligação rígida e flexível



Fonte: (FAKURY, SILVA e CALDAS, 2016)

Figura 10 – Deformação na cantoneira



Fonte: (FAKURY, SILVA e CALDAS, 2016)

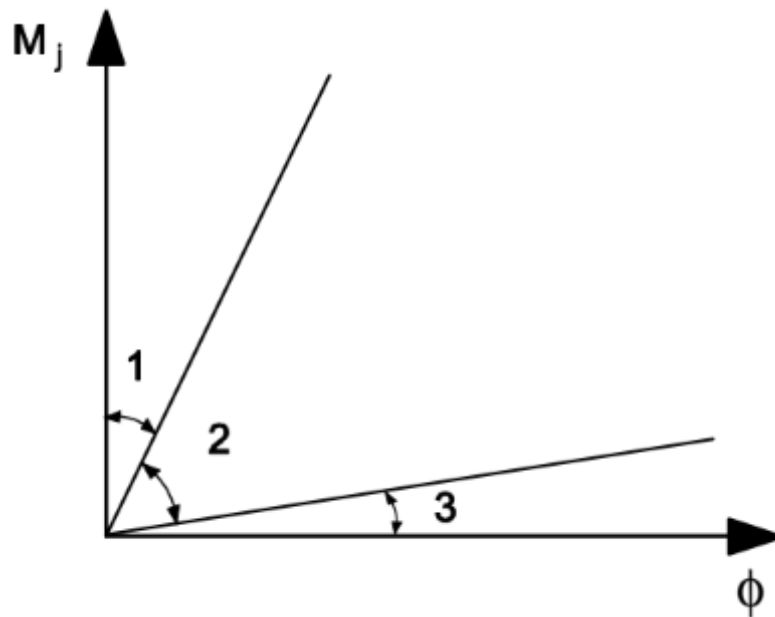
A Eurocode 3 Parte 1-8 classifica as ligações quanto a rigidez em: rígida, rotulada ou semirrígida, com base na rigidez de rotação e na rigidez de rotação inicial, $S_{j,ini}$. Assim, ela define:

As ligações rígidas são aquelas que possuem rigidez rotacional suficiente que justifique uma análise fundamentada na continuidade total.

Já as ligações rotuladas são capazes de transmitir os esforços, não havendo momentos significativos que afetem os elementos ou a estrutura como um todo. Além, de ser capaz de suportar as rotações resultantes das ações de cálculo.

Por fim, as ligações semirrígidas são classificadas assim, quando elas não se encaixam nas ligações rígidas e nem nas rotuladas. Elas são capazes de transmitir os esforços internos e momentos. Na Figura 11 mostra os limites de classificação das ligações:

Figura 11 – Limites de classificação de ligações viga-pilar



Fonte: Eurocode, 2005.

Área 1: Rígida, se respeitar a equação 5:

$$S_{j,ini} \geq k_b \frac{EI_b}{L_b} \quad (5)$$

Área 2: Semirrígida, se respeitar a equação 6:

$$0,5 \frac{EI_b}{L_b} < S_{j,ini} < k_b \frac{EI_b}{L_b} \quad (6)$$

Área 3: Rotulada, se respeitar a equação 7:

$$0,5 \frac{EI_b}{L_b} \leq S_{j,ini} \quad (7)$$

Onde $S_{j,ini}$ é a rigidez de rotação inicial de uma ligação, $k_b = 8$ para pórticos em que o sistema de contraventamento reduz o deslocamento horizontal em pelo menos 80%

e $k_b = 25$ para outros pórticos, onde respeite a relação $K_b/K_c \geq 0,1$, se a relação for menor que 0,1, a ligação deve ser classificada como semirrígida. Sendo K_b o valor médio de I_b/L_b de todas as vigas do nível acima do andar em análise e K_c o valor médio I_c/L_c para os pilares do pavimento. O I_b é o momento de inércia da viga, L_b é o comprimento da viga, I_c é o momento de inércia do pilar e L_c é a altura do pilar.

3.7 CLASSIFICAÇÃO QUANTO AOS ELEMENTOS CONECTADOS

A ligação metálica serve para unir peças, seja elas pilares, vigas ou treliças. Com isso, essa união de elementos pode ser feita de diversas maneiras, como união de pilar com pilar, viga com viga e pilar com viga.

3.7.1 Emendas de Pilares

Para emendas de colunas, um dos parâmetros usados é o acabamento na superfície de contato entre as peças. Quando é garantido o contato entre elas, ou seja, quando a superfície é usinada, o esforço de compressão, que é o mais comum nesse caso, é transmitido de um elemento para outro. Entretanto, existe outras maneiras de garantir o contato entre elas, por exemplo: o uso de chapas de emenda parafusadas, de solda de topo e com chapas de extremidade. Ainda mais, é possível fazer a união de perfis com tamanhos diferentes e ainda assim garantir a transmissão de esforços (PFEIL e PFEIL, 2009).

3.7.2 Emendas de Vigas

As emendas de vigas podem ser soldadas ou com parafusos. No caso das soldadas, a ordem de soldagem é importante, com o objetivo de combater as solicitações internas devido ao resfriamento dos cordões de solda, assim aconselha-se, primeiramente soldar as mesas, depois emendar a alma e por fim, completar a solda que liga a alma com a mesa. As soldas mais eficazes são as de penetração total pois elas transmitem diretamente as tensões, já emendas realizadas com chapas laterais e solda filete dispersam essas tensões, aumentando a fadiga das emendas (PFEIL e PFEIL, 2009).

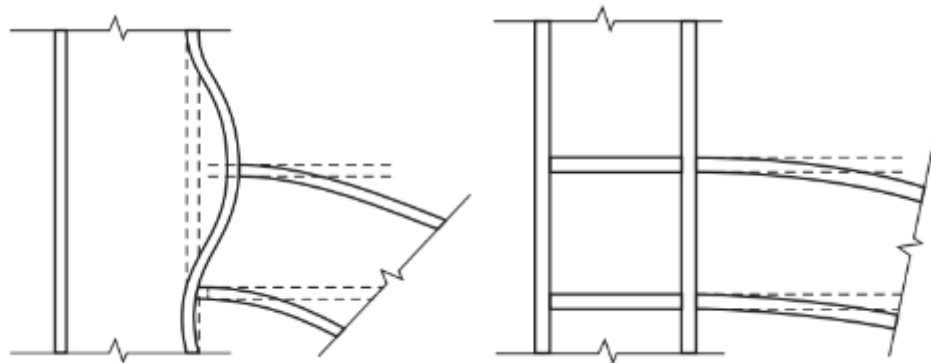
Ainda, existe as emendas com os parafusos, que são mais usuais no campo por possuírem menos variáveis na execução. Para esse tipo de emenda é

necessário o uso de chapas, talas e/ou placas, nas almas e mesas com a finalidade de unir as peças com o auxílio dos parafusos.

3.7.3 Emenda Viga-Pilar

As emendas viga-pilar podem ser consideradas como ligação flexível ou ligação rígida. Para a ligação flexível, a emenda é indicada o uso de cantoneiras e chapas, esses elementos devem possuir, no mínimo, metade da altura do perfil da viga que será inserida no pilar. A fim, de evitar uma rotação no apoio, que pode causar a perda de estabilidade da estrutura. Para o caso das ligações rígidas, nesse tipo de emenda, recomenda-se o uso de enrijecedores na alma do pilar, com a finalidade de bloquear a ocorrência do estados-limites últimos no local da emenda e uma possível deformação na alma e mesa do pilar, que gera uma perda na rigidez da ligação, (FAKURY, SILVA e CALDAS, 2016). Na Figura 12, observa-se uma emenda viga-pilar, quando se tem o uso de enrijecedores e quando não, mostrando a aumento de rigidez na ligação causado por eles.

Figura 12 – Emenda viga-pilar com e sem enrijecedores



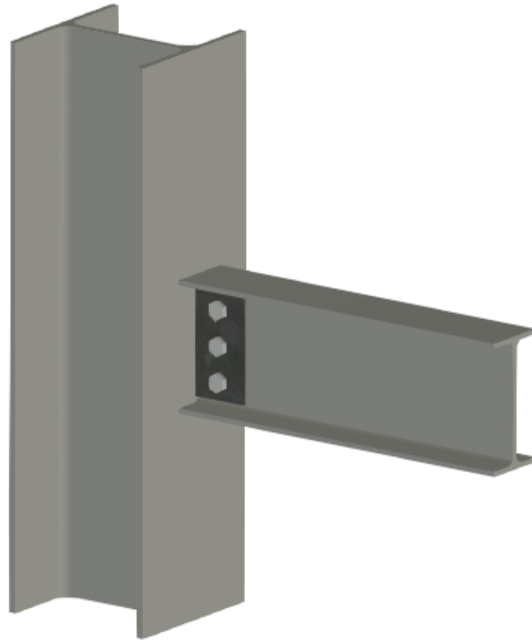
Fonte - (FAKURY, SILVA e CALDAS, 2016)

3.8 LIGAÇÃO FIN PLATE

A ligação em estudo possui vários nomes, mas não possui um específico para o português, pode ser chamada de placa de cisalhamento, chapa paralela à alma da viga convencional, *shear tab*, mas seu nome mais conhecido é “*fin plate*”. Traduzindo essa expressão temos *fin* que significa barbatana e *plate* que significa placa, ela recebe esse nome pois ela possui uma chapa que é soldada na alma ou na mesa da coluna, que lembra uma barbatana. Essa chapa é conectada à alma da viga,

através de uma ou mais linhas de parafusos formando assim, a ligação, conforme pode ser observado na Figura 13.

Figura 13 – Ligação *fin plate*



Fonte: (Arquivo próprio, 2023)

Esse tipo de ligação é bastante usado, no Brasil e no mundo inteiro, devido a sua simplicidade na instalação e seu processo de fabricação ser econômico, além de que possui um aumento na velocidade da construção, pois a ligação *fin plate* não precisa que seja realizado furos na coluna, otimizando a execução e gerando assim economias. (SARRAJ, 2007).

A ligação *fin plate* é uma conexão que ocorre cisalhamento simples, onde ela transfere principalmente a reação vertical de um elemento estrutural simplesmente apoiado aos seus membros de apoios. A transferência de carga ocorre através dos parafusos cisalhados, pois quando a carga é aplicada e ela supera o atrito que existe entre as placas, as placas deslizam, cisalhando assim os parafusos. (SARRAJ, 2007).

3.9 ABNT NBR 8800

A norma brasileira em estudo é ABNT NBR 8800, que fala sobre estruturas de aço e estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Ela traz diversas

verificações e cálculos, ao longo do documento, por exemplo: estados-limites, ações que podem ocorrer na estrutura, resistências, condições para o para o dimensionamento de elementos de aço, incluindo pilares, vigas, lajes e as ligações metálicas, além de inúmeros outros itens.

No caso das ligações, as verificações variam conforme a solicitação que ocorrerá na ligação, quais tipos e o tamanho das peças que serão unidas, o tipo da ligação, o material usado e o local em que ela se encontra. A ligação em estudo possui chapa, parafusos e solda e está sujeita ao cisalhamento, com isso possuem verificações específicas que devem ser analisadas.

3.9.1 Espaçamento de furos

O espaçamento entre os furos-padrão devem ser, equação 8 e 9:

$$ES_{mín} > 2,7 \times d_b \quad (8)$$

Onde $ES_{mín}$ é o espaçamento mínimo entre o centro dos furos e o d_b é o diâmetro do parafuso.

Entretanto, a norma recomenda que use um espaçamento maior que, $3 \times d_b$. Para o espaçamento máximo de furos que liga uma chapa a um perfil, de elementos pintados ou que não estão sujeitos a corrosão, deve seguir os seguintes requisitos:

$$ES_{máx} < \begin{cases} 24 \times e_{mín} \\ 300 \text{ mm} \end{cases} \quad (9)$$

Onde $ES_{máx}$ é o espaçamento máximo entre o centro dos furos e o $e_{mín}$ é a espessura da parte ligada menos espessa.

Além do espaçamento entre furos, existe a verificação dos furos em relação a borda, para a distância mínima do centro do furo até a borda, possui variáveis como d_b e o tipo da borda, respeitando a Tabela 2.

Tabela 2 – Distância mínima do centro de um furo à borda

Diâmetro d_b		Borda cortada com serra ou tesoura	Borda laminada ou cortada a maçarico
pol	mm	mm	mm
1/2		22	19
5/8	16	29	22
3/4		32	26
	20	35	27
7/8	22	38	29
	24	42	31
1		44	32
1 1/8	27	50	38
	30	53	39
1 1/4		57	42
	36	64	46
> 1 1/4	> 36	$1,75 d_b$	$1,25 d_b$

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

Para a distância máxima do centro do furo até a borda, deve respeitar a equação 10, qual apresentar o menor valor:

$$Eb_{m\acute{a}x} < \begin{cases} 12 \times e \\ 150 \text{ mm} \end{cases} \quad (10)$$

Onde $Eb_{m\acute{a}x}$ é o espaçamento máximo entre o centro do furo até a borda da peça e e é a espessura da parte ligada considerada.

3.9.2 Cisalhamento dos parafusos

Para um parafuso que está submetido o esforço de cisalhamento, a resistente de cálculo deverá ser calculada, com base em seu plano de corte, sendo necessária o uso da equação 11.

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha \times A_B \times f_{ub}}{\gamma_{a2}} \quad (11)$$

Sendo:

$$A_B = 0,25 \times \pi \times d_b^2 \quad (12)$$

Onde $F_{v,Rd}$ é a resistente de cálculo do cisalhamento do parafuso, α varia de acordo com o plano de corte, se o plano de corte passa pela rosca o valor é 0,4 e se não passa pela rosca é 0,5, A_B é a área bruta com base no diâmetro do parafuso (d_b), f_{ub} é a resistência a ruptura do material do parafuso e por fim, γ_{a2} que é o coeficiente de ponderação das resistências, relacionado com a ruptura e com valor de 1,35.

3.9.3 Pressão de contato em furos

Para o cálculo da força resistente da pressão de contato na parede de um furo ($F_{c,Rd}$), quando a limitação do projeto é a deformação no furo para forças de serviço, deve-se calcular com base na equação 13.

$$F_{c,Rd} = \frac{1,2 \times l_f \times t \times f_u}{\gamma_{a2}} \leq \frac{2,4 \times d_b \times t \times f_u}{\gamma_{a2}} \quad (13)$$

Onde l_f é a distância da borda do furo até a borda do furo ao lado ou a borda da peça, sendo necessário analisar a direção da força para encontrar a distância, t é a espessura das peças que estão sendo analisada e f_u é a resistência à ruptura do aço.

3.9.4 Colapso por rasgamento da chapa de ligação

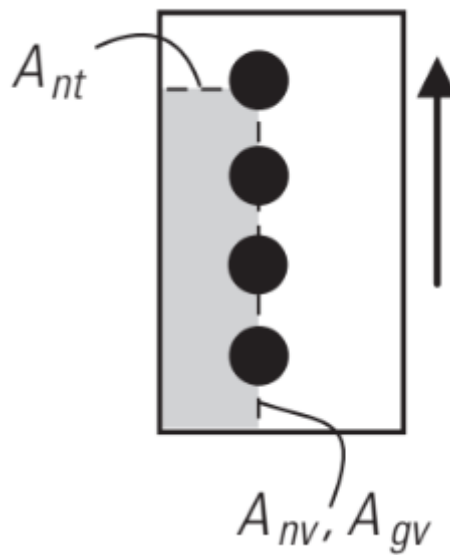
O colapso por rasgamento ($F_{r,Rd}$), é um estado limite que, a força resistente é definida pela adição das forças que resiste ao cisalhamento da linha de falha e a tração de uma seção perpendicular. A força resistente do colapso por rasgamento é determinada pela equação 14.

$$F_{r,Rd} = \frac{1}{\gamma_{a2}} (0,60 \times f_u \times A_{nv} + C_{ts} \times f_u \times A_{nt}) \leq \frac{1}{\gamma_{a2}} (0,60 \times f_y \times A_{gv} + C_{ts} \times f_u \times A_{nt}) \quad (14)$$

Onde A_{gv} é a área bruta que está sujeita ao cisalhamento que pode ocorrer o rasgamento, ou seja, a parte que sofre cisalhamento, desde o centro do último parafuso até a borda da peça, multiplicada pela espessura da peça que está sendo analisada, o A_{nv} é a área líquida sujeita ao cisalhamento e a ruptura, que é a área bruta que está sujeita ao cisalhamento e a ruptura, menos a área que representa os diâmetros dos furos, multiplicado pela espessura da peça e o A_{nt} , é a área líquida

sujeita à tração, que é um segmento perpendicular a parte que está cisalhada, representado pela multiplicação do segmento menos metade do furo, pela espessura da peça, conforme pode ser observado em um exemplo na Figura 14. O C_{ts} que é um coeficiente de redução da área líquida efetiva, podendo ser 1,0 ou 0,5, se a tensão de tração na área líquida for uniforme é 1,0 e se não for uniforme é 0,5. Por fim, o f_y que representa a resistência ao escoamento do aço.

Figura 14 – Situação típica em que deve ser verificado o estado-limite



Fonte: (FAKURY, SILVA e CALDAS, 2016)

3.9.5 Cisalhamento da chapa

Para encontrar a resistente de cálculo da força cortante da chapa (F_{Rd}), que compõe a ligação e está sujeita a cisalhamento, é necessário calcular o estado-limite último de escoamento, que está representado na equação 15, e o estado-limite último de ruptura, representado na equação 16. O menor valor obtido entre as duas equações, deverá ser considerado no projeto como a força resistente.

$$F_{Rd} = \frac{0,60 \times f_y \times A_{gvc}}{\gamma_{a1}} \quad (15)$$

$$F_{Rd} = \frac{0,60 \times f_u \times A_{nvc}}{\gamma_{a2}} \quad (16)$$

Onde A_{gvc} é área bruta que está sujeita ao cisalhamento da chapa, γ_{a1} é um coeficiente de ponderação para o estado-limite último relacionado ao escoamento, flambagem e instabilidade e possui valor de 1,10 e A_{nvc} é área líquida de cisalhamento da chapa.

Além disso, a NBR 8800 traz o cisalhamento na alma da viga, que é igual as equações 15 e 16, mudando a resistência à ruptura do aço e a resistência ao escoamento do aço, que será com os valores que representa a viga invés da chapa, caso seja diferente. E a área bruta sujeita ao cisalhamento e a área líquida sujeita ao cisalhamento que serão respectivas a viga em análise.

3.9.6 Solda

Para a solda tipo filete, a norma traz algumas verificações e força resistente de cálculo, quando comparada com os parafusos, as verificações são poucas. A primeira verificação é a respeito da compatibilidade do metal-base com o metal de solda, que pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3 – Compatibilidade do metal-base com o metal da solda^{a),b)}

	Metal-base		Metal da solda compatível			
	ABNT	ASTM	Arco elétrico com eletrodo revestido (SMAW)	Arco submerso (SAW)	Arco elétrico com proteção gasosa (GMAW)	Arco elétrico com fluxo no núcleo (FCAW)
Grupo I	NBR 6648 (CG-26 - $t \leq 20$ mm) NBR 6649 (CF-26) NBR 6650 (CF-26) NBR 7007 (MR 250 - $t \leq 19$ mm)	A36 ($t \leq 19$ mm) A500 Grau A A500 Grau B	AWS A5.1 - E60XX, E70XX AWS A5.5 ^e - E70XX-X	AWS A5.17 - F6XX-EXXX, F6XX-ECXXX, F7XX-EXXX, F7XX-ECXXX AWS A5.23 ^e - F7XX-EXXX-XX, F7XX-ECXXX-XX	AWS A5.18 - ER70S-X, E70C-XC, E70C-XM (exceto -GS) AWS A5.28 ^e - ER70S-XXX, E70C-XXX	AWS A5.20 - E6XT-X, E6XT-XM, E7XT-X, E7XT-XM (exceto -2, -2M, -3, -10, -13, -14 e -GS e exceto -11 com espessura superior a 12 mm) AWS A5.29 ^e - E6XTX-X, E6XT-XM, E7XTX-X, E7XTX-XM
Grupo II	NBR 5000 (G-30) NBR 5000 (G-35) NBR 5004 (F-32/Q-32) NBR 5004 (F-35/Q-35) NBR 5004 (Q-40) NBR 5008 (CGR 400) ^d NBR 5008 (CGR 500) ^d NBR 5008 (CGR 500A) ^d NBR 5920 (CFR 500) ^d NBR 5921 (CFR 400) ^d NBR 5921 (CFR 500) ^d NBR 6648 (CG-26 - $t > 19$ mm) NBR 6648 (CG-28) NBR 6649 (CF-28) NBR 6650 (CF-28) NBR 6650 (CF-30) NBR 7007 (MR 250 - $t > 19$ mm) NBR 7007 (AR-350) NBR 7007 (AR-350 COR) NBR 8261 (Graus B e C)	A36 ($t > 19$ mm) A242 ^d A572 Grau 42 A572 Grau 50 A572 Grau 55 A992 A588 ^d	AWS A5.1 - E7015, E7016, E7018, E7028 AWS A5.5 ^e - E7015-X, E7016-X, E7018-X	AWS A5.17 - F7XX-EXXX, F7XX-ECXXX AWS A5.23 ^e - F7XX-EXXX-XX, F7XX-ECXXX-XX	AWS A5.18 - ER70S-X, E70C-XC, E70C-XM (exceto -GS) AWS A5.28 ^e - ER70S-XXX, E70C-XXX	AWS A5.20 - E7XT-X, E7XT-XM (exceto -2, -2M, -3, -10, -13, -14 e -GS e exceto -11 com espessura superior a 12 mm) AWS A5.29 ^e - E7XTX-X, E7XTX-XM
Grupo III	NBR 5000 (G-42) NBR 5000 (G-45) NBR 5004 (Q-42) NBR 5004 (Q-45) NBR 7007 (AR-415)	A572 Grau 60 A572 Grau 65 A913 ^c	AWS A5.5 ^e - E8015-X, E8016-X, E8018-X	AWS A5.23 ^e - F8XX-EXXX-XX, F8XX-ECXXX-XX	AWS A5.28 ^e - ER80S-XXX, E80C-XXX	AWS A5.29 ^e - E8XTX-X, E8XTX-XM

^a Em juntas constituídas de metais-base de grupos diferentes, podem ser usados metais da solda compatíveis com o metal-base de maior resistência ou de menor resistência, devendo-se usar eletrodos de baixo hidrogênio para a segunda opção. O preaquecimento deve ser baseado no grupo de maior resistência.

^b Quando for feito alívio de tensões nas soldas, o metal da solda não pode conter mais de 0,05 % de vanádio.

^c As limitações da AWS D1.1 relativas à entrada de calor não se aplicam ao ASTM A913, graus 60 e 65.

^d Podem ser necessários processos e materiais de soldagem especiais (por exemplo: eletrodos de baixa liga E80XX-X) para atender às características de resistência à corrosão atmosférica e de resistência ao choque do metal-base - ver AWS D1.1.

^e Metais de solda dos grupos B3, B3L, B4, B4L, B5, B5L, B6, B6L, B7, B7L, B8, B8L, B9, ou qualquer grau BXH, na AWS A5.5, A5.23, A5.28 e A5.29, não são pré-qualificados.

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

Para a força resistente de cálculo do metal da solda filete sujeita ao cisalhamento ($F_{w,Rd}$), pode ser calculado com base na equação 17.

$$F_{w,Rd} = \frac{0,60 \times A_w \times f_w}{\gamma_{w2}} \quad (17)$$

Onde A_w é a área efetiva da solda, sendo calculada pelo produto do comprimento efetivo da solda pela espessura da garganta efetiva, que é a distância entre a raiz da solda e o lado externo do triângulo inscrito, f_w é a resistência mínima à tração do metal da solda e γ_{w2} que é um coeficiente de ponderação que vale 1,35.

Para o tamanho mínimo da perna do filete, é necessário verificar a Tabela 4.

Tabela 4 – Tamanho mínimo da perna de uma solda de filete

Menor espessura do metal-base na junta mm	Tamanho mínimo da perna da solda de filete, d_w^a mm
Abaixo de 6,35 e até 6,35	3
Acima de 6,35 até 12,5	5
Acima de 12,5 até 19	6
Acima de 19	8

^a Executadas somente com um passe.

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

3.10 EUROCODE

A União Europeia possui seu próprio conjunto de normas, que são aplicáveis em todo o continente, contudo cada país possui autonomia para criar soluções específicas que complementem as normas. De acordo com o site oficial da Eurocode, a partir de 1990, o Comitê Europeu de Normalização começou a desenvolver as Eurocodes Estruturais, sob orientação e coordenação do Comitê Técnico do CEN 250, a fim de padronizar o cálculo e dimensionamento das diversas estruturas existentes, e ao fim da década de 90, as normas desenvolvidas já estavam publicadas. Sendo elas:

- EN 1990 Eurocode 0: Bases de Projeto;
- EN 1991 Eurocode 1: Ações em Estruturas;
- EN 1992 Eurocode 2: Projeto de Estruturas de Concreto;
- EN 1993 Eurocode 3: Projeto de Estruturas de Aço;
- EN 1994 Eurocode 4: Projeto de Estruturas Mistas Aço-Concreto;

- EN 1995 Eurocode 5: Projeto de Estruturas de Madeira
- EN 1996 Eurocode 6: Projeto de Estruturas de Alvenaria;
- EN 1997 Eurocode 7: Projeto Geotécnico;
- EN 1998 Eurocode 8: Disposições para Projeto de Estruturas Resistentes aos Sismos;
 - EN 1999 Eurocode 9: Projeto de Estruturas de Alumínio.

A norma usada para o presente trabalho será a Eurocode 3 – Projetos de estruturas de aço, que é dividida em 20 partes:

- EN 1993-1-1: Regras e regras gerais para edifícios;
- EN 1993-1-2: Regras gerais – Projeto de incêndios estruturais;
- EN 1993-1-3: Regras gerais – Regras suplementares para membros formados a frio e folhas;
- EN 1993-1-4: Regras gerais - Regras suplementares para aços inoxidáveis;
- EN 1993-1-5: Regras gerais - Elementos estruturais revestidos;
- EN 1993-1-6: Força e estabilidade das estruturas de conchas;
- EN 1993-1-7: Força e estabilidade de estruturas planas sujeitas a carga fora do plano;
- EN 1993-1-8: Projeto de juntas;
- EN 1993-1-9: Fadiga;
- EN 1993-1-10: Propriedades de resistência e espessura do material;
- EN 1993-1-11: Projeto de estruturas com componentes de tensão;
- EN 1993-1-12: Geral - Aços de alta resistência;
- EN 1993-2: Pontes de aço;
- EN 1993-3-1: Torres, mastros e chaminés – Torres e mastros;
- EN 1993-3-2: Torres, mastros e chaminés – Chaminés;
- EN 1993-4-1: Silos;
- EN 1993-4-2: Tanques;
- EN 1993-4-3: Oleodutos;
- EN 1993-5: Empilhamento;
- EN 1993-6: Estruturas de suporte de guindaste.

Para este trabalho será usado a parte EN 1993-1-8: Projeto de juntas, ou também conhecida como, Projeto de ligações, que trata a respeito sobre os cálculos

de dimensionamento e verificações das ligações metálicas. A primeira versão foi lançada em 2005, entretanto passou por algumas atualizações, sendo a mais recente lançada em 2020, que será usada para o presente trabalho.

3.10.1 Espaçamento de furos

A distância mínima entre o eixo dos furos que a norma europeia traz é:

$$Es_{min} > 2,2 \times d_0 \quad (18)$$

Onde d_0 é o diâmetro do furo.

Para distância máxima entre o eixo dos furos, é o menor valor da equação 19.

$$Es_{máx} < \begin{cases} 14 \times t_0 \\ 200 \text{ mm} \end{cases} \quad (19)$$

Onde t_0 é a espessura da peça de menor espessura.

Para a distância mínima do centro do furo até a borda, usa-se a equação 20.

$$Eb_{min} > 1,2 \times d_0 \quad (20)$$

Onde Eb_{min} é o espaçamento mínimo do eixo do furo até a borda da peça.

Já a distância máxima do centro do furo até a borda, usa-se a equação 21.

$$Eb_{máx} < 4 \times t_0 + 40 \text{ mm} \quad (21)$$

3.10.2 Cisalhamento dos parafusos

O valor da resistência de cálculo de um parafuso que está submetido ao cisalhamento da norma europeia, assim como na norma brasileira, vai depender se o

plano de corte passa pela rosca do parafuso, além disso a classe de resistência dos parafusos também influencia no resultado. Conforme pode ser observado na equação 22:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_V \times f_{ub} \times A_B}{\gamma_{M2}} \quad (22)$$

Onde α_V varia conforme o plano de corte, se o plano de corte não passa pela rosca, o valor é 0,6, se o plano de corte passa pela rosca o valor pode ser 0,5 ou 0,6, dependendo da classe do parafuso, e γ_{M2} é um coeficiente de segurança com o valor de 1,25.

3.10.3 Pressão de contato em furos

Para resistência de cálculo da pressão de contato ($F_{b,Rd}$), a norma europeia traz algumas fórmulas que devem ser avaliadas, para qual é a correta de ser usada, como a ligação em estudo possui sobreposição simples com uma fileira de parafusos na direção da força, o valor da resistência para cada parafuso não deve exceder a equação 23. Além disso, para esse caso a Eurocode apresenta que o parafuso deve conter arruelas sob a cabeça e sob a porca.

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \times d_b \times t \times f_u}{\gamma_{M2}} \quad (23)$$

3.10.4 Colapso por rasgamento da chapa de ligação

Para o valor de cálculo da resistência ao colapso por rasgamento da chapa ($V_{eff,2,Rd}$), a Eurocode traz a equação 24, para esse cálculo, assim como na norma brasileira, é preciso avaliar se a área na tensão de tração é uniforme ou não. Caso essa área seja uniforme o valor 0,5 da equação 24, é substituído por 1,0.

$$V_{eff,2,Rd} = \left[0,5 \times A_{nt} \times f_u + \min \left(\frac{A_{gv} \times f_y}{\sqrt{3}}, \frac{A_{nv} \times f_u}{\sqrt{3}} \right) \right] \div \gamma_{M2} \quad (24)$$

3.10.5 Cisalhamento da chapa

Para o cisalhamento da chapa, diferente da norma brasileira que apresenta a resistente de cálculo sendo, estados-limites de escoamento e de ruptura, a norma europeia define sendo o cálculo da resistência ao cisalhamento da seção bruta ($V_{v,p,Rd}$), equação 25, e cálculo da resistência ao cisalhamento da seção líquida ($V_{u,p,Rd}$), equação 26. Mesmo trazendo nomenclaturas diferente, o conceito é o mesmo, usando variáveis como resistência ao escoamento do aço, resistência à ruptura do aço, áreas bruta e líquida cisalhada.

$$V_{v,p,Rd} = \frac{A_{gvc} \times f_y}{1,27 \times \sqrt{3} \times \gamma_{M0}} \quad (25)$$

$$V_{u,p,Rd} = \frac{A_{nvc} \times f_u}{\sqrt{3} \times \gamma_{M2}} \quad (26)$$

Sendo que, a Eurocode traz a equação para o A_{nvc} , equação 27, diferente da NBR 8800 que não traz.

$$A_{nvc} = A_{gvc} - n_1 \times d_0 \times t_c \quad (27)$$

Onde γ_{M0} é um coeficiente parcial para resistência de seções transversais baseada em uma análise analítica com um modo de falha dúctil que fornece um limite inferior dos dados de teste com o valor de 1,0, n_1 é igual ao número de linhas de parafusos horizontais e t_c é a espessura da chapa.

3.10.6 Solda

Para a resistência da solda sujeita ao cisalhamento ($f_{vw,d}$), deve ser usada a equação 28.

$$f_{vw,d} = \frac{f_{u0}}{\sqrt{3} \times \beta_w \times \gamma_{M2}} \quad (28)$$

Onde β_w é definido pela Tabela 5 e f_{u0} é o limite de resistência à tração nominal da peça unida, que possui o menor grau de resistência.

Tabela 5 – Fator de correlação β_w para soldas de ângulo

Standard and steel grade				Correlation factor β_w
EN 10025 series	EN 10210-1	EN 10219-1	EN 10149-2	
S 235 S 235 W	S 235 H	S 235 H		0,80
S 275 S 275 N/NL S 275 M/ML	S 275 H S 275 NH/NLH	S 275 H S 275 NH/NLH S 275 MH/MLH		0,85
S 355 S 355 N/NL S 355 M/ML S 355 W	S 355 H S 355 NH/NLH	S 355 H S 355 NH/NLH S 355 MH/MLH		0,90
S 420 N/NL S 420 M/ML	S 420 NH/NLH	S 420 NH/NLH S 420 MH/MLH		0,88
S 450				1,05
S 460 N/NL S 460 M/ML S 460 Q/QL/QL1	S 460 NH/NLH	S 460 NH/NLH S 460 MH/MLH		0,85
S 500 Q/QL/QL1			S 500 MC	0,90
S 550 Q/QL/QL1			S 550 MC	0,95
S 620 Q/QL/QL1			S 600 MC	1,05
S 690 Q/QL/QL1			S 650 MC S 700 MC	1,10

Fonte: (Eurocode 3 Part 1-8: Ligações, 2005)

Para garantir a ductilidade das ligações *fin plate*, a Eurocode ainda apresenta o cálculo da espessura mínima da garganta da solda ($a_{mín}$), que pode ser observada na equação 29.

$$a_{mín} = \frac{f_{y,p} \times \beta_w \times \gamma_{M2}}{f_{u0} \times \sqrt{2} \times \gamma_{M0}} \quad (29)$$

Onde $f_{y,p}$ é a resistência de escoamento da viga apoiada e β_w é definido pela Tabela 5.

3.10.7 Outras resistências

Além desses cálculos de resistências apresentados, a norma europeia traz mais algumas verificações de resistência, específicas para a ligação *fin plate*, que foram inseridas na atualização da norma em 2020, que antes não eram encontradas na Eurocode e não são encontradas na NBR 8800.

Uma dessas resistências, é o cálculo de resistência ao cisalhamento da flexão da chapa, que é definido pelas equações 30 e 31.

$$h_p \geq 2,73 \times z \quad (30)$$

Onde h_p é a altura da chapa e z é a distância da mesa do pilar até o centro do furo da chapa.

Se a equação 30 ocorre, esse modo de falha não é relevante.

$$h_p < 2,73 \times z \quad (31)$$

Entretanto, se a equação 31 ocorre, é necessário calcular, a resistência ao cisalhamento da flexão da chapa ($V_{c,p,Rd}$), equação 32.

$$V_{c,p,Rd} = \frac{t_c \times (h_p)^2 \times f_y}{6 \times z \times \gamma_{M0}} \quad (32)$$

A Eurocode também traz o cálculo da resistência ao cisalhamento devido a flambagem da chapa ($V_{b,p,Rd}$), equações 34, 35 ou 37. Se:

$$z > \frac{t_c}{0,15} \quad (33)$$

Onde z pode variar conforme o número de linhas verticais de parafusos.

Se a equação 33 ocorre, então:

$$V_{b,p,Rd} = \frac{t_c \times (h_p)^2 \times \chi_{LT} \times f_y}{6 \times z \times 0,6 \times \gamma_{M1}} \quad (34)$$

Mas:

$$V_{b,p,Rd} \leq \frac{t_c \times (h_p)^2 \times f_y}{6 \times z \times \gamma_{M0}} \quad (35)$$

Onde χ_{LT} é um fator de redução para flambagem lateral por torção, que pode ser encontrado na Eurocode 3 Part 1-1 e γ_{M1} é um coeficiente parcial de resistência dos membros à instabilidade, que vale 1,1.

Entretanto, se a equação 36 ocorre:

$$z \leq \frac{t_c}{0,15} \quad (36)$$

Então:

$$V_{b,p,Rd} = \frac{t_c \times h_p^2 \times f_y}{6 \times z \times \gamma_{M0}} \quad (37)$$

3.11 ESTUDO COMPARATIVO ENTRE A ABNT NBR 8800 E EUROCODE 3 PART 1-8

A Eurocode apresenta cálculos específicos para diversos tipos de ligações, com as devidas verificações que as ligações necessitam, algo que a NBR 8800 não possui. Para exemplificar, a Tabela 6 é um resumo comparativo do que foi dito anteriormente, estando presente a nomenclatura e aonde esses parâmetros são encontrados, para ressaltar as principais diferenças entre as normas.

Tabela 6 – Resumo Comparativo dos parâmetros utilizados na ANBT NBR 8800 e EUROCODE 3 Part 1-8

Parâmetro	Nomenclatura		Equação ou ilustração	
	NBR 8800	EUROCODE 3	NBR 8800	EUROCODE 3
Espaçamento entre furos	E_s	E_s	Equações 8 e 9	Equações 18 e 19
Espaçamento de um furo à borda	E_b	E_b	Tabela 2 e equação 10	Equações 20 e 21
Cisalhamento dos parafusos	$F_{v,Rd}$	$F_{v,Rd}$	Equação 11	Equação 22
Pressão de contato em furos	$F_{c,Rd}$	$F_{b,Rd}$	Equação 13	Equação 23
Colapso por rasgamento da chapa	$F_{t,Rd}$	$V_{eff,2,Rd}$	Equação 14	Equação 24
Cisalhamento da chapa	F_{Rd}	$V_{v,p,Rd}$ e $V_{u,p,Rd}$	Equações 15 e 16	Equações 25 e 26
Cisalhamento na alma da viga	F_{Rd}	Não apresenta	Equações 15 e 16	Não apresenta
Compatibilidade: metal base x metal solda	-	Não apresenta	Tabela 3	Não apresenta
Cisalhamento da solda	$F_{w,Rd}$	$f_{vw,d}$	Equação 17	Equação 28
Tamanho mínimo da perna da solda	d_w	Não apresenta	Tabela 4	Não apresenta
Espessura mínima da garganta da solda	Não apresenta	$a_{mín}$	Não apresenta	Equação 29
Flexão da chapa	Não apresenta	$V_{c,p,Rd}$	Não apresenta	Equação 32
Flambagem da chapa	Não apresenta	$V_{b,p,Rd}$	Não apresenta	Equações 34, 35 e 37

Fonte: (Arquivo próprio, 2023)

4 METODOLOGIA

Para realização do trabalho será usado como base a norma brasileira de estrutura metálica e norma europeia, sendo elas, a ABNT NBR 8800:2008 e a Eurocode 3 Part 1-8. Elas são referências nacional e internacional, na realização de projetos, com dimensionamentos e verificações usando o aço, inclusive nas ligações, por causa disso elas foram a base para a revisão bibliográfica.

Com isso, foi realizado um comparativo de uma ligação metálica do projeto do novo prédio do IFMG *Campus* Piumhi, que é de estrutura metálica. Para escolha da ligação a ser usada, foi analisado as ligações que o projeto possui e ver qual é a mais usada nas uniões de pilar-viga. Após a escolha da ligação de estudo, será realizado um estudo sobre a metodologia que as normas trazem sobre a ligação.

Possuindo caráter exploratório, após a escolha da ligação de estudo, será realizado um estudo sobre a metodologia que as normas trazem sobre a junta em estudo, analisando os cálculos de dimensionamento e verificações, propostos por ambas as normas. Com isso, será realizado uma comparação nos valores obtidos, citado na revisão bibliográfica, com auxílio do *software* Excel, no intuito de otimizar os cálculos e gerar gráficos comparativos, a fim de visualizar as diferenças e semelhanças que existem nas normas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A escolha do local para o estudo, foi o novo prédio do IFMG, fica ao lado do *Campus* Piumhi, localizada na Rua Severo Veloso, 1880 – Bairro Bela Vista, na cidade de Piumhi – MG, onde abrigará os novos laboratórios do *Campus*, o local da nova estrutura pode ser observado na Figura 15, representado por um retângulo preto.

Figura 15 – *Campus* Avançado IFMG - Piumhi



Fonte: (Google Earth, 2021)

A nova edificação é de estrutura metálica, com pilares, vigas e juntas de aço, conforme pode ser observado na Figura 16, que mostra a edificação vista de cima, sendo possível ver os perfis metálicos que compõem a estrutura.

Figura 16 – Foto aérea do novo prédio do IFMG



Fonte: (Humberto Melo, 2022)

Para escolha da ligação, foi feita uma análise no projeto e observado qual era a ligação mais usada no projeto e foi constatado que a maioria das uniões eram feitas pela ligação *fin plate*, Figura 17 e Figura 18. Com isso, foi feito uma revisão das normas e realizado um levantamento dos cálculos das resistências que as normas apresentam sobre a ligação.

Figura 17 – Frente da ligação em análise



Fonte: (Arquivo próprio, 2023)

Figura 18 – Verso da ligação em análise

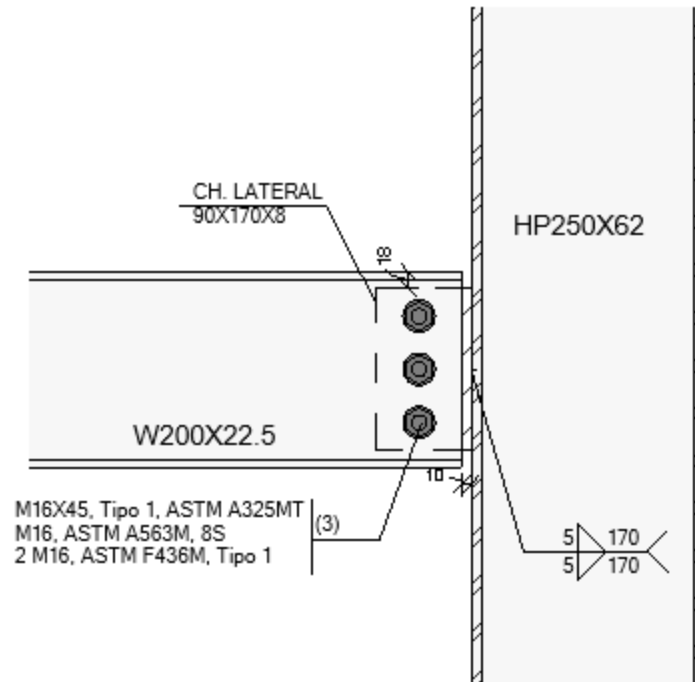


Fonte: (Arquivo próprio, 2023)

Para realizar a comparação, vai ser usado a Tabela 6, na qual é possível observar quais as resistências ambas as normas trazem e as que somente uma norma apresenta, será descartada.

A ligação em estudo, pode ser observada em detalhes na Figura 19, com suas medidas, espessura da chapa, tipos de aço usado nos perfis da viga, pilar e chapa.

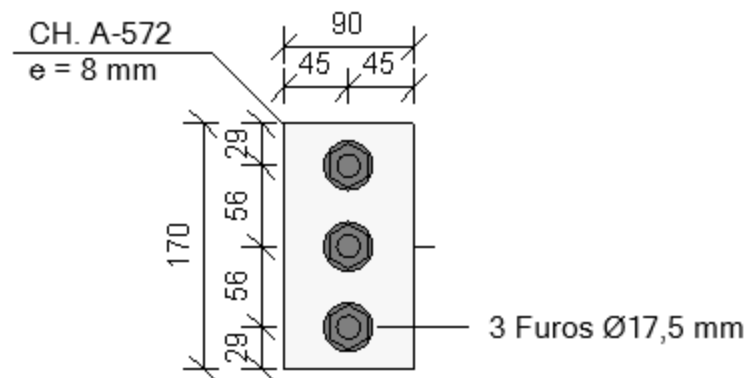
Figura 19 – Detalhamento da ligação



Fonte: (Arquivo próprio, 2023)

A chapa possui as seguintes medidas e especificidades, conforme pode ser observado na Figura 20. As peças metálicas, pilar, viga e chapa, possuem o mesmo tipo de material, o aço A-572.

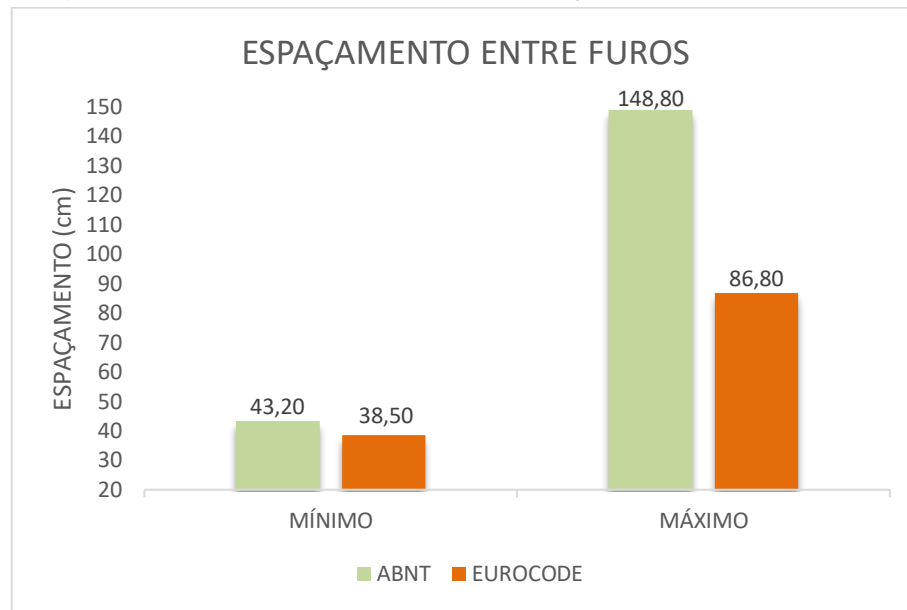
Figura 20 – Detalhamento da chapa



Fonte: (Arquivo próprio, 2023)

O primeiro comparativo é referente ao espaçamento entre furos, Figura 21.

Figura 21 – Comparativo entre o espaçamento entre os furos

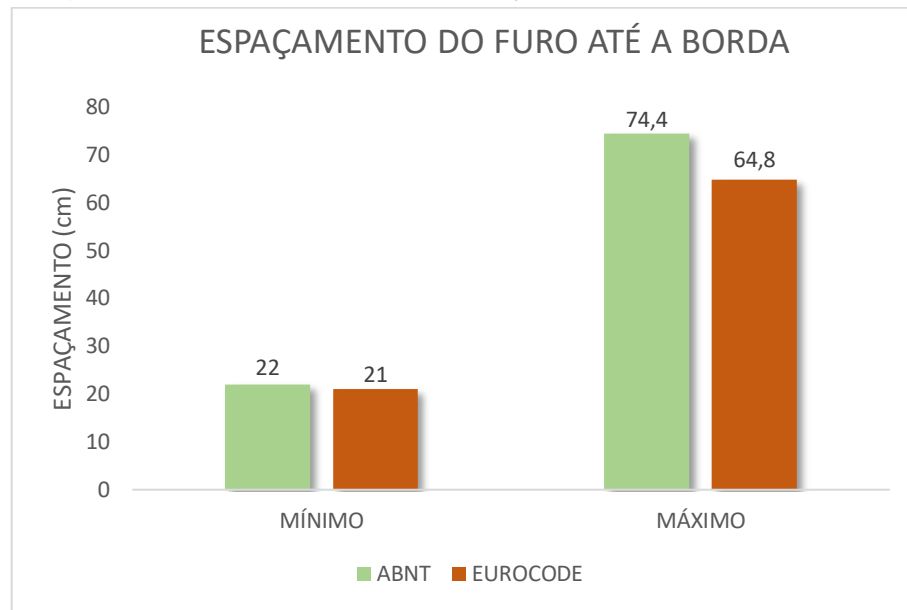


Fonte: (Arquivo próprio, 2023)

No quesito, a norma brasileira se mostrou com valores maiores que a norma europeia, tanto para o espaçamento mínimo e para o máximo. Além de que, no espaçamento máximo entre os furos a ABNT NBR 8800 se mostrou maior em mais de 70% que a Eurocode, exibindo uma grande disparidade de resultado, devido ao fato de que a NBR usa um fator multiplicativo de 24 e a Eurocode de 14, ambas multiplicando a espessura da peça ligada de menor espessura.

O segundo comparativo é referente ao espaçamento do furo até a borda, conforme pode ser observado na Figura 22.

Figura 22 – Comparativo do espaçamento entre furo e borda

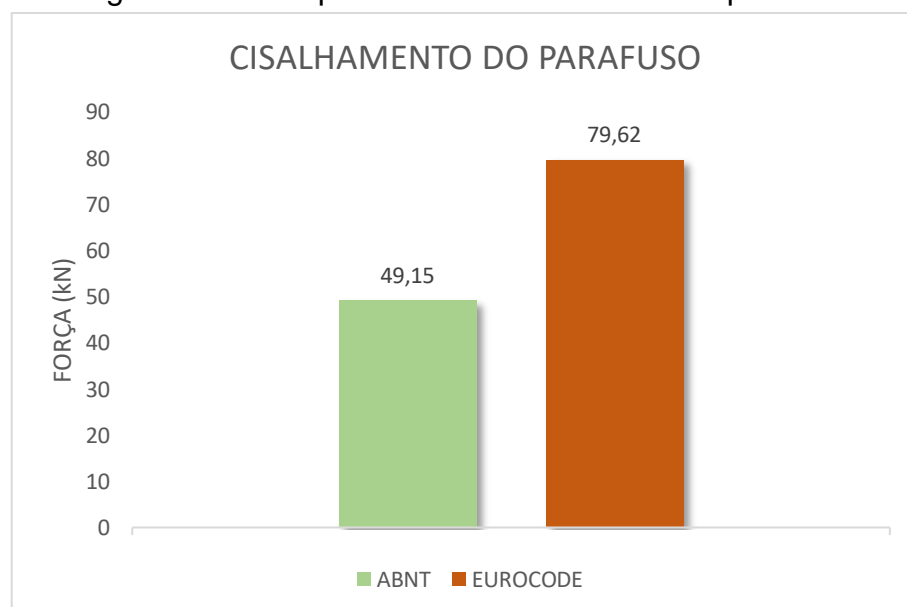


Fonte: (Arquivo próprio, 2023)

Nesse quesito a norma brasileira apresentou valores maiores também, quando comparada com a norma europeia. Para o espaçamento mínimo, as normas apresentaram um resultado parecido, com uma diferença mínima, já para o espaçamento máximo, a NBR 8800 apresentou um valor 15% maior que a Eurocode.

O terceiro comparativo é a respeito ao cisalhamento do parafuso, conforme pode ser visto na Figura 23.

Figura 23 – Comparativo do cisalhamento do parafuso

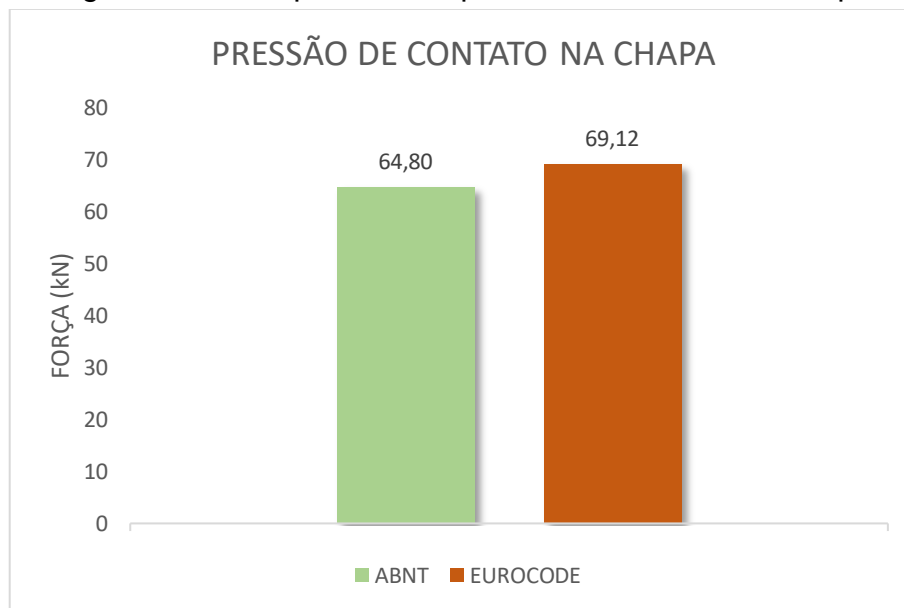


Fonte: (Arquivo próprio, 2023)

Nessa questão a ABNT apresentou valor inferior a Eurocode. A norma europeia mostrou ser 62% maior que a norma brasileira nessa resistência de cálculo, expondo um caráter mais conservador da NBR 8800. A diferença de valores ocorre, pois, a NBR usa um fator multiplicativo de 0,4 e a Eurocode de 0,6, isso representa um fator 50% maior da Eurocode, além de que a norma europeia usa um divisor menor, gerando um aumento no resultado.

O quarto comparativo é referente a pressão de contato na chapa, conforme pode ser observado na Figura 24.

Figura 24 – Comparativo da pressão de contato na chapa

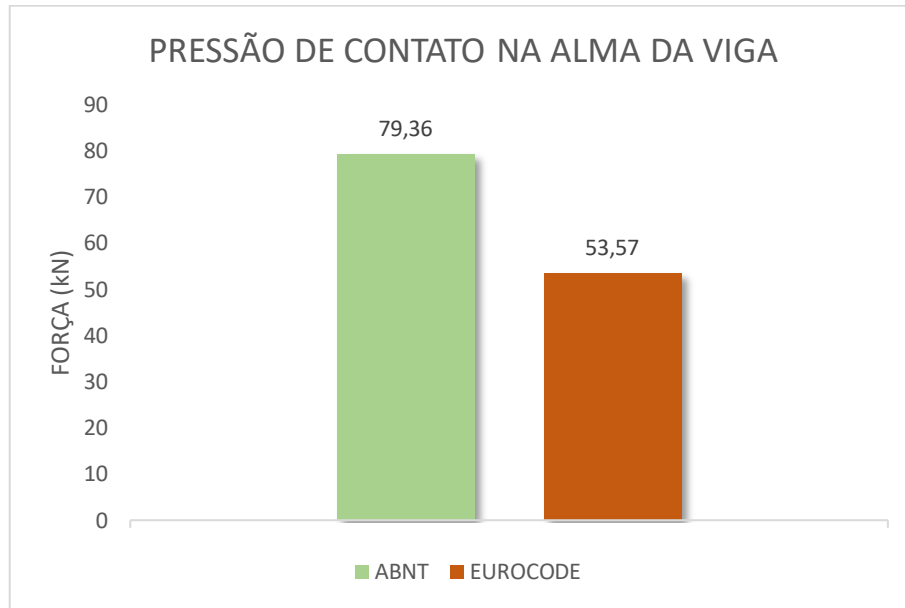


Fonte: (Arquivo próprio, 2023)

Ambas as normas mostraram um resultado similar, sendo que a Eurocode mostrou um resultado, aproximadamente 7%, maior que a NBR 8000. Isso ocorre pelo fato de ambas as fórmulas serem parecidas, enquanto a norma nacional usa, a distância da borda do furo até a borda, a norma estrangeira usa o diâmetro do parafuso, mas como ambos os valores estão próximo, o resultado deu semelhante.

O quinto comparativo é sobre a pressão de contato na alma da viga, Figura 25.

Figura 25 – Comparativo da pressão de contato na alma da viga

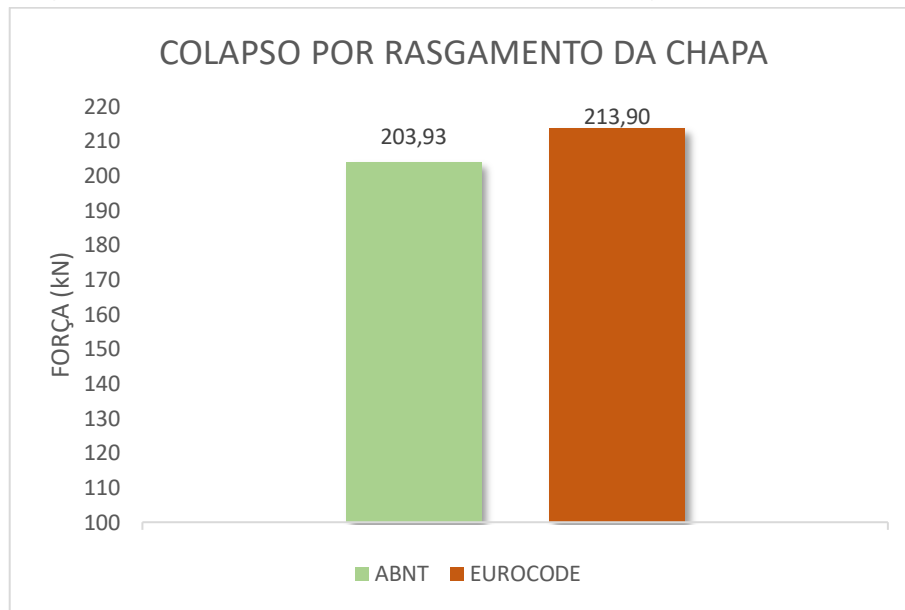


Fonte: (Arquivo próprio, 2023)

Ao contrário da pressão de contato na chapa, na alma da viga a ABNT apresentou um valor notadamente maior, cerca de 48%. A NBR considera duas fórmulas para esse cálculo de resistência, sendo o que apresentar valor menor, é considerado sendo a resistência, nesse caso o que apresentou o menor valor, foi a equação similar a Eurocode, além dos divisores diferentes, o que causa a disparidade é o fator multiplicativo, que a NBR usa um de 2,4, e a Eurocode um de 1,5, gerando assim a assimetria nos resultados.

O sexto comparativo é relativo ao colapso por rasgamento da chapa, que apresentou resultados parecidos, conforme pode ser observado na Figura 26.

Figura 26 – Comparativo do colapso por rasgamento da chapa

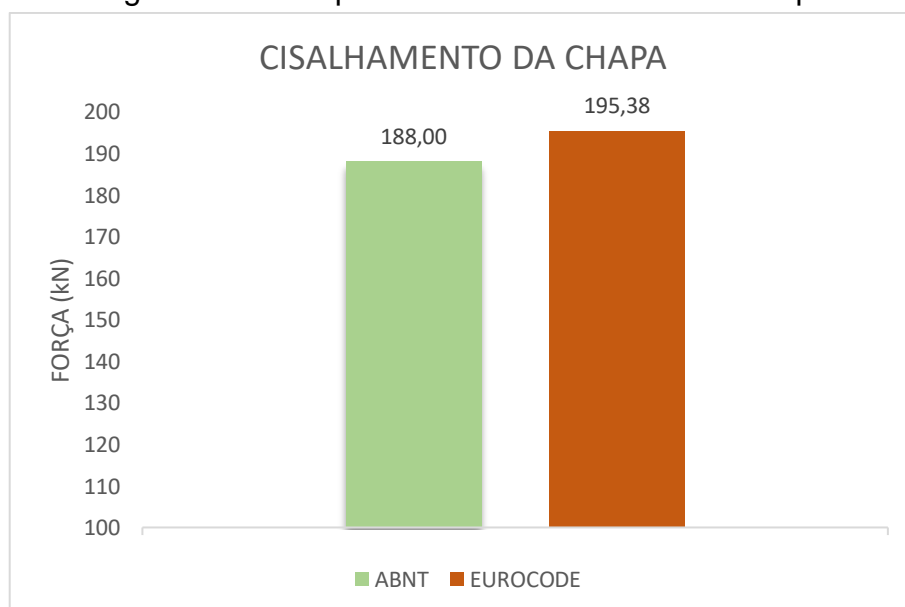


Fonte: (Arquivo próprio, 2023)

A Eurocode mostrou um resultado, aproximadamente 5%, maior que a NBR, isso ocorre pelo fato de que ambas usam parâmetros iguais, como a área bruta de cisalhamento, área líquida de cisalhamento e as resistências do aço, escoamento e ruptura à tração, para calcular a resistência do colapso por rasgamento da chapa.

O sétimo comparativo é sobre o cisalhamento da chapa de ligação, que também apresentou resultados similares, conforme pode ser visto na Figura 27.

Figura 27 – Comparativo do cisalhamento da chapa

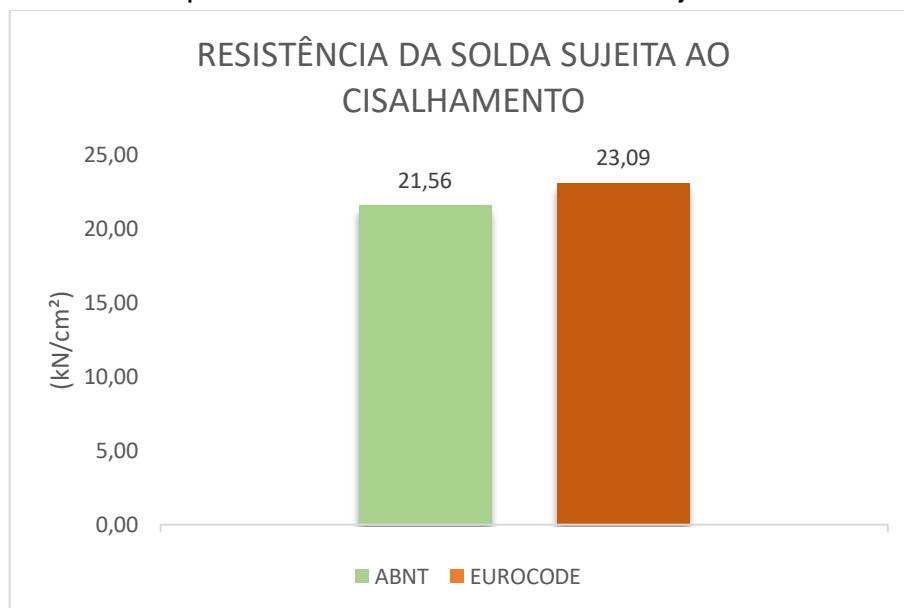


Fonte: (Arquivo próprio, 2023)

A norma europeia apresentou um resultado 4% maior, que a norma brasileira, ambas as normas usam duas fórmulas para o cálculo da resistência, uma usando a área bruta do cisalhamento e a resistência ao escoamento do aço, e a outra usando a área líquida do cisalhamento e a resistência à ruptura do aço à tração. As que obtiveram menores valores, foram as que possuem a área líquida do cisalhamento, o que causou a divergência nos resultados foram os fatores multiplicativos e os divisores que as normas usam.

O oitavo comparativo é a respeito à resistência da solda sujeita ao cisalhamento, onde as normas apareceram um resultado próximo, conforme pode ser visto na Figura 28.

Figura 28 – Comparativo da resistência da solda sujeita ao cisalhamento



Fonte: (Arquivo próprio, 2023)

A Eurocode apresentou um resultado, cerca de 7%, maior que a NBR, entretanto as normas usam fórmulas bem distintas para o cálculo da resistência. Enquanto, a brasileira usa a resistência à tração metal da solda, a europeia usa a resistência à ruptura do aço à tração e um coeficiente de correlação, com base no tipo do aço. Além de usarem fatores multiplicativos e divisores diferentes.

5.1 Resultados adicionais

De acordo com a norma brasileira, a Tabela 3, que mostra a compatibilidade do metal-base com o metal de solda, é possível observar que a solda usada no projeto não é compatível com o metal base. Já que a solda usada foi a E70XX (SMAW), e para esse tipo de solda deve ser usado os metais-base, para a classe ASTM: A36, A500 Grau A ou A500 Grau B e o aço base do projeto é o A572. Para esse tipo de metal-base tem que ser usado um dos metais de solda, para classe SMAW, o E7015, E7016, E7018, E7028, E7015-X, E7016-X ou E7018-X. Evidenciando assim, um erro de projeto por parte do projetista que não agiu de acordo com a norma base nacional.

Além disso, outro ponto de análise a se ressaltar é sobre a norma europeia, que desde o seu lançamento até os dias de hoje, sofreu diversas alterações, devido à inúmera quantidade de pesquisas ao redor do mundo. Na sua última alteração, 2020, a norma teve acréscimo de anexos e um deles é referente a ligação de estudo, a *fin plate*, além dessa ligação, a norma trouxe mais especificidades de outras ligações específicas e usuais. Com isso, diversos novos cálculos e verificações para a ligação *fin plate*, foram introduzidos na norma, representando um aumento da confiança da norma europeia.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a revisão bibliográfica, foi possível analisar as diferenças e semelhanças entre as verificações, cálculos e parâmetros utilizados entre as normas. Mostrando um caráter mais detalhado e extenso em quantidade, da norma europeia quando o assunto é ligação metálica, principalmente da ligação *fin plate*, trazendo anexos específicos e com isso análises específicas, enquanto a norma brasileira não traz nada sobre a ligação de estudo.

Para a ligação em estudo, *fin plate*, a norma europeia se apresenta com mais verificações, quando comparada com a norma brasileira. Com cálculos de resistências específicos para a ligação, como: o cálculo para espessura mínima da garganta da solda, a_{min} , cálculo que a NBR 8800 não traz. Além disso, cálculo de resistência ao cisalhamento da flexão da chapa, $V_{c,p,Rd}$, e o cálculo de resistência ao cisalhamento devido à flambagem da chapa, $V_{b,p,Rd}$, essas verificações são específicas para a ligação *fin plate* que a Eurocode apresentou.

Ambas as normas, apresentaram formulações parecidas, quando ambas apresentaram as mesmas verificações, mudando somente coeficientes e fatores multiplicativos, mas em alguns casos, os fatores por serem diferentes apresentaram uma diferença considerativa no resultado, como no caso do cisalhamento do parafuso.

Além disso, nos resultados de espaçamento e da pressão de contato da alma da viga, que a norma brasileira apresentou resultados superiores a norma europeia, mostrando uma preocupação da Eurocode quanto à disposição dos furos. Todas as outras resistências analisadas a EN 1993 apresentou um valor maior que a NBR 8800, mostrando um caráter conservador da norma brasileira quando o quesito é resistências de cálculos e ligação *fin plate*.

6.1 Sugestões para trabalhos futuros

Ainda, para que possa continuar essa linha de pesquisa, verificou-se alguns possíveis temas para realização de trabalhos futuros, que são:

- Comparativo de outras ligações metálicas entre as normas, para analisar se apresenta uma similaridade com este trabalho;
- Comparativo da ligação com um *software* específico de cálculo de estruturas metálicas entre a(s) norma(s);

- Automatização do dimensionamento da ligação *fin plate*, de acordo com NBR 8800;
- Comparativo entre as normas de ligações viga-viga e (ou) emenda de pilares;
- Realizar o dimensionamento completo da estrutura metálica do prédio do IFMG, campus Piumhi, e analisar se foram adotadas as melhores soluções.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Pedro H. V. D. **ESTUDO E VERIFICAÇÃO DE LIGAÇÕES METÁLICAS**. Brasília: [S.n.], 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro. 2008.
- BIJLAARD, Frans. Eurocode 3, a basis for further development in joint design. **Journal of Constructional Steel Research**, Holando do Sul, 2006.
- CBCA. **Ligações em estruturas metálicas**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2003.
- CEN/TC250. **Eurocode 3 Part 1-8: Ligações**. Bruxelas: [S.n.], 2005.
- FAKURY, Ricardo H.; SILVA, Ana L. R. C. E.; CALDAS, Rodrigo B. **Dimensionamento de elementos estruturais de aço e mistos de aço e concreto**. São Paulo: Pearson Education do Brasil Ltda, 2016.
- FRANCA, Marcelo P. D. A. **Estudo da eficiência dos contraventamento treliçados em edifícios com estrutura de aço**. Pernambuco: [S.n.], 2003.
- GASPAR, Ricardo. **Estruturas Metálicas**. São Paulo: [S.n.], 2008.
- GOECKS, Cristiano. **Análise de ligações parafusadas em estruturas metálicas**. Ijuí: [S.n.], 2011.
- JI, C.; HONG, T.; PARK, H. S. Comparative Analysis of Decision-Making Methods for Integrating Cost and CO2 Emission: focus on building structural design. **Energy and Buildings**, Seoul, v. 72, p. 186-194, Abril 2014.
- JOHN, Vanderley M.; OLIVEIRA, Daniel P. D.; LIMA, José A. R. D. **Levantamento do Estado da arte: seleção de materiais**. São Paulo: FINEP, 2007.
- JOINT RESEARCH CENTRE. Eurocodes. **Eurocodes: Building the future**, 1990. Disponível em: <https://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/>. Acesso em: fev. 2023.
- LIUBARTAS, Déborah *et al.* A sustentabilidade do aço e das estruturas metálicas. **Revista INOVAE - Journal of Engineering and Technology Innovation**, São Paulo, Jan./Abr 2015.
- MATHEUS, Lucas. Instituto Brasileiro de Desenvolvimento da Arquitetura. **Fórum da Construção**, 2020. Disponível em: <http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=19&Cod=1958>. Acesso em: 20 Outubro 2022.
- MORRIS, GLENN A.; PACKER, JEFFREY A. Beam-to-column connections in steel frame. **Canadian Journal of Civil Engineering**, Canadá, v. 14, p. 68-76, 1987.
- NARDIN, Fabiano Â. **A importância da Estrutura Metálica na Construção Civil**. Itatiba: [S.n.], 2008.

NAVARRO, R.F. A Evolução dos Materiais. Parte 1: da Pré-história ao Início da Era Moderna. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, Campina Grande, 1, 2 jun. 2006.

OLIVEIRA, Ana B. D. F. **Inserção de sistemas construtivos industrializados de ciclo aberto estruturados em aço no mercado da construção civil residencial brasileira**. Ouro Preto: [S.n.], 2013.

PARANHOS, Leandro P. *et al.* Estudo Comparativo Entre Ligações Parafusadas e Soldadas em Estruturas Metálicas. **X Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas**, Rio de Janeiro, 9 a 11 Maio 2018.

PAYA-ZAFORTEZA, Ignacio *et al.* CO₂-Optimization of Reinforced Concrete Frames by Simulated Annealing. **Engineering Structures**, Valencia, v. 31, p. 1501-1508, Julho 2009.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. **Estruturas de aço, dimensionamento prático**. 8^a. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2009.

POMMER, Kirsten; PADE, Clauss. **Guidelines - Uptake of carbon dioxide in the life**. Taastrup: Danish Technological Institute, 2005.

RODGERS, Lucy. Revista BBC News Brasil. **BBC**, 2018. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/geral-46591753>. Acesso em: 24 Outubro 2022.

SARRAJ, Marwan. **The Behaviour of Steel Fin Plate Connections in Fire**. Sheffield: University of Sheffield, 2007.

APÊNDICE A – METODOLOGIA E RESULTADOS

*Considerações iniciais:

Ligação submetida a força cortante

Chapas e perfis:	A-572	fy=345 Mpa	fu=450 Mpa
Parafusos:	ASTM A325MT	fyb=635 Mpa	fub=825Mpa
Soldas:	E70XX	fw=48,5 kN/cm ²	

Viga W 200 X 22,5	Kg/m	d (mm)	bf (mm)	tw (mm)	tf (mm)
	22,50	206,00	102,00	6,20	8,00
Pilar HP 250 X 62	62,00	246,00	256,00	10,50	10,70

Viga W 200 X 22,5	h (mm)	d' (mm)	área (cm ²)
	190,00	170,00	29,00
Pilar HP 250 X 62	225,00	-	-

Disposições construtivas:

Diâmetro do furo = 16 + 1,5 = 17,5 mm

ABNT NBR 8800

Espaçamento mínimo entre furos = 2,7 x db =	43,2	
43,2 < 56	Atende!	
Espaçamento máximo entre furos		
56 <	148,8	Atende!
	300	

Distância mínima furo-borda	
22 mm < 29mm	Atende!
Distância máxima furo-borda	
29 mm < 12 x 6,2 = 74,4mm < 150mm	Atende!

Cisalhamento dos parafusos		
Fv,Rd=	49,15	kN
$AB = \frac{\pi \times d^2}{4}$	=	2,01

0,4 pois o plano de corte passa pela rosca

Pressão de contato na chapa de ligação						
lf =	2,025	cm	Fc,Rd =	64,80	kN	Logo, Fc,Rd = 64,8 kN
db =	1,6	cm		102,40	kN	
t =	0,8	cm				
fu =	45	kN/cm ²				

Pressão de contato na alma da viga						
lf =	3,825	cm	Fc,Rd =	94,86	kN	Logo, Fc,Rd = 79,36 kN
db =	1,6	cm		79,36	kN	
t =	0,62	cm				
fu =	45	kN/cm ²				

Colapso por rasgamento da chapa						
Agv =	11,28		Fr,Rd =	155,60	kN	Logo, Fr,Rd=203,33 kN
Anv =	7,78			172,96	kN	
Ant =	2,90					
Cts =	0,50					

Cisalhamento na chapa de ligação						
Agvc =	13,6	FRd =	255,93	kN	FRd = 188 kN	
Anvc =	9,4		188	kN		

Resistência da solda sujeita ao cisalhamento		
Fw,Rd =	21,56	kN/cm ²

EUROCODE

Distância mínima entre furos		
	2,2 x 17,5 =	38,5
	56 > 38,5	Atende!
Distância máxima entre furos		
	14 x 6,2	86,8
56 <	86,8	Atende!
	200	

Distância mínima até a borda		
	1,2 x 17,5 =	21
	29 > 21	Atende!
	45 > 21	
Distância máxima até a borda		
	4 x 6,2 + 40 mm =	64,8
	45 < 64,8	Atende!

Cisalhamento do parafuso		
Fv,Rd =	79,62	kN
$AB = \frac{\pi \times d^2}{4}$	=	2,01

Pressão de contato na chapa de ligação		
Fb,Rd =	69,12	kN

Pressão de contato na alma da viga		
Fb,Rd =	53,57	kN

Colapso por rasgamento da chapa				
Ant =	2,90	cm ²	Usar o mínimo	202,13
Anv =	7,78	cm ²		224,68
Agv =	11,28	cm ²		
Veff,2,Rd =	213,90	kN		

Cisalhamento na chapa de ligação				
Agvc =	13,6	Vv,p,Rd =	213,30	kN
fy =	34,5	Vu,p,Rd =	195,38	kN
Anvc =	9,4			

Resistência da solda sujeita ao cisalhamento		
f _{w,d} =	23,09	kN/cm ²

COMPARATIVO

#	ABNT NBR 8800	EUROCODE 3 - Part 1-8
Distância mínima até a borda	22 cm	21 cm
Distância máxima até a borda	74,40 cm	64,80 cm
Distância mínima entre furos	43,20 cm	38,50 cm
Distância máxima entre furos	148,80 cm	86,80 cm
Cisalhamento dos parafuso	49,15 kN	79,62 kN
Pressão de contato na chapa de ligação	64,80 kN	69,12 kN
Pressão de contato na alma da viga	79,36 kN	53,57 kN

Colapso por rasgamento da chapa	203,93 kN	213,90 kN
Cisalhamento da chapa	188,00 kN	195,38 kN
Resistencia da solda sujeita ao cisalhamento	21,56 kN/cm ²	23,09 kN/cm ²

Fonte: (Arquivo próprio, 2023)