

MARLON FELIPE DOS SANTOS FERREIRA

**LIGAÇÕES EM ESTRUTURAS METÁLICAS: TIPOLOGIAS
DAS LIGAÇÕES SIMPLES E MISTAS PARA PERFIS W TIPO
I E H.**

MARLON FELIPE DOS SANTOS FERREIRA

**LIGAÇÕES EM ESTRUTURAS METÁLICAS: TIPOLOGIAS
DAS LIGAÇÕES SIMPLES E MISTAS PARA PERFIS W TIPO I
E H.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade Pitágoras campus Ipatinga), como requisito parcial para a obtenção do título de graduado em engenharia civil.

Orientador: Rafael Marochi

MARLON FELIPE DOS SANTOS FERREIRA

**LIGAÇÕES EM ESTRUTURAS METÁLICAS: TIPOLOGIAS
DAS LIGAÇÕES SIMPLES E MISTAS PARA PERFIS W
TIPO I E H.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade Pitágoras campus
Ipatinga como requisito parcial para a
obtenção do título de graduado em
Engenharia civil

BANCA EXAMINADORA

Prof(a). Titulação Nome do Professor(a)

Prof(a). Titulação Nome do Professor(a)

Prof(a). Titulação Nome do Professor(a)

Ipatinga, 03 de junho de 2022.

Dedico este trabalho à minha esposa,
Karla Pâmela Silva Ferreira.

FERREIRA, Marlon Felipe dos Santos. **Ligações em estruturas metálicas: tipologias das ligações simples e mistas para perfis w tipo i e h.** 2022- 63 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade Pitágoras, Ipatinga, 2022.

RESUMO

O estudo de ligações em estruturas é pouco ensinado em cursos de graduação e possui uma bibliografia escassa. As ligações influenciam diretamente na estabilidade do modelo estrutural onde estão inseridas e, seu cálculo e projeto devem ser minuciosamente calculados. Para alguns tipos mais comuns de ligações existem padronizações que podem ser utilizadas e inclusive vários softwares de cálculo estrutural como Cypecad, Cype 3D, Mcalclig, Tekla entre outros, já possuem formas padronizadas que são geradas automaticamente no cálculo, porém, para que o programa gere as ligações de forma eficiente, o calculista deve definir qual tipo de ligação e vinculação pretende utilizar, garantindo assim, a eficiência esperada no cálculo, de forma que, para que isso ocorra da melhor forma precisa-se do conhecimento quanto aos tipo de ligações correspondentes à vinculação pretendida. As ligações podem ser dimensionadas pelo engenheiro projetista, porém, a padronização pode trazer um ganho enorme no tempo de execução do projeto, além de já garantir a eficiência por já ter sido executada e testada por seus criadores.

Palavras-chave: Ligações. Estruturas. Vínculos. Metálicas.

FERREIRA, Marlon Felipe dos Santos. **Connections in metallic structures: typologies of single and mixed connections for w-type i and h profiles**. 2022-63 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade Pitágoras, Ipatinga, 2022.

ABSTRACT

The study of connections in structures is little taught in undergraduate courses and has a scarce bibliography. The connections directly influence the stability of the structural model where they are inserted, and their calculation and design must be meticulously calculated. For some more common types of connections, there are standardizations that can be used and even several structural calculation software such as Cypecad, Cype 3D, Mcalclig, Tekla, among others, already have standardized forms that are automatically generated in the calculation, however, for the program to generate the connections efficiently, the calculator must define which type of connection and binding he intends to use, thus guaranteeing the expected efficiency in the calculation, so that, for this to occur in the best way, it is necessary to know the type of corresponding connections to the intended link. The connections can be dimensioned by the design engineer, however, the standardization can bring a huge gain in the execution time of the project, besides already guaranteeing the efficiency for having already been executed and tested by its creators.

Keywords: Connections. structures. bonds. metallic.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Vinculações e características.....	12
Figura 2- Apoio móvel.....	13
Figura 3- Ligações articulada.....	13
Figura 4 - Engaste.....	14
Figura 5 - Disposições construtivas.....	17
Figura 6 - Classificação de Rigidez.....	19
Figura 7 - Ligação flexível soldada – LFS.....	22
Figura 8 - Ligação soldada flexível de topo- LFST.....	23
Figura 9 - Erro de dimensionamento de ligação soldada de topo.....	24
Figura 10 - Ligações LCPP.....	25
Figura 11 - Ligações LCSP.....	26
Figura 12 - Ligação LCHE.....	27
Figura 13 - Ligação LCHS.....	27
Figura 14 - Ligação rígida soldada.....	29
Figura 15 - Ligação LRST.....	29
Figura 16 - Ligações LMPA.....	30
Figura 17 - Ligações LMPA.....	31
Figura 18 - Ligações LMPA.....	32
Figura 19 - Ligação soldada entre vigas de mesma dimensão.....	32
Figura 20 - Ligação aparafusada.....	34
Figura 21 - Simulação para geração de ligação.....	34
Figura 22 - Ligação soldada entre vigas de mesma dimensão.....	35
Figura 23 - Ligação soldada entre vigas de diferentes dimensões.....	36
Figura 24 - Ligação parafusada entre vigas de diferentes dimensões.....	37
Figura 25 - Emenda soldada simples.....	38
Figura 26 - Emenda soldada com chapa de transição.....	39
Figura 27 - Emenda soldada em pilares de dimensões diferentes.....	39
Figura 28 - Ligação do tipo EP1 (a).....	40
Figura 29 - Ligação do tipo EP2.....	41
Figura 30 - Ligações para estruturas em aço.....	41
Figura 31 - Ligação soldada de topo em vigas metálicas diferentes.....	42

Figura 32 - Ligação articulada de vãos adjacentes com pilar de continuidade.....	43
Figura 33 - Ligação articulada de vãos adjacentes com pilar de continuidade.....	44
Figura 34 - Ligação semi-rígida no extremo do vão duma viga com pilar.....	45
Figura 35 - Ligação semi-rígida em linha de pilares, de viga-pilar com viga-pilar.....	46
Figura 36 -Ligação semi-rígida de vãos adjacentes com pilar da última planta....	47
Figura 37 - Ligação articulada no extremo do vão com pilar.....	48
Figura 38 - Ligação articulada no extremo do vão duma viga com pilar da última planta.....	49
Figura 39 - Ligação articulada de vãos adjacentes com pilar da última planta....	50
Figura 40 - Ligação semi-rígida no extremo do vão com pilar da última planta...	51
Figura 41 - Ligações típicas para pórticos semi-rígidos metálicos.....	52
Figura 42 - Ligação em cruz, com continuidade entre vigas metálicas de mesma altura, com torção.....	53
Figura 43 -Ligação em cruz, com continuidade, de vigas metálicas de alturas diferentes.....	54
Figura 44 - Ligação PBR.....	56
Figura 45 - Ligação PBE.....	57
Figura 46 - Formas de fixação mecânica em concreto.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Materiais utilizados em parafusos.....21

Tabela 2- Resistência mínima de metal de solda.....21

LISTA DE SIGLAS

ANSI= American National Standards Institute

AISC= American Institute of Steel Construction

CBCA= Centro Brasileiro de Construção em Aço

ABNT= Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR= Norma Brasileira

ASTM= American society for testing and materials

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	VINCULAÇÕES EM ESTRUTURAS	13
3	TIPOS DE PERFIS ESTRUTURAIS METÁLICOS	17
4	LIGAÇÕES EM PERFIS LAMINADOS WIDE SHAPE FLANGE (W).....	19
4.1	DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS	19
4.2.	MÉTODOS DE CÁLCULO	20
4.3.	CLASSIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES	20
4.3.1	Definição de rigidez	20
4.3.1.1	Ligação semirrígida	21
4.3.1.2	Ligação flexível.....	22
4.3.1.3	Ligação rígida	22
4.4	COMPONENTES DAS LIGAÇÕES.....	22
4.4.1	Ligações flexíveis	25
4.4.1.1	Ligações flexíveis soldadas– LFS/LFST	25
4.4.1.2	Ligação flexível com cantoneiras – LCPP	27
4.4.1.3	Ligação flexível com cantoneiras – LCSP	28
4.4.1.4	Ligação flexível com chapa de extremidade – LCHE	29
4.4.1.5	Ligação flexível com chapa simples – LCHS.....	30
4.4.2	Ligações rígidas	31
4.4.2.1	Ligação rígida soldada LRS/LFRT.....	31
4.4.2.2	Ligação rígida com chapas de cabeça parafusadas assimétricas–LMPA 32	
4.4.2.3	Ligações rígidas soldadas simétricas – LMSS	33
4.4.2.4	Ligações rígidas simétricas com perfis "t" laminados - LT/LMTS	34
4.5	LIGAÇÕES ADICIONAIS	35
4.5.1	Ligações entre vigas.....	35
4.5.2	Ligação soldada entre vigas de mesma dimensão.	36
4.5.3.	Ligação aparafusada entre vigas de mesma dimensão.....	38
4.5.4	Ligação soldada entre vigas de diferentes dimensões.....	39
4.5.5	Ligação parafusada entre vigas de diferentes dimensões.	39
4.6	EMENDAS	40
4.6.1	Emendas em perfis.....	40
4.6.2	Emenda soldada em pilares de mesma dimensão	41
4.6.3.	Emenda de pilares em perfis Gerdau - EP1/EP 2	43
4.7	LIGAÇÕES ESPECIAIS	45
4.7.1	Ligação semirrígida no extremo do vão duma viga com pilar.....	47
5	LIGAÇÃO MISTA AÇO/CONCRETO	58
5.1	LIGAÇÕES MISTAS EM PILARES COM BASE ROTULADA –PBR.....	59
5.2	PILARES COM BASES ENGASTADAS - PBE.....	60
5.3	LIGAÇÕES MISTAS PARA VIGAS	60
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	63
	REFERÊNCIAS.....	61

4 INTRODUÇÃO

Ligações em estruturas são pontos fundamentais para a execução de uma estrutura bem elaborada e econômica. Quando se trata de ligações entre materiais diferentes como aço e concreto há uma fusão entre engenharia civil e mecânica e, portanto, um estudo mais aprofundado deve ser feito, porque apesar de o engenheiro mecânico ser necessário quanto ao dimensionamento de soldas e componentes como chapas, o engenheiro civil é coparticipante no dimensionamento e precisa ter conhecimento do funcionamento das ligações para o correto dimensionamento de toda a estrutura.

A definição de vinculação em estruturas é a primeira etapa do dimensionamento de estruturas, pois a partir desta definição se saberá quais esforços serão transmitidos entre as partes da estrutura, e assim, fazer a organização de um sistema estrutural mais seguro e econômico. Muitas estruturas são superdimensionadas devido à escolha de vinculações que não proporcionam um funcionamento econômico. Esta análise é feita de forma simplificada por intermédio de softwares que permitem a simulação instantânea, demonstrando as deformações, reações em apoios e até mesmo valores de solicitações pontuais na estrutura, onde se pode realizar testes com diferentes vinculações afim de verificar o comportamento da estrutura.

Conhecer os tipos de ligação e também sua padronização fará com que o engenheiro civil possa prever situações que posteriormente irão gerar transtorno à estrutura, como por exemplo, na adição de chumbadores metálicos em alguma parte da estrutura para a realização de uma estrutura mista, onde a posição da armadura poderá coincidir com a posição dos chumbadores, ou pior, caso o dimensionamento do concreto armado não seja feito corretamente a estrutura poderá sofrer deformações que irão gerar patologias futuramente.

Qual o tipo de ligação usar? Qual a diferença entre as ligações? Qual a ligação mais econômica para o projeto? Existe um padrão que pode ser seguido afim de facilitar o trabalho? Como é realizada a transição entre aço e concreto na estrutura? Tais perguntas serão respondidas neste demonstrando os tipos de ligação padronizadas em estruturas metálicas e também mistas entre aço e concreto, além de demonstrar as diferenças e influências destas ligações na estrutura como um todo.

Para se ter o conhecimento mínimo sobre as ligações em estruturas metálicas, primeiramente deve-se conhecer os tipos de vínculos em estruturas, tipos de perfis metálicos e os tipos de ligações simples e mistas possíveis de acordo com um padrão pré-estabelecido, e as influências de cada uma na obra e no sistema estrutural. Cada tipo de ligação possui uma propriedade específica que a diferencia das demais e, portanto, uma ligação modelo para cada tipo foi utilizada apenas com o intuito de demonstrar suas propriedades, para que se possa reconhecer facilmente os tipos de ligação, e conseqüentemente, entender as influências destas nas ligações na estrutura.

Como são vários os tipos de ligação em estruturas e, principalmente metálicas fez-se um levantamento das ligações padronizadas simples e mistas utilizando perfis laminados I e H do tipo “W” (Wide shape flange) que são os mais utilizados em estruturas metálicas no Brasil tendo por base as normas vigentes, Artigos científicos, arquivos fornecidos pelo Instituto Aço Brasil na série Manual da Construção em Aço e manuais da maior empresa produtora de aço do Brasil, Gerdau.

5 VINCULAÇÕES EM ESTRUTURAS

Define-se ligação como conexão, vínculo, junção ou união entre elementos estruturais, como, por exemplo, emendas nos elementos estruturais, ligação entre viga e pilar, ligação entre vigas, ligação entre pilar e fundação entre outros ou então de acordo com Centro Brasileira de Construção em Aço (CBCA) (2017, p.12) “O termo ligação é aplicado a todos os detalhes construtivos que promovam a união de partes da estrutura entre si ou a sua união com elementos externos a ela, como por exemplo, as fundações”. Por meio desta definição entende-se que sempre que dois elementos estruturais estiverem em contato entre si ter-se-á um vínculo estrutural entre eles, o qual precisa ser criteriosamente avaliado para fins de segurança e desempenho estrutural, visto que os principais pontos de fragilidade são concentrados nestas regiões como descrito a seguir:

Em um projeto estrutural, saber dimensionar corretamente os elementos de ligação é de fundamental importância para a garantia da segurança estrutural, uma vez que as ligações são responsáveis por transmitir as cargas entre os elementos estruturais e, geralmente, são os pontos de maior fragilidade da estrutura. (SANTOS, 2019, P.42)

A cargas a que as estruturas estão submetidas, que são tração, compressão, torção, cisalhamento e flexão, são avaliadas a partir do tipo de vínculo, visto que cabe a este último a transferência ou não de solicitações.

Existem três vinculações em estruturas os quais são representados conforme a

Figura 1:

Figura 1 - Vinculações e características

Nome do vínculo	Símbolo	Reações de apoio provocadas pelos vínculos	Números de graus de mobilidade retirados pelo vínculo (n)
Apoio móvel			1
Apoio fixo			2
Engaste			3

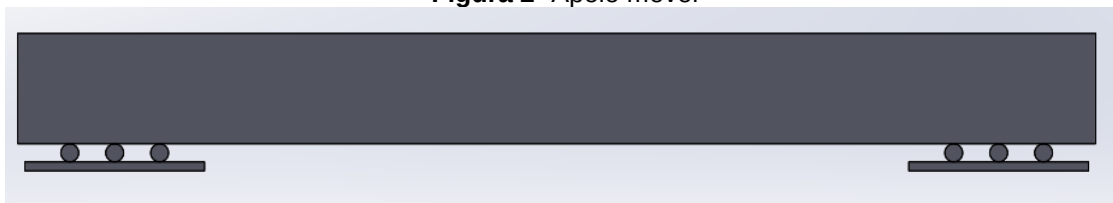
Fonte: Vieira, (2018, p. 9)

Os vínculos demonstrados na **Figura 1** se distinguem quanto às restrições/reações que conferem à estrutura levando assim à definição de quais solicitações serão transmitidas por intermédio dela. Para o dimensionamento eficiente, o responsável pelo projeto deve ter pleno conhecimento dos Vínculos estruturais para que possa descobrir a melhor solução estrutural estando sempre atento ao fato de que:

A melhor solução estrutural deve ser escolhida com base no conhecimento dos sistemas e suas características e não deve ser influenciada por paradigmas, preconceitos e desconhecimentos. Com uma análise incompleta e distorcida podemos perder os benefícios de uma boa solução. (PENNA E PINHO, 2008, p. 13).

O vínculo móvel, conhecido como apoio simples e também apoio de primeiro gênero é o mais antigo utilizado em estruturas e consiste em estruturas a que suas ligações restringem o movimento em apenas 1 grau de liberdade. A **Figura 2** mostra um modelo correspondente a este vínculo:

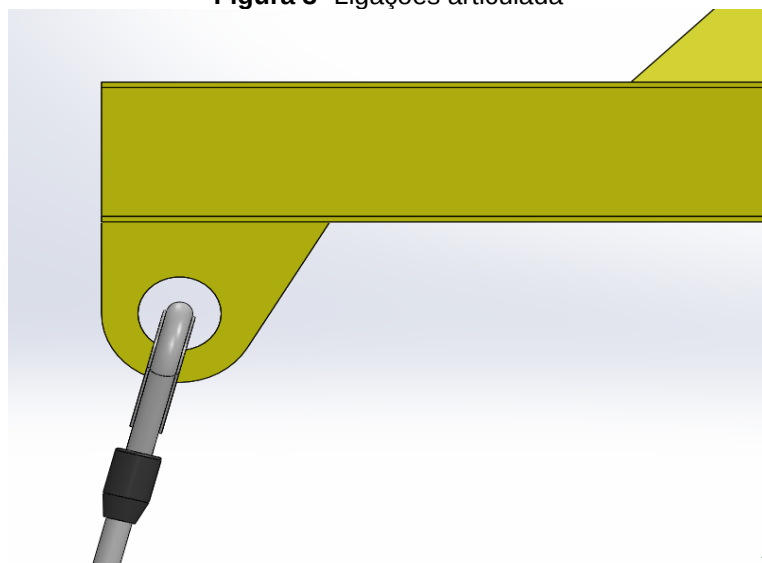
Figura 2- Apoio móvel



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Neste tipo de vínculo a estrutura não transfere esforços de momento e restringe a estrutura em apenas um grau de liberdade impedindo apenas o movimento vertical e transferindo apenas compressão ao apoio. Este tipo de vínculo é muito utilizado em construções em estruturas de concreto pré-moldado.

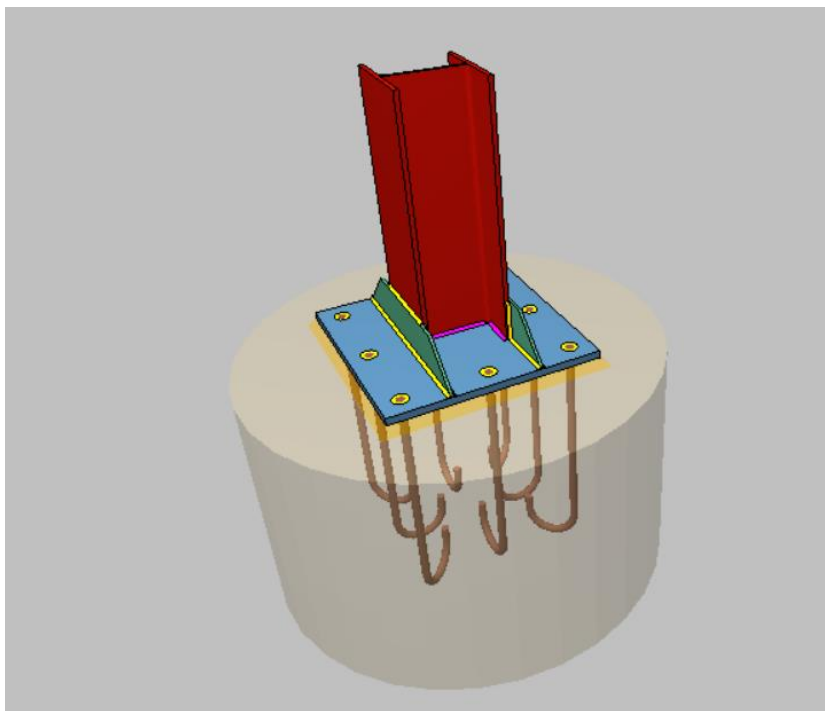
O apoio fixo, articulação, ou apoio de segundo gênero é o tipo de ligação comumente utilizado em estruturas como por exemplo em treliças e tirantes. Neste vínculo restringe-se a estrutura em 2 graus de liberdade, horizontal e vertical, porém não se restringe rotações. A **Figura 3** mostra um exemplo de articulação.

Figura 3- Ligações articulada

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Uma estrutura é considerada articulada também quando a resistência à rotação é baixa a ponto de poder ser desconsiderada no cálculo.

A **Figura 4** mostra um exemplo de engaste:

Figura 4 - Engaste

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

O terceiro tipo de vínculo que nomeado como engaste ou vínculo de terceiro gênero.

Neste tipo de ligação todas as restrições foram impedidas pela ligação, portanto todos os esforços são transmitidos entre os elementos.

Para o bom entendimento do assunto do estudo de ligações em estruturas o entendimento das informações é fundamental.

6 TIPOS DE PERFIS ESTRUTURAIS METÁLICOS

As estruturas metálicas são ligadas entre si de forma comparativamente simples devido à homogeneidade do material e pela facilidade no manuseio do material. Primeiramente é importante sabermos que os perfis metálicos podem ser laminados, soldados ou dobrados. Há também subdivisões, como por exemplo, os perfis metálicos do tipo americano. Outra informação importante é que os perfis laminados e dobrados têm medidas padronizadas a fim de facilitar sua produção em série. As tabelas com as medidas padrão dos perfis estão no anexo I.

As normas utilizadas no dimensionamento de estruturas metálicas estão descritas abaixo:

- NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008). Projeto de estrutura de aço e de estrutura mista de aço e concreto de edifícios.
- AISC (AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION) - Décima terceira edição.
- AWS (AMERICAN WELDING SOCIETY) - AWS D1.1/D1.1M:2008, “Structural Welding Code - Steel”.
- ASTM (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS) - High Strength Bolts for Structural Steel Joints.
- Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio.
- NBR15980. Perfis laminados de aço para uso estrutural Dimensões e tolerâncias.
- NBR6355. Perfis estruturais de aço formados a frio Padronização.

Os perfis utilizados em estruturas de acordo com a NBR 15980 são:

- I. Laminado (NBR 15980)
 - Perfil I e H tipo W (Wide shape flange ou Forma Larga da Flange);
 - Perfil I americano;
 - Cantoneira de abas iguais;
 - Cantoneiras de abas desiguais;

- Perfil U;
- Perfil T;
- Tubo redondo;
- Tubo quadrado;
- Barra redonda;
- Barra quadrada;
- Barra chata;

II. Dobrado de acordo com ABNT NBR 6355 (2012)

- Perfil U;
- Perfil U enrijecido;
- Cantoneira;
- Perfil
- Cartola;

III. Soldados de acordo com NBR 5884 (2013)

Quanto aos perfis soldados é comum a fabricação de perfis dos tipos caixa retangular e quadrada para fins mecânicos como por exemplo em pontes rolantes e tubos circulares que possuem utilização incomum em estruturas. Os perfis soldados tem seu uso reduzido por questões de custo, pois apesar de terem um peso menor, eles têm custos elevados de fabricação, porém são utilizados principalmente quando o perfil laminado não atende aos esforços solicitantes por indisponibilidade de dimensões solicitadas em projeto podendo ser por resistência ou geometria.

Os perfis por sua vez, padronizados pela NBR 5884 são:

- CS (coluna soldada)
- CVS (coluna viga soldada)
- VS (Viga soldada)

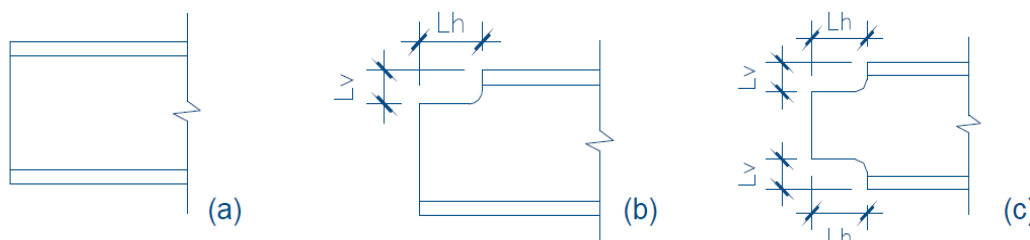
A diferença entre os perfis descritos está nas proporções geométricas.

4 LIGAÇÕES EM PERFIS LAMINADOS WIDE SHAPE FLANGE (W)

4.1 DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS

Ao se dimensionar ligações em estruturas metálicas deve-se avaliar criteriosamente as necessidades construtivas. Em algumas ligações, depende-se de adaptações como por exemplo quando um perfil não encaixa entre as abas do outro e tem-se que realizar cortes nos extremos das vigas. As disposições construtivas podem ser visualizadas na **Figura 5**.

Figura 5 - Disposições construtivas



Fonte: Ligações para estruturas em aço Gerdau pg. 19

Na **figura 5** tem-se três possibilidades construtivas, que existem com o objetivo de garantir o encaixe perfeito entre perfis. O tipo (a) demonstra o tipo construtivo onde não se realiza nenhum corte na extremidade da viga, o tipo (b) mostra o corte executado apenas na parte superior da viga e o tipo (c) demonstra cortes tanto na parte superior quanto na inferior.

Para este trabalho iremos considerar recortes em vigas apenas quando forem fundamentais nas ligações, pois a alteração será apenas o corte. Nenhuma das ligações soldadas extraídas do software Cype3D foram submetidas a nenhum carregamento, portanto o dimensionamento de todos os itens da ligação como soldas, chapas e recortes são meramente ilustrativos para fins de conhecimento da tipologia das ligações. As ligações referentes ao Manual de Ligações Gerdau foram dimensionadas pelo fabricante de perfis considerando a pior situação, portanto estão prontos para uso.

Como são inúmeras situações quanto às ligações em estruturas metálicas, o engenheiro estrutural tem a liberdade de realizar o dimensionamento das ligações metálicas seguindo as exigências das normas pertinentes escolhendo realizá-las de

forma aparafusada ou soldada sabendo tendo em vista a utilização do tipo de ligação com maiores benefícios. Neste trabalho mostraremos apenas os principais tipos de ligações metálicas, pois o ponto chave deste trabalho é o estudo de ligações mistas.

Já existem softwares que realizam o cálculo destas ligações de forma automática, tomando por base padrões estabelecidos, inclusive, por fornecedores, como é o caso da Gerdau que fornece gratuitamente o manual Ligações Para De Aço, que será o guia para esta etapa de estudo quanto aos perfis laminados, juntamente com o detalhamento retirado do software Cype 3D.

4.2. MÉTODOS DE CÁLCULO

Segundo a NBR 8800, para o cálculo das ligações pode-se utilizar dois métodos:

I. ELU – Método dos Estados Limites Últimos

A definição destes estados pode ser entendida como “estados que, pela sua simples ocorrência, determinam a paralisação, no todo ou em parte, do uso da construção” (NBR8681,2003, pg.1)^[TUTOR1]

II. ELS – Método do Estados Limites de Serviço

Para estes estados a mesma norma os define como “estados que, por sua ocorrência, repetição ou duração, causam efeitos estruturais que não respeitam as condições especificadas para o uso normal da construção, ou que são indícios de comprometimento da durabilidade da estrutura.” (NBR 8681,2003, pg.1)

Para a metodologia de cálculo a ser usada seja eficiente, cada ligação possui particularidades que devem ser avaliadas de acordo com o seu tipo.

4.3. CLASSIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES

4.3.1 Definição de rigidez

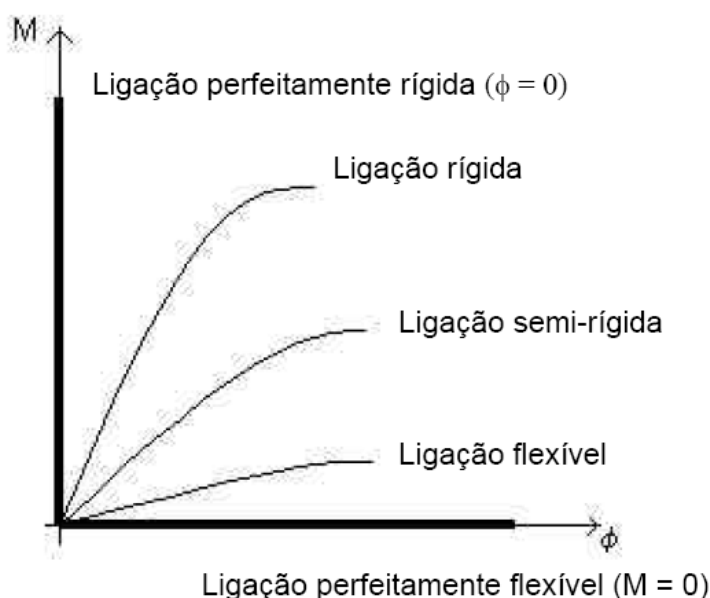
De acordo com Santos (1998), a rigidez é a capacidade de restrição de rotação entre as partes ligadas, a partir desta análise pode-se avaliar corretamente o comportamento da estrutura, e assim prever possíveis falhas. Deve se dar a devida atenção ao assunto porque:

O conhecimento da rigidez das ligações é fundamental para a análise elástica das estruturas. Quando se utilizam métodos

plásticos de análise também é fundamental conhecer a resistência e a capacidade de rotação das ligações. Assim, além das barras que compõem a estrutura, também as ligações deverão ser convenientemente concebidas e dimensionadas, sob pena da estrutura não se comportar conforme desejado. (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2017, p. 39).

As ligações podem ser classificadas como, flexíveis, semirrígidas ou Rígidas, o que está demonstrado na **figura 6**, em que se demonstra a relação entre flexibilidade da ligação em relação a resistência ao momento

Figura 6 - Classificação de Rigidez



Fonte: Santos (1998, p.18)

Por meio da imagem pode-se perceber que quanto mais flexível a ligação menor será a resistência ao momento e vice-versa.

4.3.1.1 Ligação semirrígida

A Ligação semirrígida de acordo com Santos, (1998, p. 17) “Compreende os tipos de conexões onde a rotação relativa entre as peças varia entre 20% e 90% da rotação que poderia haver se a ligação fosse perfeitamente flexível.” Para se saber se a ligação é semirrígida deve-se então verificar o percentual de transmissão de rotação (momento) a que a estrutura está submetida, o que pode ser descrito como rigidez rotacional.

Neste tipo de ligação, supondo a ligação entre pilar e viga, os esforços de rotação serão parcialmente transferidos ao pilar. De acordo com PFEIL (1986), ao se empregar ligações semirrígidas pode-se conseguir projetos mais econômicos.

6.3.1.2 Ligação flexível

A Ligação flexível de acordo com Santos, (1998, p. 17) “Na prática admite-se que a ligação é flexível se após a aplicação do carregamento ela atingir no mínimo 80% da rotação esperada teoricamente. Também são chamadas de ligações simples, rotuladas ou articuladas.” Para estruturas com alto grau de flexibilidade tem-se soluções externas à ligação que podem garantir a estabilidade da estrutura como é o caso dos contraventamentos.

Ao se pensar nesta nomenclatura vem logo na mente a ideia de uma estrutura totalmente articulada como uma ligação com apenas um pino, onde a rotação é totalmente permitida, porém, existem ligações metálicas que são consideradas flexíveis apesar de serem soldadas ou aparafusadas, o que será demonstrado nos próximos capítulos.

6.3.1.3 Ligação rígida

Como o próprio nome sugere, este tipo de ligação é a que não permite a rotação da estrutura em tese, pois, de acordo com Santos, (1998, p. 17) “Em termos práticos uma ligação é considerada rígida se restringir no mínimo 90% da capacidade de rotação”. Através desta análise entende-se que como a ligação irá restringir a maior parte da capacidade de rotação, as deformações serão insignificantes à estrutura.

Neste tipo de ligação o consumo de material será elevado em relação aos demais, gerando necessidades de enrijecimentos à estrutura e acessórios e dispositivos de ligação mais robustos.

6.4 COMPONENTES DAS LIGAÇÕES

De acordo com Valenciane (1997, p.1), “As ligações em estruturas metálicas são constituídas por dois tipos de componentes, os elementos de ligação e os

dispositivos de ligação” já a descrição de componentes das ligações é definido pela NBR8800 da seguinte forma:

As ligações metálicas consistem em elementos de ligação, como enrijecedores, chapas de ligação, cantoneiras e consolos, e meios de ligação, como soldas, parafusos, barras redondas rosqueadas e pinos. Esses componentes devem ser dimensionados de forma que sua resistência de cálculo a um determinado estado limite último seja igual ou superior à sollicitação de cálculo. (NBR 8800, 2017, p. 62)

Então entende-se que elemento de ligação são como chapas, barras, consolos e cantoneiras são formados por partes ou perfis metálicos, e como dispositivos de ligação os parafusos, barras rosçadas e soldas, são elementos de ligação mecânicos com dimensões padronizadas de fabricação. Castro (2006) enfatiza que comportamento de uma estrutura depende dos tipos de elementos e dispositivos de ligação e de sua geometria como por exemplo a espessura de chapas, diâmetro e quantidade de parafusos, presença ou não de enrijecedores.

Algumas especificações dos dispositivos de ligação são descritas a seguir:

I. Parafusos e barras redondas

A escolha dos parafusos deve ser executada de acordo com a NBR 8800 onde detalha-se sobre os componentes da ligação:

Tabela 1 - Materiais utilizados em parafusos

Especificação	f_{yb} MPa	f_{ub} MPa	Diâmetro d_b	
			mm	pol
ASTM A307	-	415	-	$1/2 \leq d_b \leq 4$
ISO 898-1 Classe 4.6	235	400	$12 \leq d_b \leq 36$	-
ASTM A325 ^a	635	825	$16 \leq d_b \leq 24$	$1/2 \leq d_b \leq 1$
	560	725	$24 < d_b \leq 36$	$1 < d_b \leq 1\frac{1}{2}$
ISO 4016 Classe 8.8	640	800	$12 \leq d_b \leq 36$	-
ASTM A490	895	1035	$16 \leq d_b \leq 36$	$1/2 \leq d_b \leq 1\frac{1}{2}$
ISO 4016 Classe 10.9	900	1000	$12 \leq d_b \leq 36$	-

^a Disponíveis também com resistência à corrosão atmosférica comparável à dos aços AR 350 COR ou à dos aços ASTM A588.

Fonte: NBR 8800 (2008)

Na tabela 1 tem-se a resistência mínima necessária aos parafusos ou barras rosçadas a serem utilizadas na estrutura.

Para o engenheiro calculista, a descrição destas especificações é fundamental, pois a utilização de elementos de ligação fora da especificação pode gerar problemas estruturais graves. O dimensionamento e a análise destes componentes mecânicos devem ser analisados por engenheiro mecânico, na ausência de descrição de ligação padronizada.

As ligações aparafusadas possuem benefícios interessantes como pode-se ter conforme descreve-se a seguir:

Outras vantagens importantes são a possibilidade de reaproveitamento da estrutura - quando as ligações forem parafusadas e não existirem lajes de concreto, a estrutura pode ser desmontada e reaproveitada - e a facilidade de reforço e de ampliação de obras existentes. (SANTOS, 2019, P.99)

As porcas e arruelas devem estar de acordo com as especificações ANSI/AISC 360 e portanto, são padronizadas em cada ligação, sendo parte fundamental na montagem mecânica.

II. Solda

Os elementos utilizados no processo de soldagem como eletrodo possuem padronização com especificações normatizadas como descreve a **tabela 2** em que a resistência mínima para o metal de soldagem é dimensionada. A soldagem deve ser dimensionada por engenheiro mecânico e deve ser inspecionada por profissional qualificado, o que pode gerar algumas limitações devido a questões técnicas ou ambientais levando-se em conta o fato de que:

Para um maior controle de qualidade das ligações soldadas deve-se, quando possível, utilizá-la apenas na fábrica, onde tem-se melhores mecanismos de controle utilizar em campo (na obra) apenas ligações parafusadas. (PINHEIRO, 2005, P.101)

As resistências mínimas do metal de solda estão descritas na **tabela 2**.

Tabela 2- Resistência mínima de metal de solda

Metal da solda	f_w MPa
Todos os eletrodos com classe de resistência 6 ou 60	415
Todos os eletrodos com classe de resistência 7 ou 70	485
Todos os eletrodos com classe de resistência 8 ou 80	550

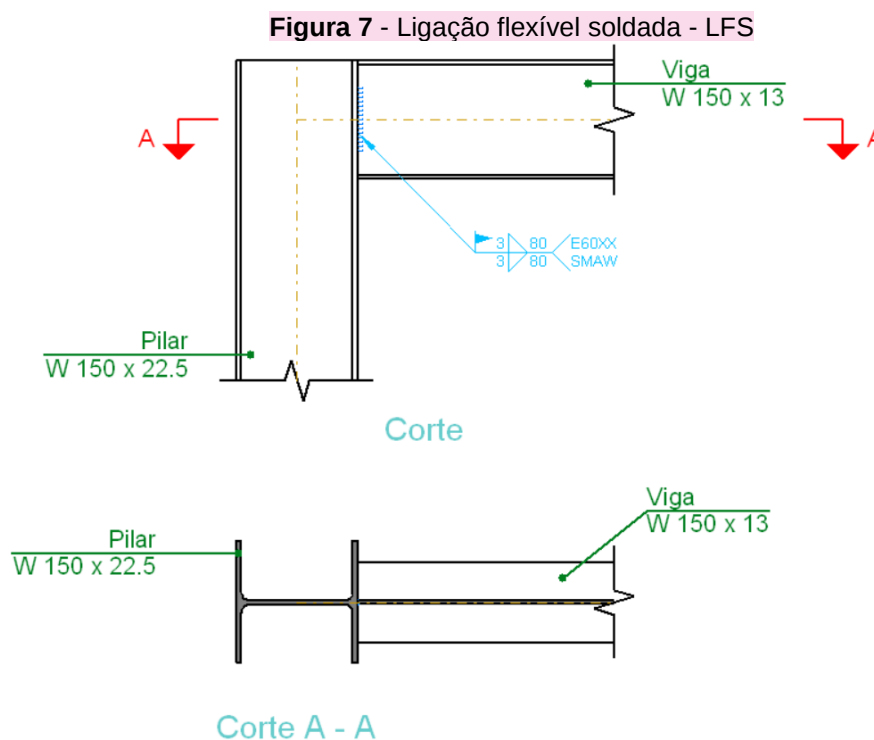
Fonte: NBR 8800 (2008)

As Ligações soldadas

6.4.1 Ligações flexíveis

4.4.1.1 Ligações flexíveis soldadas– LFS/LFST

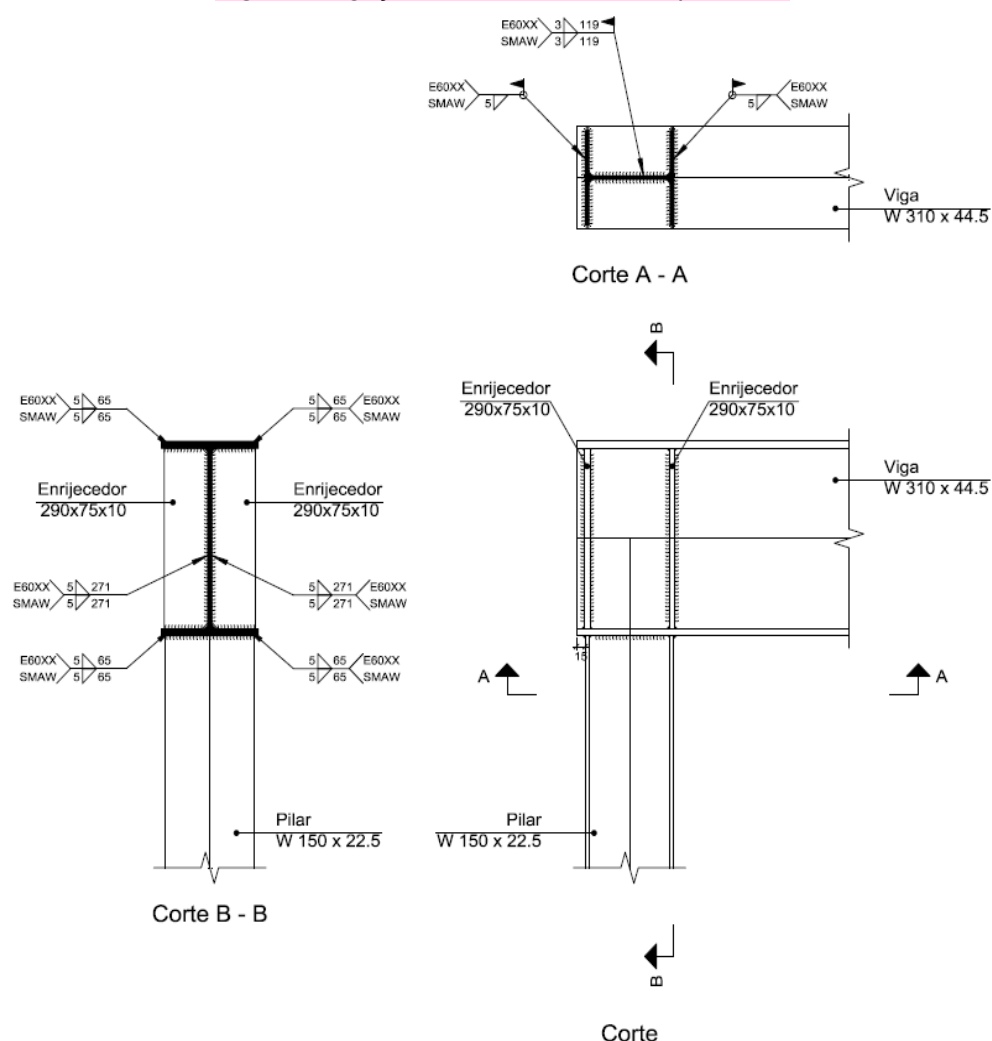
O tipo de ligação LFS é o tipo mais comum no mundo das estruturas metálicas de pequeno porte, pois é o meio mais barato de se realizá-las, todavia para grandes montagens, a dificuldade de realização de soldas em campo torna este método inviável, pois todo o processo pode ser reprovado após inspeção, que por sua vez, também necessita ser executada em campo.



Fonte: Software Cype 3D

Neste tipo de ligação solda-se apenas a alma do perfil, o que gera a redução quase total da resistência à rotação em torno do eixo X para cargas usuais em estruturas gerando assim a classificação de ligação flexível.

Existe também a possibilidade de execução deste tipo de ligação com a viga sobre o pilar LSFT conforme **figura 8**.

Figura 8 Ligação soldada flexível de topo- LFST

Fonte Software Cype 3D

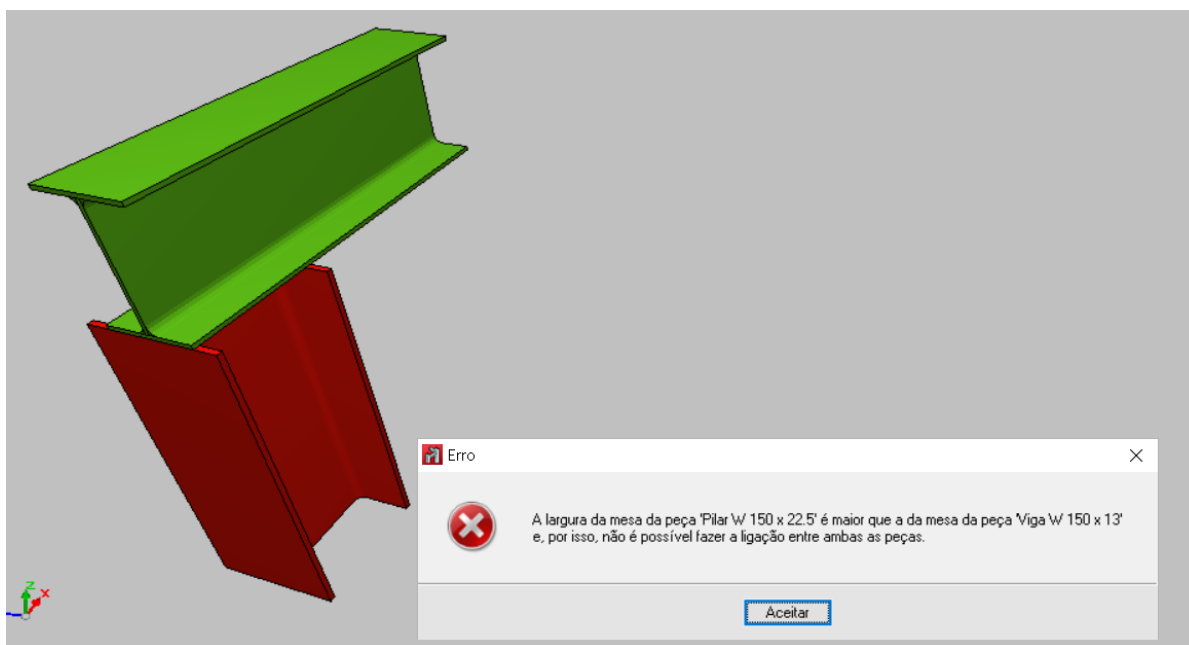
Neste tipo de ligação, tanto a rotação em torno de Y quanto em torno de X possuem uma grande redução pelo fato de se soldar apenas a mesa inferior do perfil da viga sobre o pilar.

Este tipo de ligação é restrito devido à resistência reduzida à compressão da viga, e à possível incompatibilidade de perfis, que ocorre quando o perfil da viga possui dimensão das mesas inferior à dimensão das mesas do pilar e, portanto o apoio da mesa da viga sobre o pilar se torna complexo e a execução deste tipo de ligação se torna inviável.

Um exemplo desta incompatibilidade quando à execução da ligação flexível soldada de topo pode ser vista na Figura 10 abaixo, onde o pilar (W15x22) por possuir mesa maior que a mesa do perfil da viga (150x13), a ligação não é executada

automaticamente pelo software. Este tipo de ligação é mais utilizado por questões estéticas do que estruturais.

Figura 9 - Erro de dimensionamento de ligação soldada de topo



Fonte : Software Cype 3D

6.4.1.2 Ligação flexível com cantoneiras – LCPP

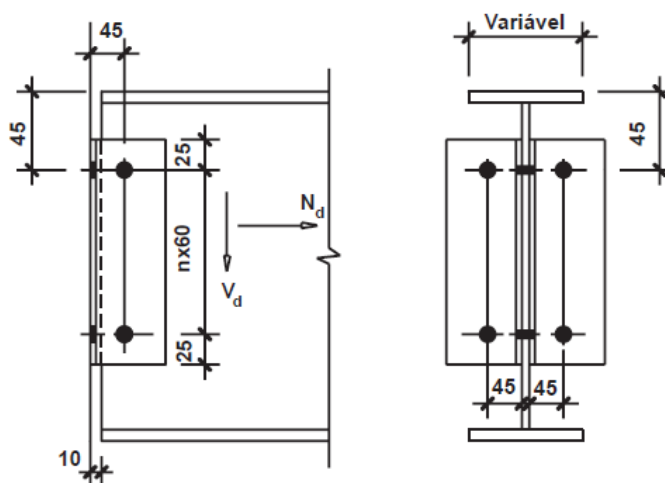
A ligação do tipo LCPP é um tipo de ligação flexível que utiliza cantoneira na extremidade do perfil, em que a cantoneira é fixada por meio de parafuso nos dois perfis da ligação. As ligações LCPP variam quanto à quantidade de parafusos e dimensões, e por esta razão, escolhemos como exemplo a ligação de menor dimensão entre os perfis laminados que corresponde ao perfil 150x13 apenas para análise visual. O modelo pode ser visto na **figura 11**.

Figura 10 - Ligações LCPP

PERFIS: W 150 x 13,0
W 150 x 18,0
W 150 x 24,0

CANTONEIRA: L 76 x 76 x 6,4 x 110

PARAFUSOS: 2 $\varnothing$ 5/8" A325N
4 $\varnothing$ 5/8" A325N



Fonte: Ligações para estruturas em aço Gerdau (p.28)

O modelo de ligação LCPP tem como características importantes a adição de cantoneira, que inicialmente gera aumento de material, mas que por outro lado permite o aparafusamento completo da estrutura em campo e eliminando o processo de soldagem da estrutura.

Como toda montagem, para a execução correta de qualquer ligação aparafusada necessita-se de qualidade na fabricação, afim de que não surjam grandes interferências dimensionais que reduzam a qualidade ou impossibilitem a montagem correta da estrutura.

6.4.1.3 Ligação flexível com cantoneiras – LCSP

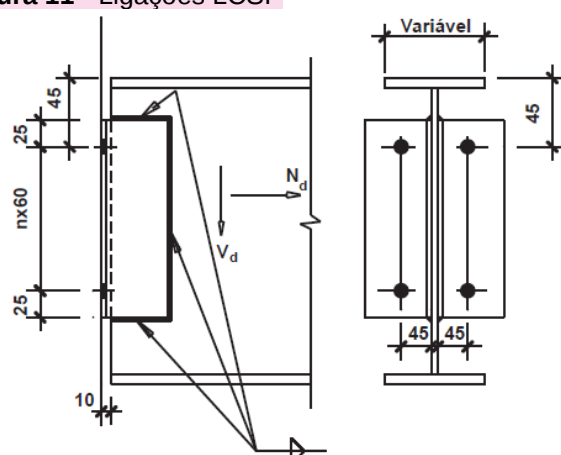
A ligação do tipo LCSP é um tipo de ligação flexível, que como LCPP, utiliza cantoneira na extremidade do perfil, porém a fixação da cantoneira na viga é feita por solda e, no perfil do pilar por meio de parafusos. Esta ligação varia quanto à quantidade de parafusos, dimensionamento de solda e demais dimensões, e por esta razão, escolhemos a ligação de menor dimensão entre os perfis laminados que corresponde ao perfil 150x13. Um exemplo do modelo pode ser visto na **Figura 12**.

Figura 11 - Ligações LCSP

PERFIS: W 150 x 13,0
W 150 x 18,0
W 150 x 24,0

CANTONEIRA: L 76 x 76 x 6,4 x 110

PARAFUSOS: 4 ϕ 5/8" A325N



Fonte: Ligações para estruturas em aço Gerdau (p.45).

6.4.1.4 Ligação flexível com chapa de extremidade – LCHE

Neste tipo de ligação utiliza-se uma chapa na extremidade do perfil e realiza-se o aparafusamento do perfil na chapa. Este tipo de ligação é comumente usado além de estruturas metálicas, em estruturas mistas em que se conecta uma viga metálica em uma estrutura em concreto, onde a chapa gera um nivelamento da superfície. Quando se trata de ligação mita neste formato, os parafusos são substituídos por elementos de fixação mecânica devidamente ancorados à estrutura de concreto, como parabolts e barras roscadas por intermédio de chumbadores químicos.

As ligações flexíveis LCHE variam quanto à quantidade de parafusos, espessura de chapa e dimensão se solda e por esta razão, escolhemos a ligação de menor dimensão entre os perfis laminados que corresponde ao perfil 150x13. Um exemplo do dimensionamento de referência pode ser visto na **figura 12**.

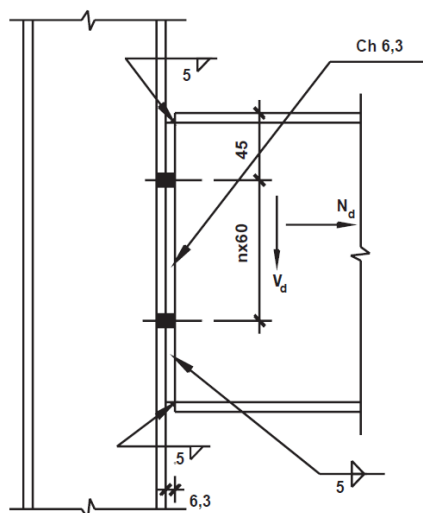
Figura 12 - Ligação LCHE

PERFIS: W 150 x 13,0
W 150 x 18,0
W 150 x 24,0

CHAPA: Ch 6,3 ASTM A36

PARAFUSOS: 4 ϕ 5/8" A325N

SOLDAS: ELETRODO E70XX



Fonte: Ligações para estruturas em aço Gerdau (p.68)

6.4.1.5 Ligação flexível com chapa simples – LCHS

Este tipo de ligação possui algumas particularidades e variações expressivas quanto às cotas e dimensionamentos, o que torna sua análise mais sistemática. Um exemplo pode ser visto na **figura 13**.

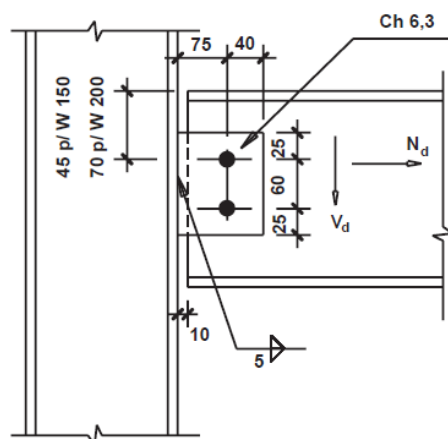
Figura 13 - Ligação LCHS

PERFIS: W 150
W 200

CHAPA: Ch 6,3 ASTM A36

PARAFUSOS: 2 ϕ 5/8" A325N

SOLDAS: ELETRODO E70XX



Fonte: Ligações para estruturas em aço Gerdau p.100

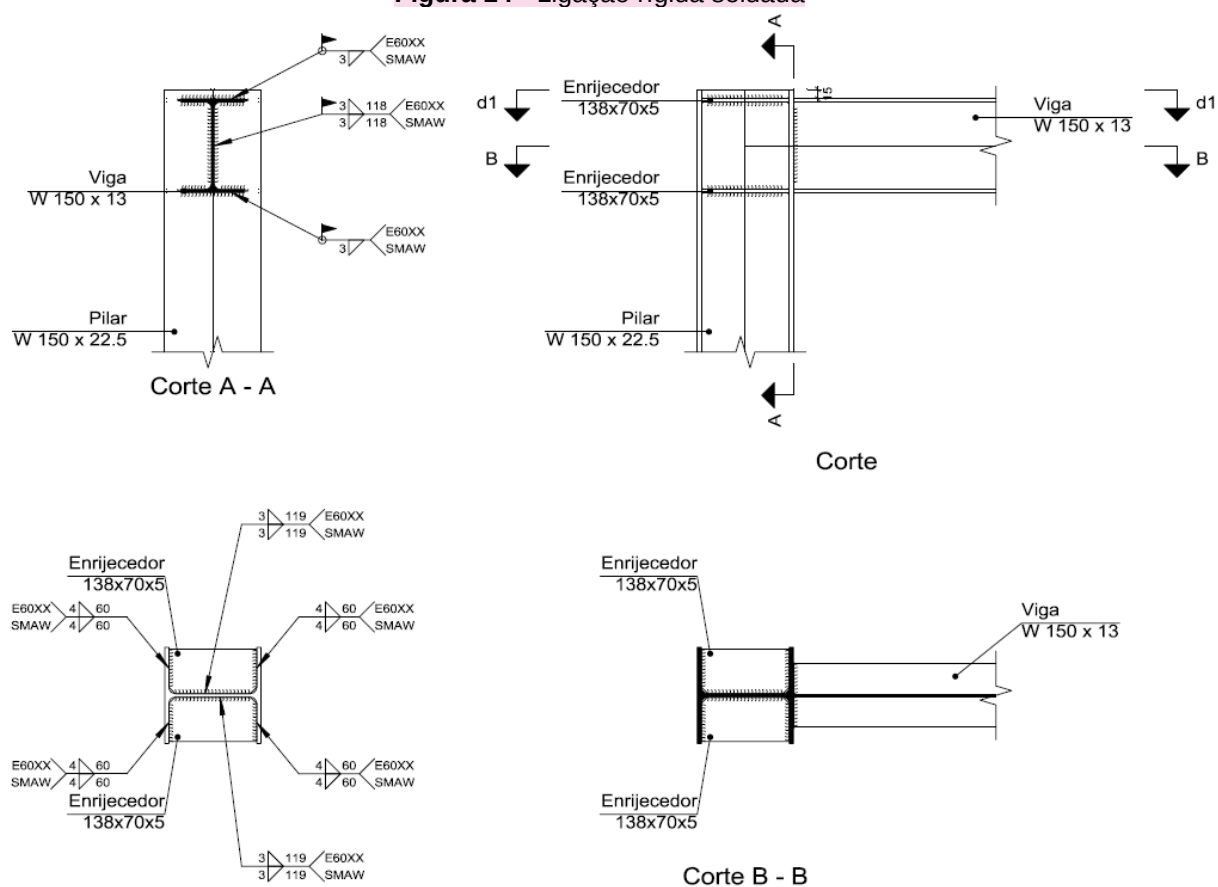
Este tipo de ligação é tão simples quanto às demais e por se utilizar apenas chapa de ligação torna-se uma ligação mais barata e possui uma quantidade menor de solda.

6.4.2 Ligações rígidas

Estruturas totalmente engastadas são comumente utilizadas em locais onde, por exemplo, se tem pilares simplesmente apoiados ou articulados, como um mezanino. Geram estruturas mais robustas devido à transferência de esforços entre componentes, o que exige maior rigidez nas partes. A seguir serão detalhados os tipos de ligação rígida.

4.4.2.1 Ligação rígida soldada LRS/LFRT

Neste modelo para que seja executado o enrijecimento da ligação utiliza-se nervuras ligando as mesas do topo do perfil do pilar. Diferentemente das ligações flexíveis o tipo de ligação rígido ou popularmente considerado engaste, transfere a maior parte dos momentos entre componentes, gerando-se assim a necessidade de uma estrutura mais robusta a fim de resistir estes momentos e conseqüentemente uma estrutura mais cara. Na **figura 14** pode-se ver o modelo de ligação rígida soldada (LRS).

Figura 14 - Ligação rígida soldada

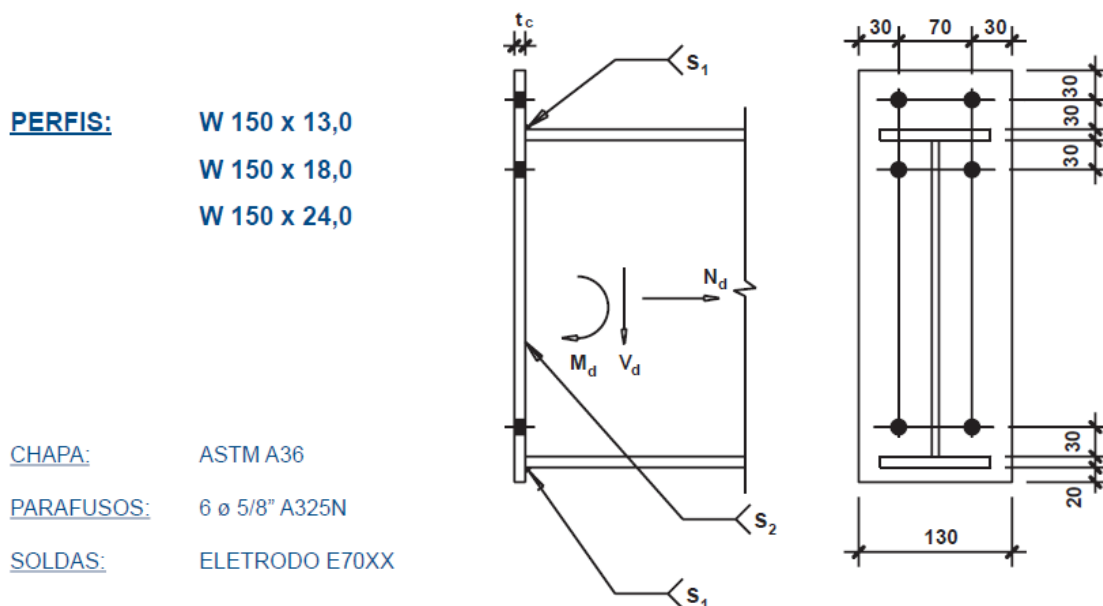
d1. Detalhe de soldas: enrijecedores
a Pilar W 150 x 22.5

Fonte: Software Cype 3D

Para a ligação do tipo rígida de topo tem-se a mesma restrição da ligação flexível de topo, exigindo-se que a mesa da viga seja igual ou superior à mesa do pilar.

4.4.2.2 Ligação rígida com chapas de cabeça parafusadas assimétricas – LMPA

Neste modelo, utiliza-se chapa na extremidade do perfil, porém com solda em todo o perfil incluindo as mesas, gerando assim uma ligação rígida. Um exemplo deste tipo de ligação fica descrito na figura 17.

Figura 16 - Ligações LMPA

Fonte Ligações para estruturas em aço Gerdau p.100

Este tipo de ligação permite a adição de parafusos na parte superior da mesa superior do perfil, aumentando a resistência a momentos e distribuindo a carga no pilar.

6.4.3 Ligações rígidas soldadas simétricas – LMSS

Neste tipo de ligação tem-se uma junção da ligação parafusada com chapa simples na alma da viga com uma ligação soldada com penetração total nas mesas. Um exemplo deste tipo de ligação fica descrito na **figura 17**.

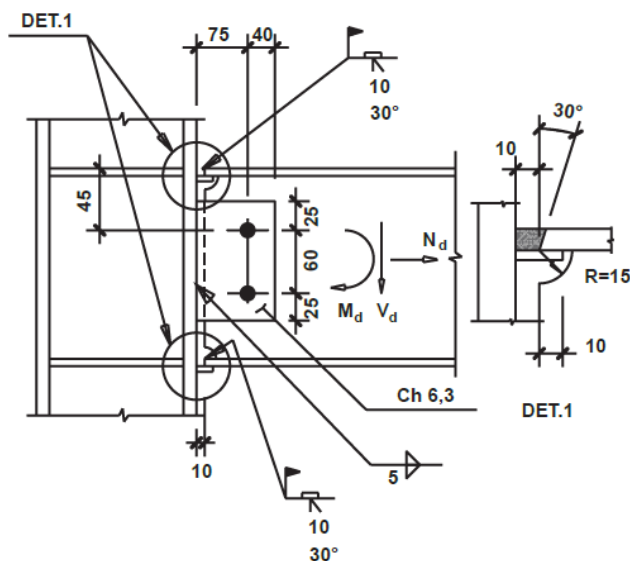
Figura 17 - Ligações LMSS

PERFIS: W 150 x 13,0
W 150 x 18,0
W 150 x 24,0

CHAPA: Ch 6,3 ASTM A36

PARAFUSOS: 2 Ø 5/8" A325N

SOLDAS: ELETRODO E70XX



Fonte Ligações para estruturas em aço Gerdau p.131

Este tipo de ligação também possui a adição de nervura no pilar, o que aumenta a rigidez local. Este tipo de ligação depende de mão de obra extremamente qualificada devido às várias especificações geométricas e de soldagem.

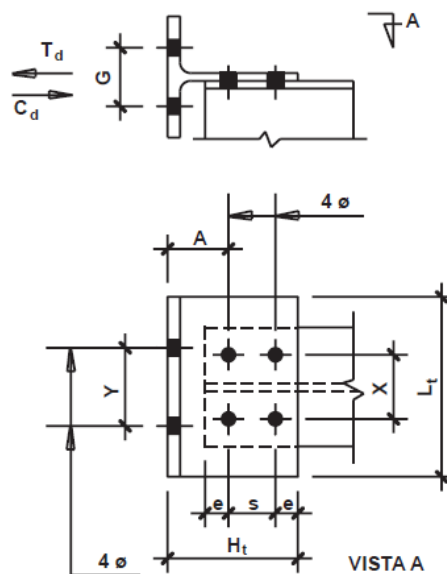
4.4.2.4 Ligações rígidas simétricas com perfis "t" laminados - LT/LMTS

Outro tipo de ligação utiliza o perfil T laminado para se formar uma ligação rígida. Um exemplo deste modelo pode ser visto na **figura 18**.

Figura 18 - Ligações LT

PERFIL T W 150 x 22,5
OBTIDO DE: W 150 x 29,8
 W 150 x 37,1

PARAFUSOS: A325N



Fonte Ligações para estruturas em aço Gerdau p.131

Avaliando obras na região, pôde-se perceber que a ligação mais utilizada fora a que se utiliza cantoneiras ao invés do perfil T, porém a utilização deste tipo de ligação pode trazer inúmeros benefícios à obra pelo fato de poder-se aproveitar de sobras de perfis I para sua obtenção. Como é comum em obras, a sobra de material, pode-se utilizar o aproveitamento de perfis para obter-se o perfil por meio do corte longitudinal na alma transformando o perfil I em T. Não é comum a utilização do perfil H devido à dimensão das mesas que são maiores que as mesas das vigas, tornando inviável a obtenção de perfil T por meio deles.

4.5 LIGAÇÕES ADICIONAIS

Além das ligações padronizadas tem-se as ligações entre vigas, que apesar de apresentarem dimensionamento parecido com as demais, possuem particularidades que podem ser vistas nas descrições a seguir.

4.5.1 Ligações entre vigas

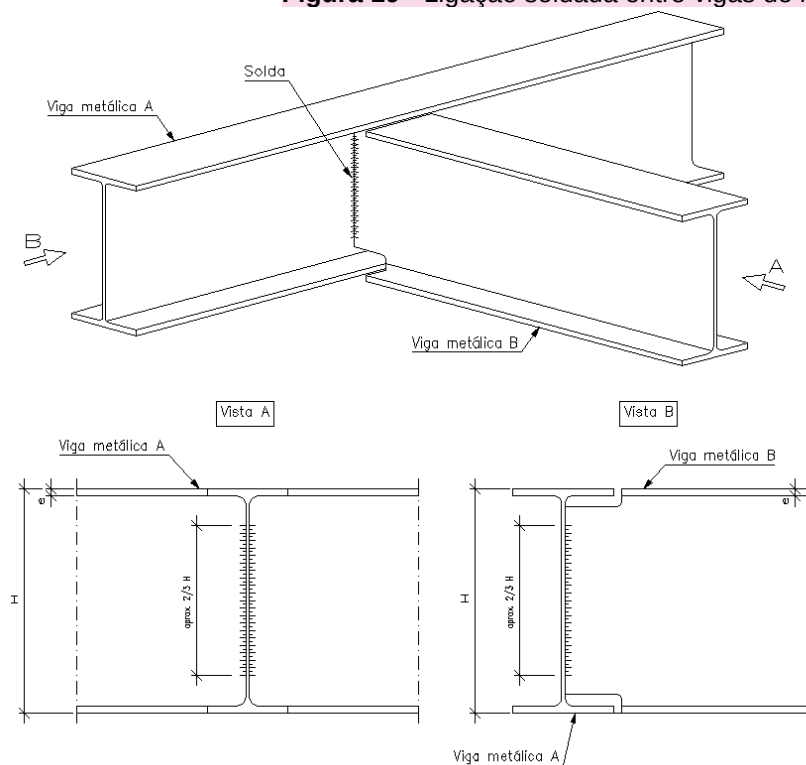
É muito comum em estruturas colocar-se vigas secundárias, ou seja, vigas que se apoiam sobre outras vigas, pois garantem a redução do número de pilares gerando entre outras, melhoras arquitetônicas e redução de custo.

Este tipo de ligação fica restrito à determinadas aplicações devido ao custo excessivo que podem trazer ao ser aplicadas, principalmente quando se tem momentos excessivos como em vigas de balanço.

4.5.2 Ligação soldada entre vigas de mesma dimensão.

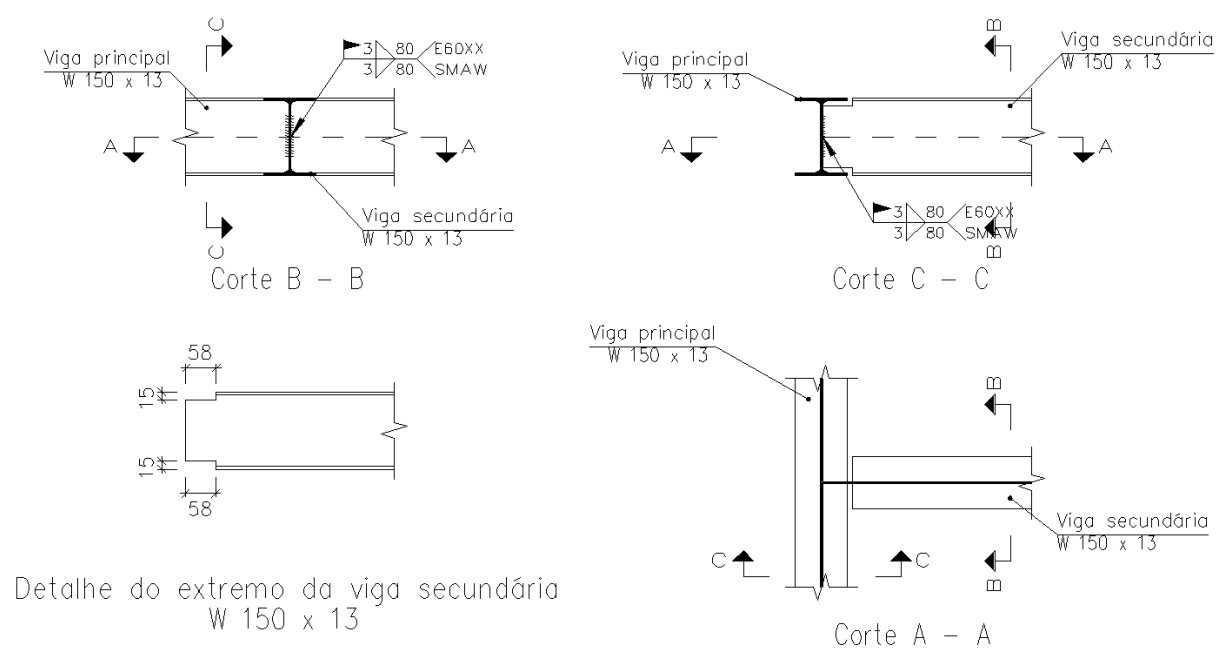
Para este tipo de ligação pode-se utilizar um padrão conforme a figura 22:

Figura 19 - Ligação soldada entre vigas de mesma dimensão.



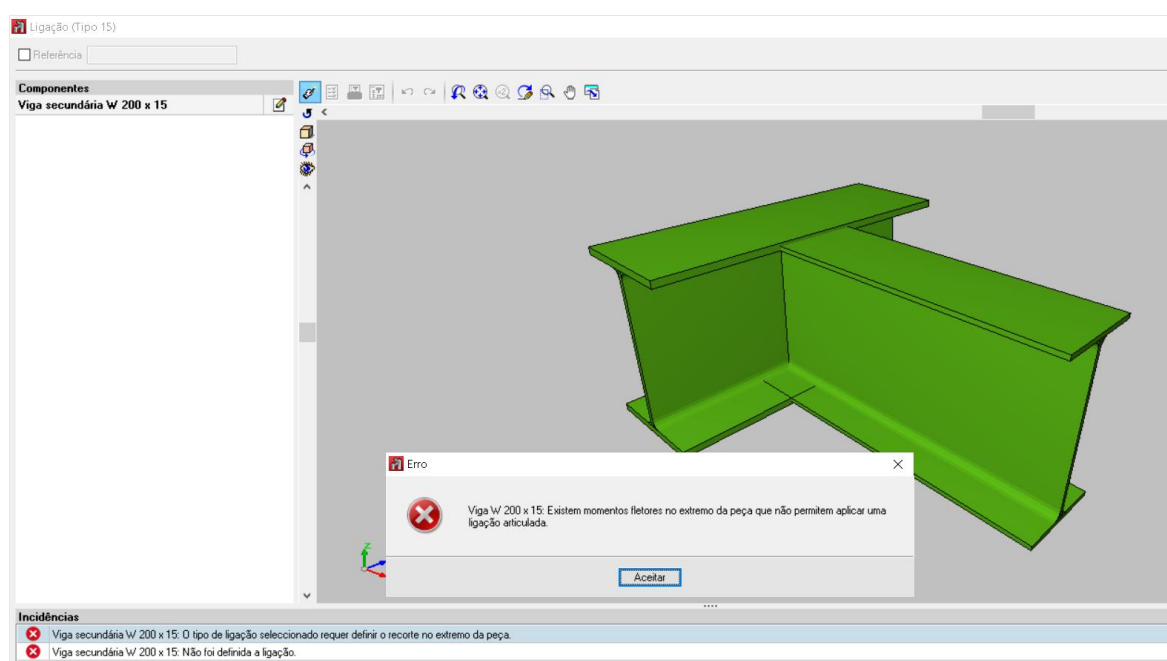
Fonte: Software Cype 3D

Nesta imagem pode-se verificar a ligação entre duas vigas com alturas diferentes. Apesar da igualdade nas alturas, a espessura das almas pode ser diferente. Para realizarmos uma comparação visual com a ligação aparafusada desta concepção fez-se um dimensionamento básico conforme **figura 20**.

Figura 20 - Ligação aparafusada

Fonte: Software Cype 3D

Caso a ligação seja em balanço para vigas de mesma dimensão, o momento limita a ligação no se tratar de engaste. Na **Figura 21** fez-se a simulação para geração de ligação entre o perfil W200x15 ligado em balanço em um perfil W200x26, e o resultado foi negativo.

Figura 21 - Simulação para geração de ligação

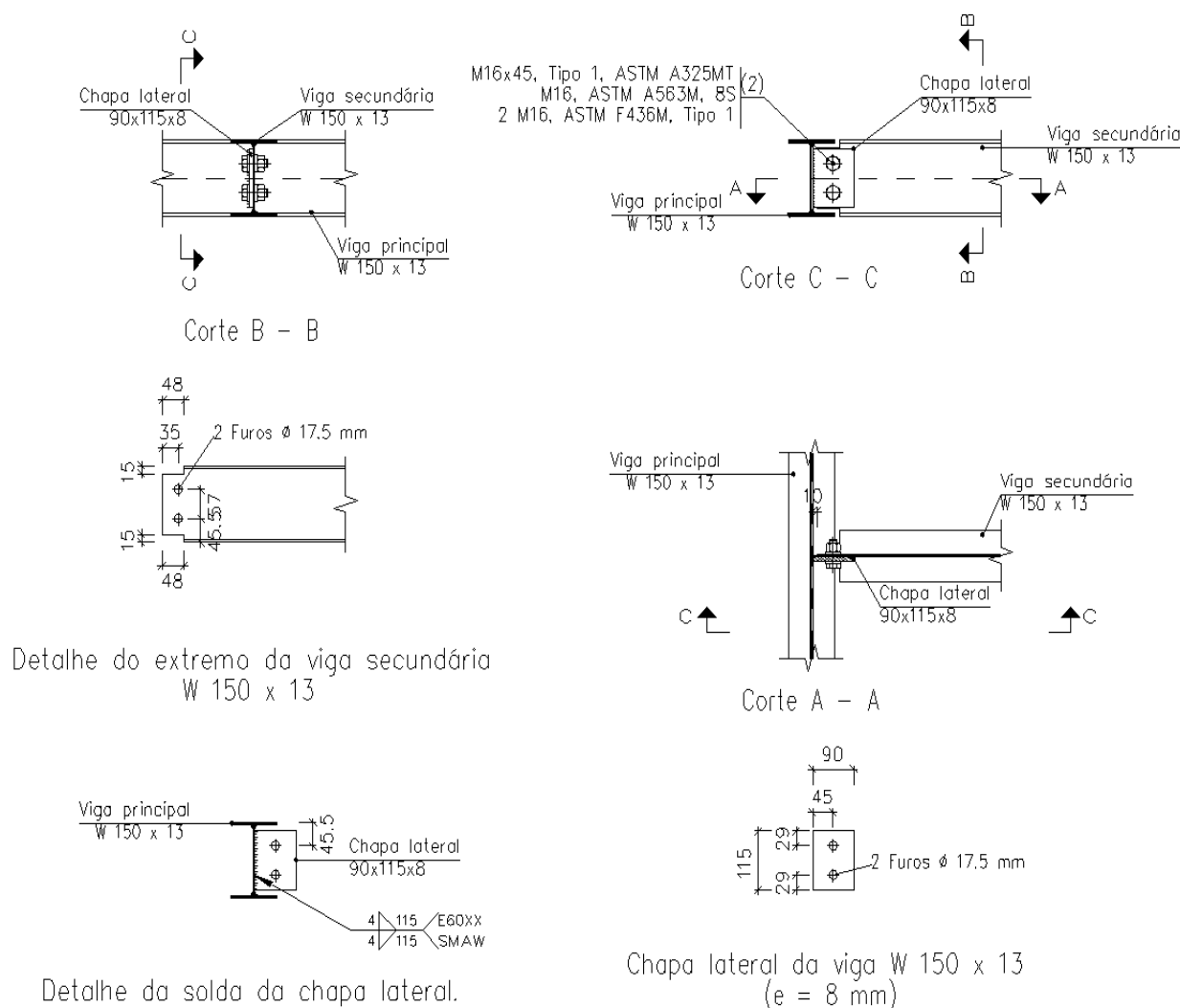
Fonte: Software Cype 3D

Não se tem definição padrão de ligação engastada viga-viga com perfis de mesma dimensão.

4.5.3 Ligação aparafusada entre vigas de mesma dimensão.

Conforme ligações soldadas entre vigas de mesma dimensão, para a ligação parafusada com vigas de mesma dimensão só se aplica em ligações flexíveis conforme modelo na **figura 22**.

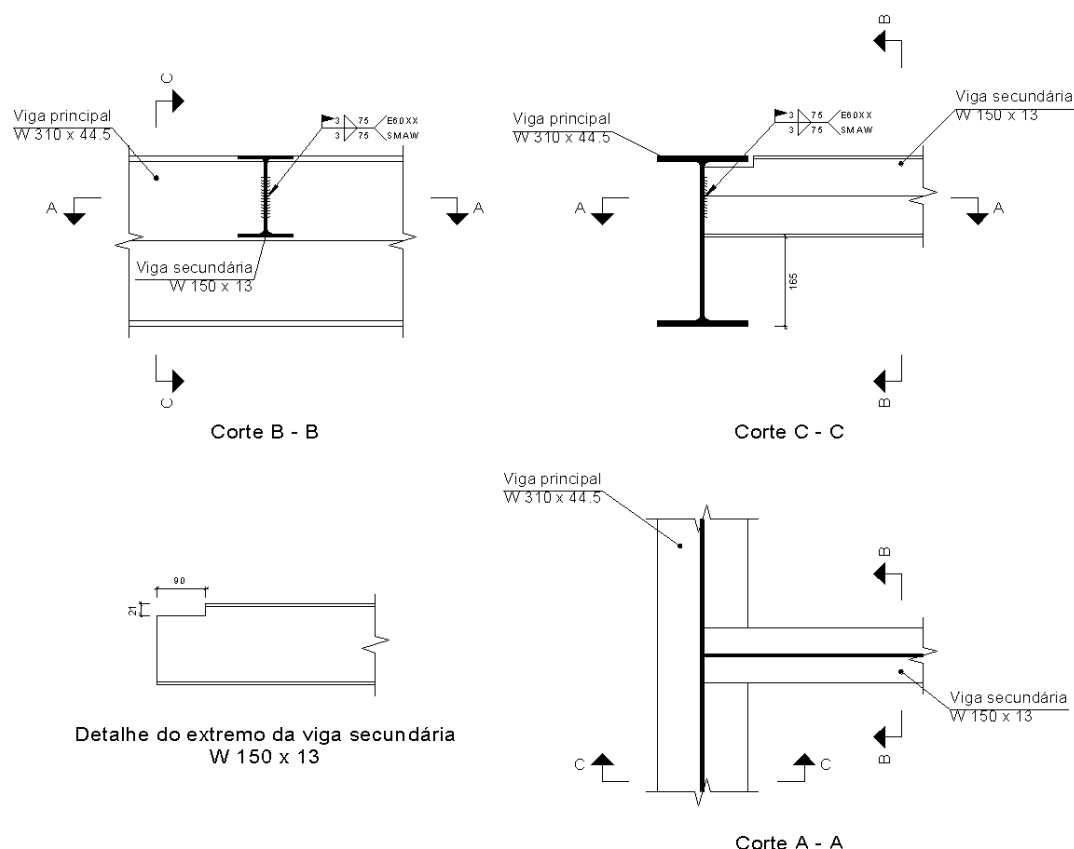
Figura 22 – Ligação soldada entre vigas de mesma dimensão



4.5.4 Ligação soldada entre vigas de diferentes dimensões.

Para soldas entre vigas considera-se apenas o tipo de ligação flexível, visto que os demais casos seriam especiais e demandariam cálculos mecânicos aprofundados.

Figura 23 - Ligação soldada entre vigas de diferentes dimensões

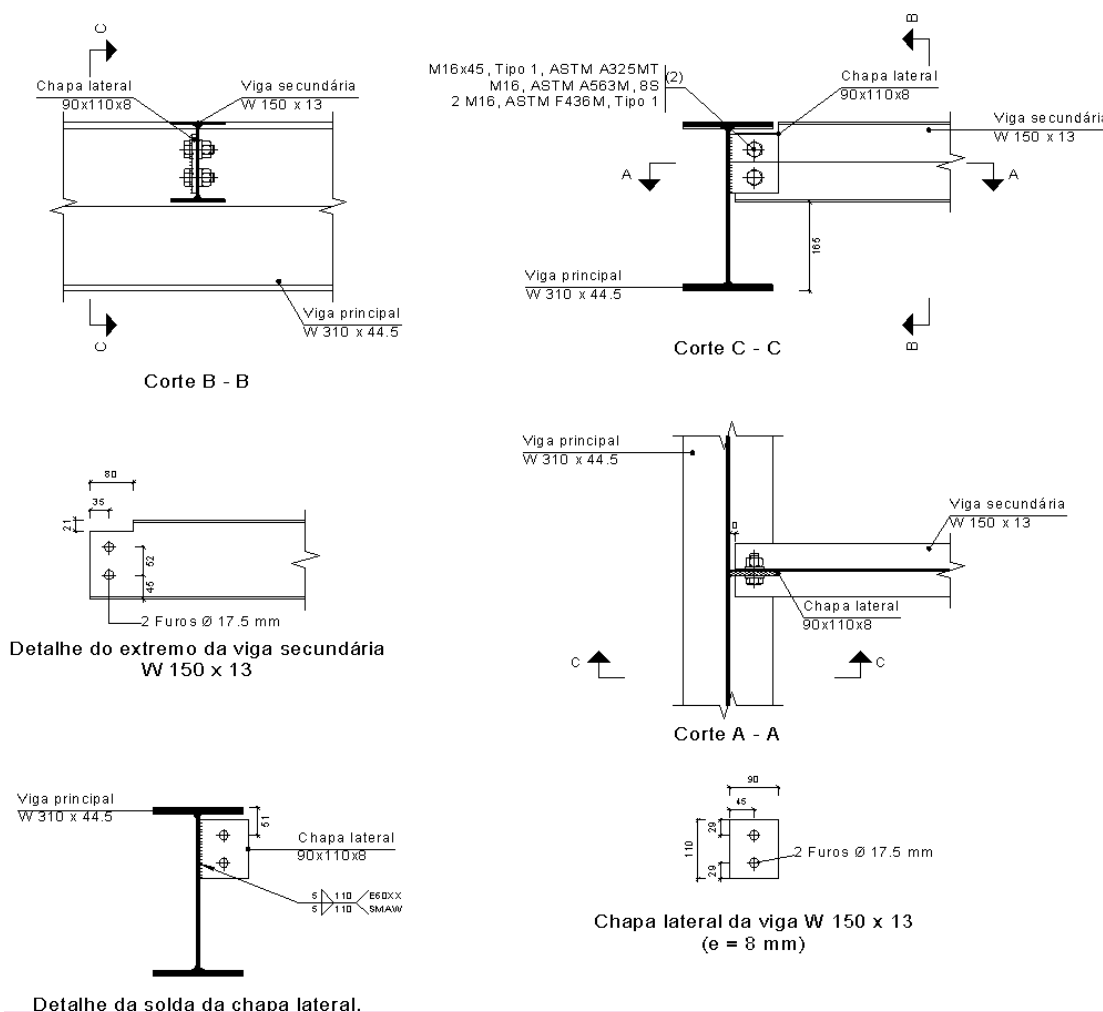


Fonte: Software Cype 3D

4.5.5 Ligação parafusada entre vigas de diferentes dimensões.

A definição para ligações deste tipo segue as mesmas das ligações soldadas entre vigas de diferentes dimensões. A **figura 24** demonstra este tipo de ligação.

Figura 24 - Ligação parafusada entre vigas de diferentes dimensões.



Detalhe da solda da chapa lateral.

Fonte: software Cype 3D

4.2 EMENDAS

4.2.1 Emendas em perfis

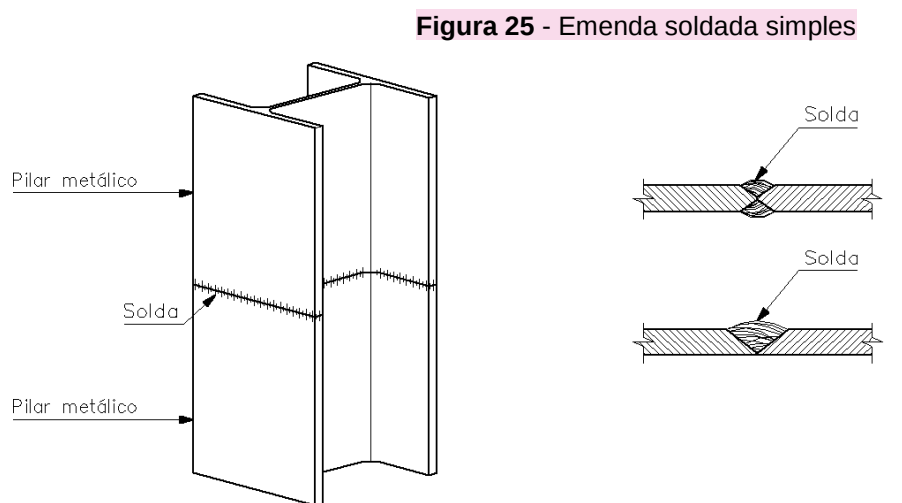
A execução de emendas é fundamental para a execução de estruturas metálicas, pois visa aproveitamento de material, todavia, ao se realizar emendas deve-se realizá-las de forma correta para se garantir que não se terá a redução da resistência do perfil utilizado. Para isso têm-se modelos de padronização para facilitarem as emendas em perfis. A Tipologia das emendas é a mesma para perfis do tipo I ou H então serão apresentados pilares e vigas em um único detalhe.

4.2.2 Emenda soldada em pilares de mesma dimensão

Para a emenda soldada em perfis metálicos tem-se pelo menos duas formas utilizadas:

I. Solda de topo

Este tipo de emenda é utilizado com mais frequência em fábrica, onde o engenheiro mecânico executa o dimensionamento e a definição do processo de soldagem e através de inspeções rígidas, garante-se a qualidade da emenda. Este tipo de emenda torna-se custosa devido ao risco de falhas no processo de soldagem e consequentemente ao processo minucioso de inspeção causado pela área de soldagem reduzida. A **figura 25** tem o modelo de emenda.

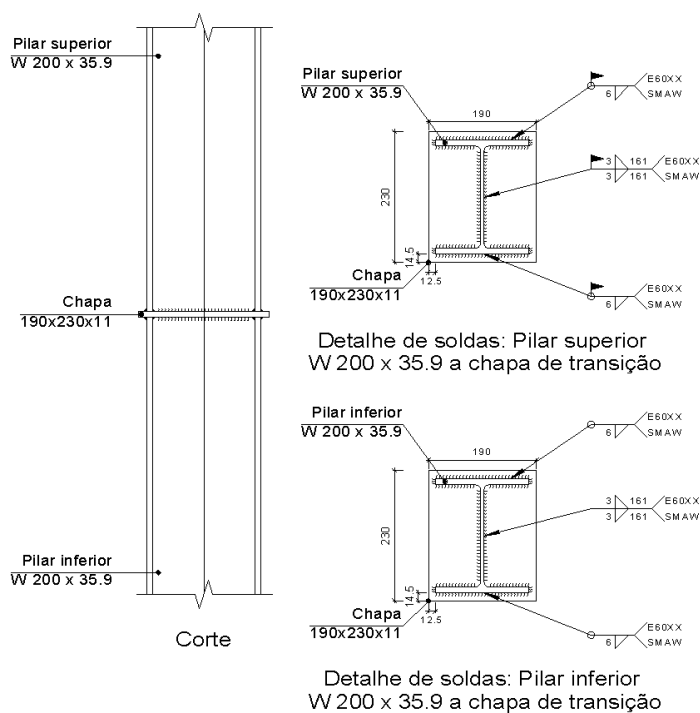
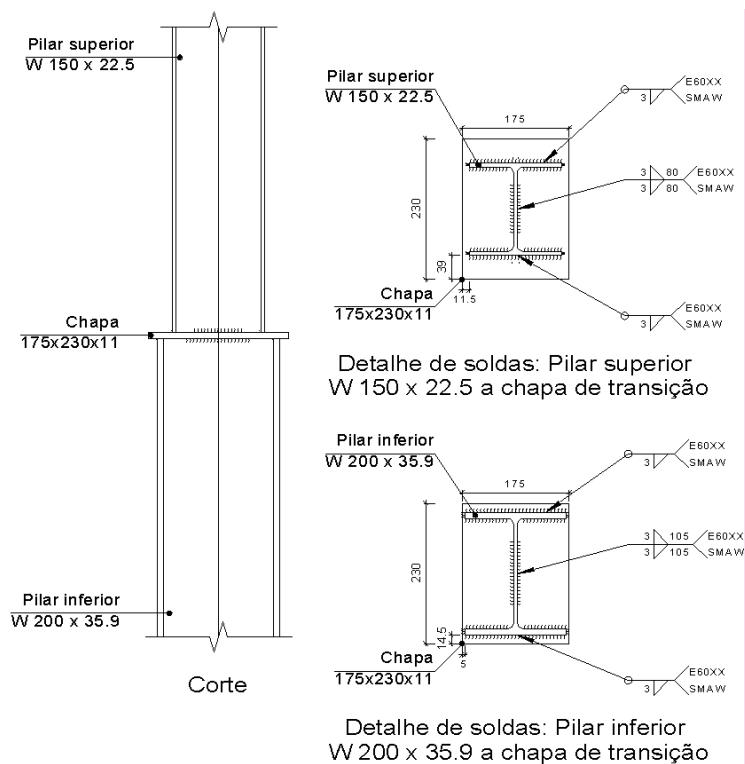


Fonte: Imagens google

Outro fator que dificulta a execução deste tipo de emenda é o risco de empenamento do perfil.

II. Emenda com chapa de transição:

Nesta ligação, a adição da chapa garante o aumento da área de soldagem, diminui a influência da zona termicamente afetada -ZTA, reduz o empenamento do perfil e facilita entre outros, a inspeção. As **figuras 26 e 27** demonstram o tipo de ligação.

Figura 26 - Emenda soldada com chapa de transição**Fonte: Software Cype 3D****Figura 27 - Emenda soldada em pilares de dimensões diferentes****Fonte: Software Cype 3D**

Todas as soldas precisarão passar por inspeções para fins de segurança.

4.6.3 Emenda de pilares em perfis Gerdau - EP1/EP 2

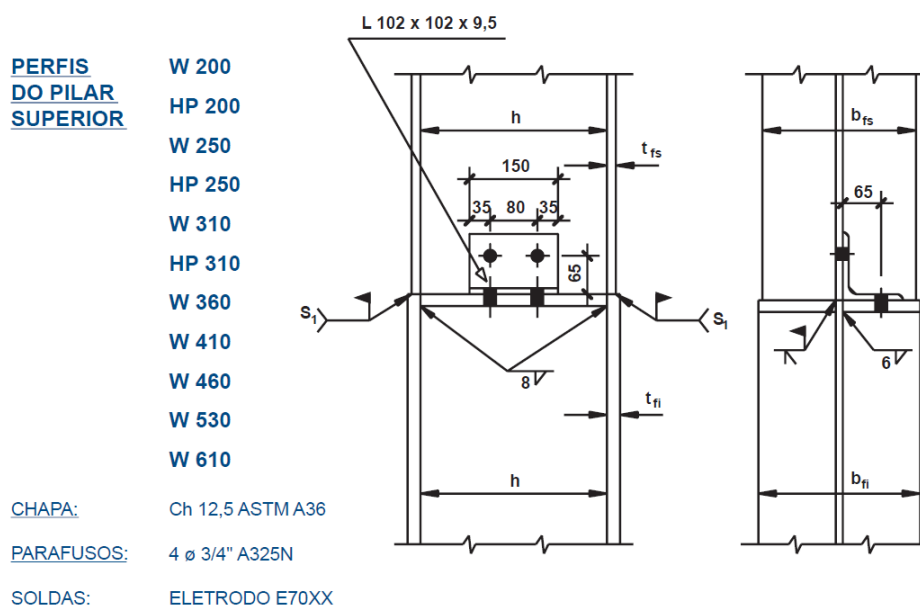
Neste tipo de ligação têm-se emendas em pares, sendo que o tipo EP1 os dois trechos ligados têm a mesma distância entre faces e o tipo EP2 possui distâncias diferentes.

Este tipo de ligação possui algumas características que devem ser levadas em conta:

- Quanto à espessura de chapa só são utilizados dois tipos, 37,5mm de espessura para perfis W150 e W200, e chapa de 50 mm de espessura para os demais perfis.
- É utilizada a cantoneira de 10x102x9.5 com gabarito de furação de 65 mm em todas as ligações.
- Para ligação EP1 as larguras e espessuras das mesas inferiores precisam ser maiores que as das mesas superiores.

Os tipos de ligação podem ser vistos nas figuras a seguir:

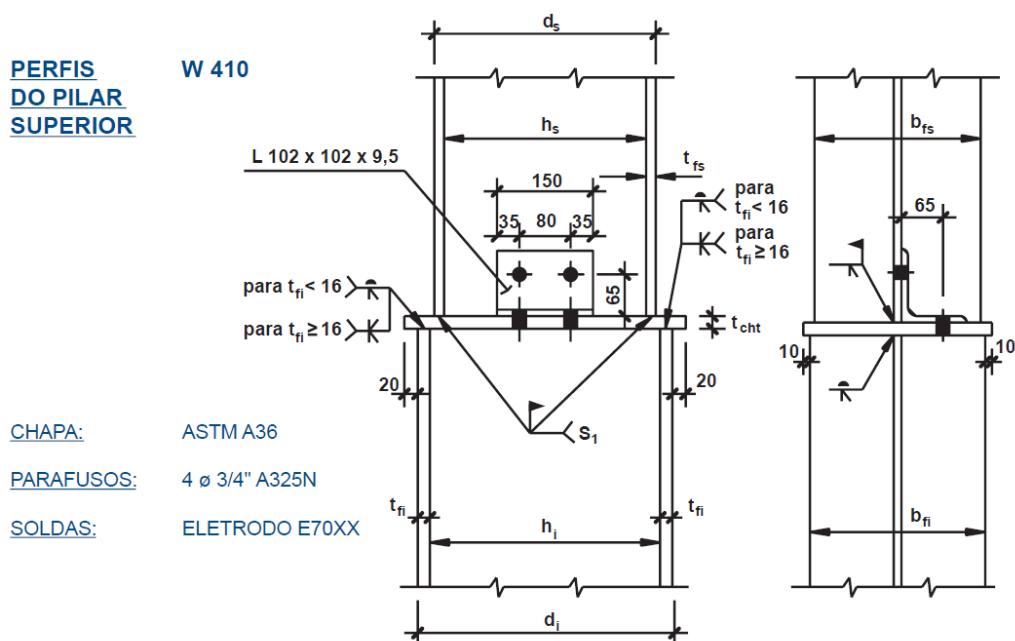
Figura 28- Ligação do tipo EP1 (a)



Fonte Ligações para estruturas em aço Gerdau p.173

Em um projeto estrutural sempre deve-se descrever a possibilidade de emendas visto que os perfis têm comprimento máximo de 12m.

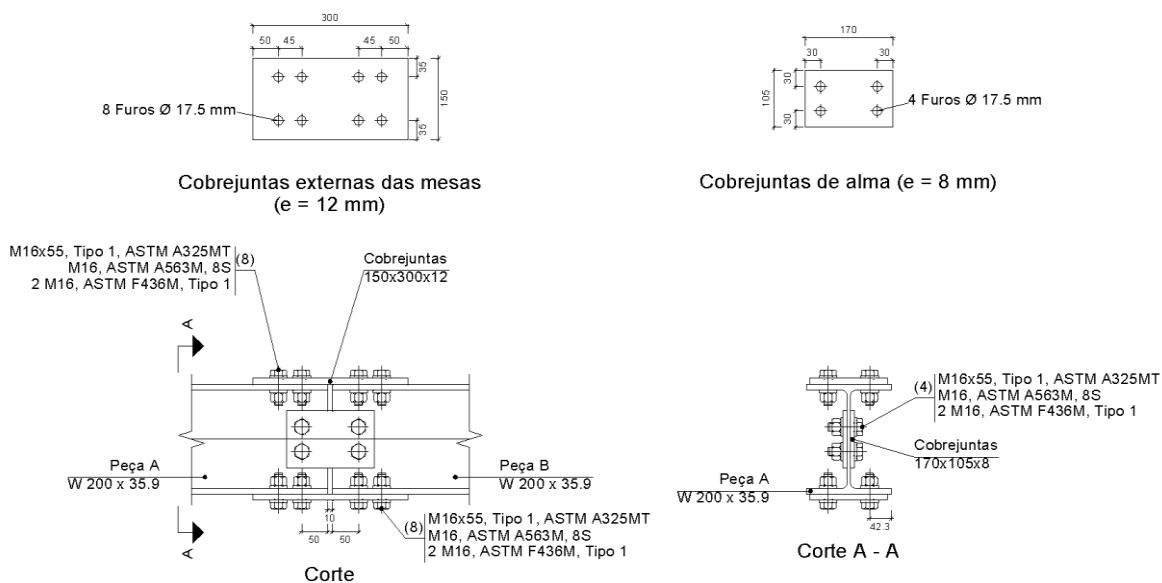
Figura 29 - Ligação do tipo EP2



Fonte: Ligações para estruturas em aço Gerdau p.175

No manual Ligações para estruturas em aço, encontram-se tabelas onde descreve-se o dimensionamento de soldas para cada ligação, porém, como o dimensionamento de solda e parafusos não é o foco deste trabalho portanto, não será detalhado.

Figura 30 - Ligações para estruturas em aço

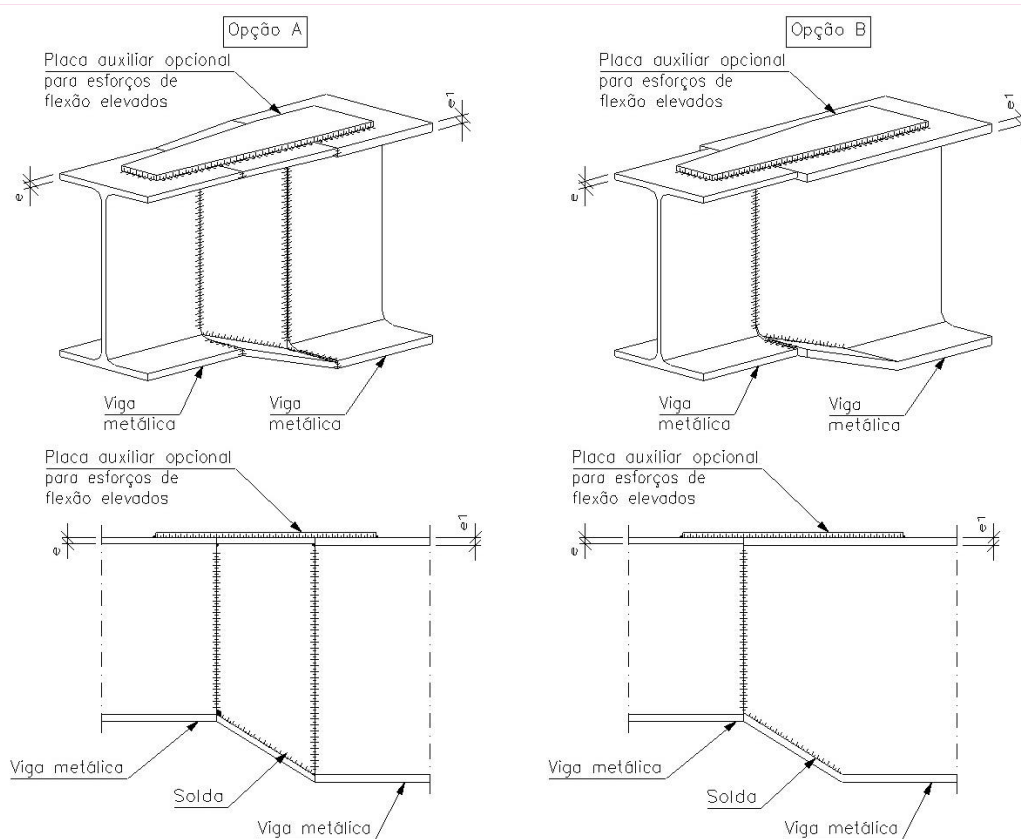


Fonte Software Cype 3D

A ligação referente à **figura 30** é complexa, porém os softwares como Cype 3D detalham-na perfeitamente e seu dimensionamento será de acordo com as normas vigentes.

Para emendas soldadas em vigas, aplica-se a mesma tipologia das emendas em pilares soldados. Já para a emenda soldada em vigas de diferentes dimensões é mais utilizada em áreas industriais, devido à necessidade de instalação de equipamentos, dutos e etc. Na construção civil, este tipo de ligação é feito raramente e ainda assim a título de economia e aproveitamento de perfis. (PFEIL, 2008)

Figura 31 - Ligação soldada de topo em vigas metálicas diferentes



Fonte: Software Cype 3D

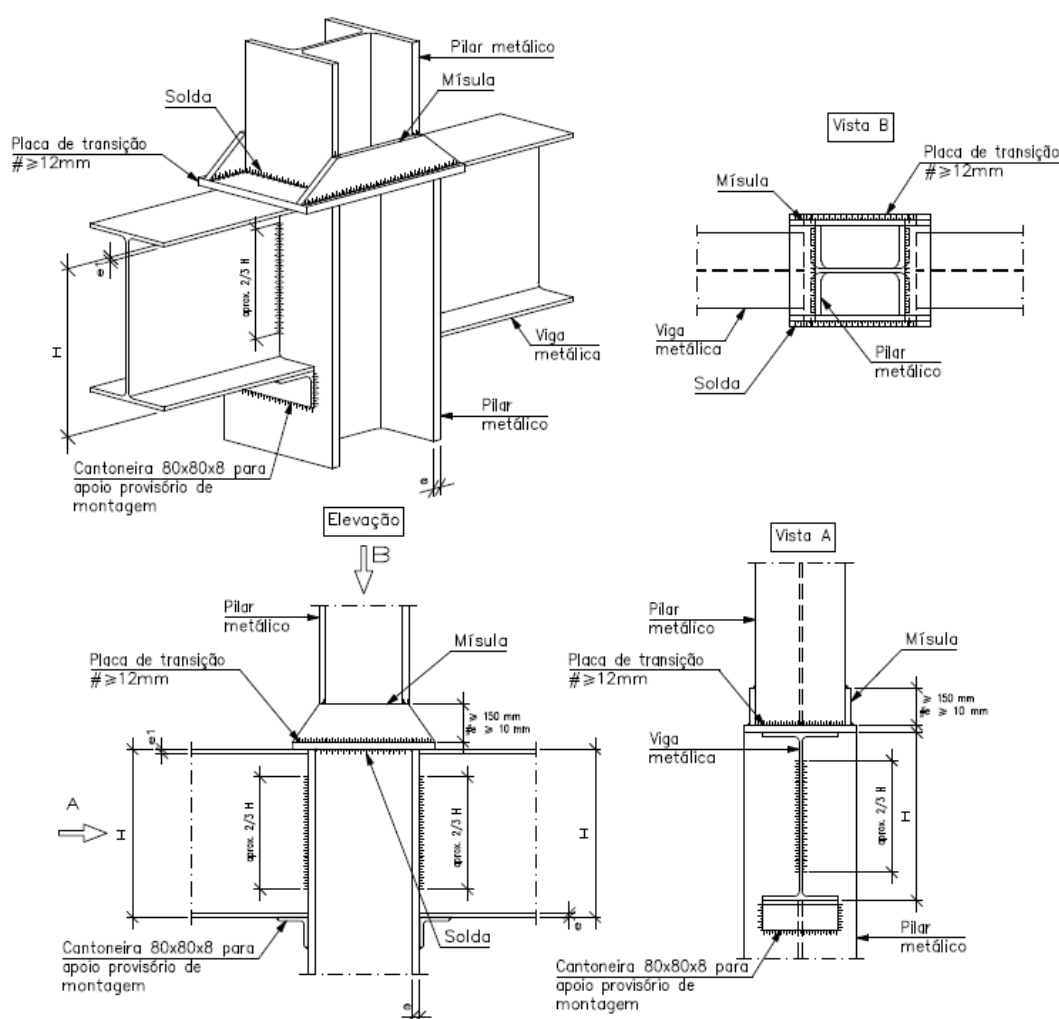
Este tipo de ligação deve ser utilizado apenas quando não houver outra alternativa devido à complexidade e custo.

4.7 LIGAÇÕES ESPECIAIS

As ligações especiais podem ser descritas como:

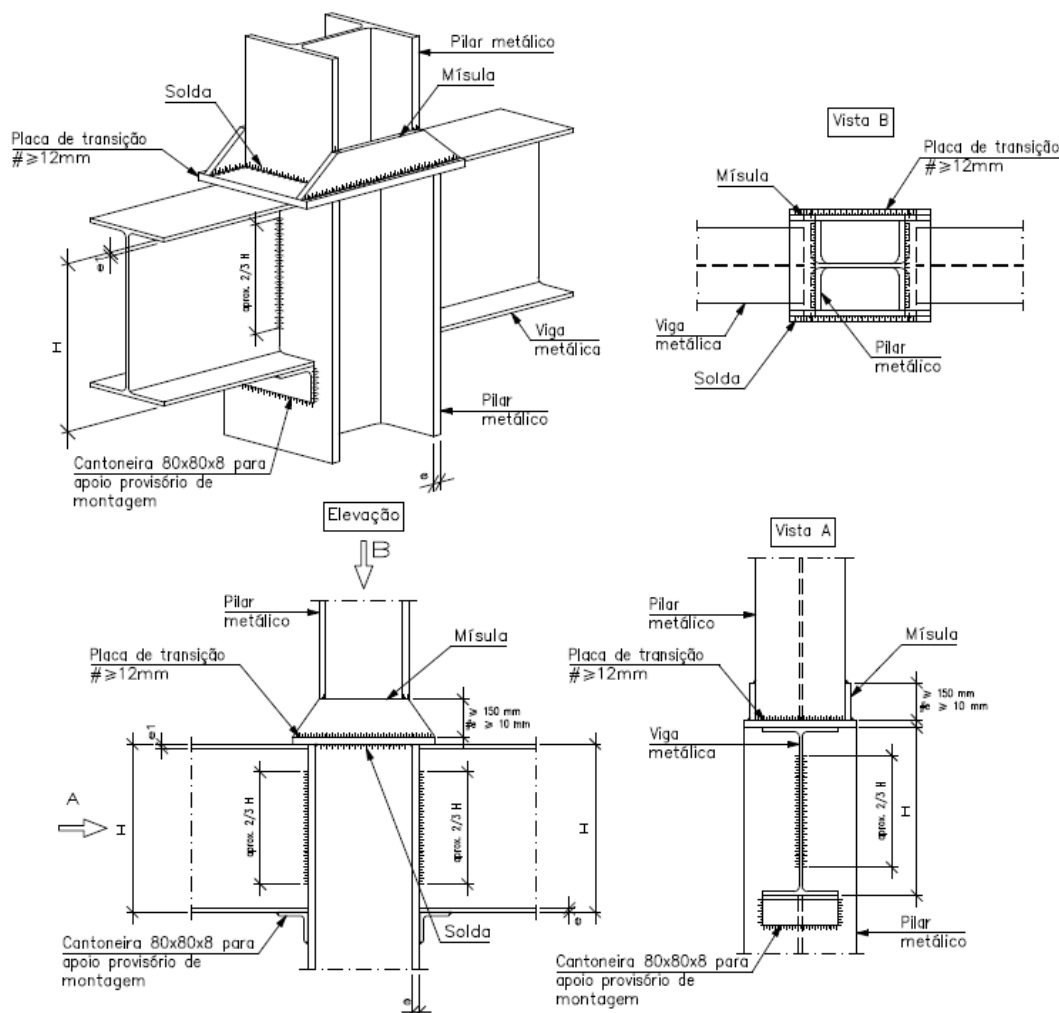
- I. Ligação articulada de vãos adjacentes com pilar de continuidade.
- II. Ligação semirrígida no extremo do vão duma viga com pilar
- III. Ligação semirrígida em linha de pilares, de viga-pilar com viga-pilar
- IV. Ligação semi-rígida de vãos adjacentes com pilar da última planta
- V. Ligação articulada no extremo do vão com pilar
- VI. Ligação articulada no extremo do vão duma viga com pilar da última planta
- VII. Ligação articulada de vãos adjacentes com pilar da última planta
- VIII. Ligação semi-rígida no extremo do vão com pilar da última planta
- IX. Ligações típicas para pórticos semirrígidos metálicos
- X. Ligação em cruz, com continuidade entre vigas metálicas de mesma altura, com torção.

Figura 32 - Ligação articulada de vãos adjacentes com pilar de continuidade.



Ao se emendar um perfil de pilar que é contínuo, deve-se seguir o modelo:

Figura 33 - Ligação articulada de vãos adjacentes com pilar de continuidade.



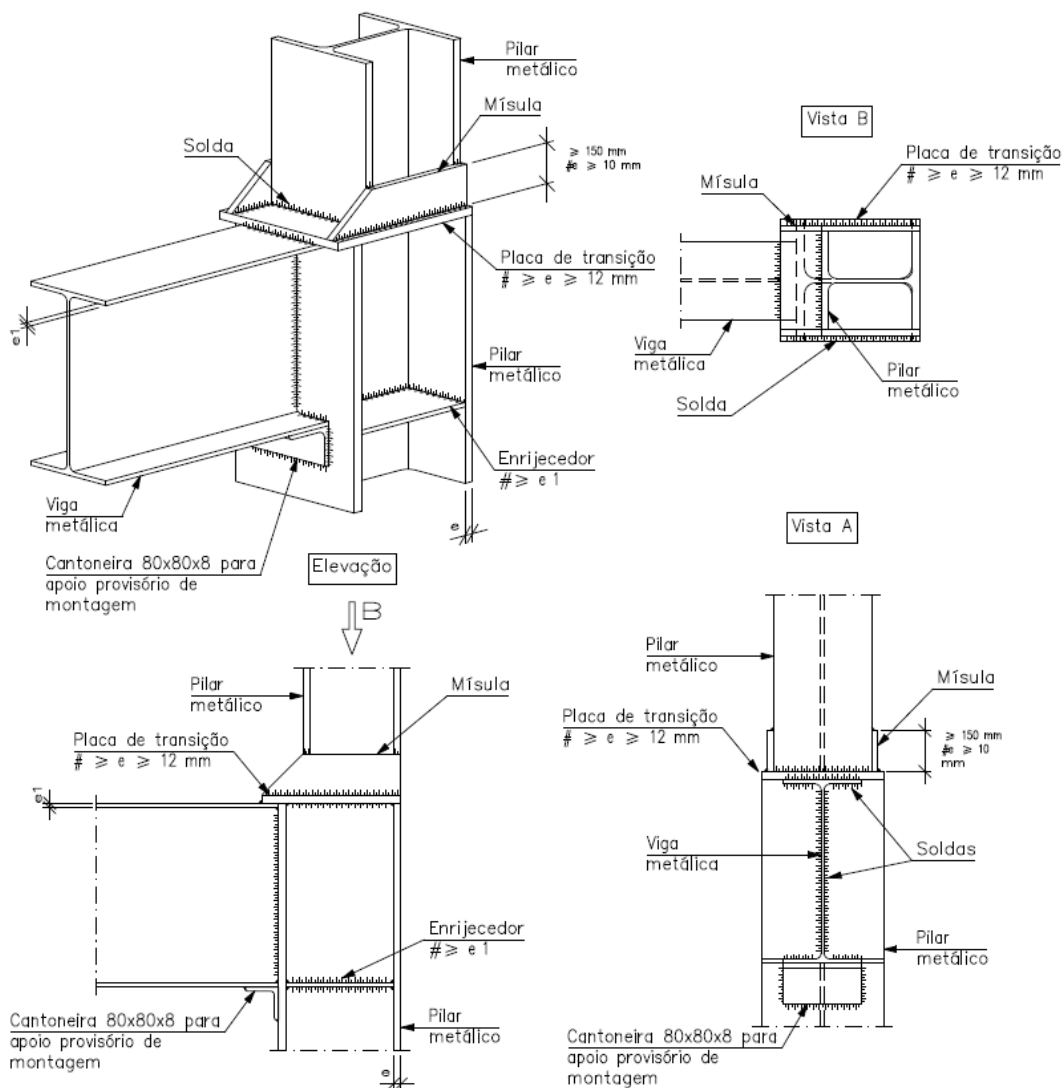
Fonte: Software Cype 3D

Este tipo de ligação é muito comum quando se deseja reduzir a dimensão do pilar nos pavimentos superior a fim de reduzir custos. Para garantir a resistência da ligação são adicionadas mísulas que reforçam a rigidez da ligação.

4.7.1 Ligação semirrígida no extremo do vão duma viga com pilar

Na **figura 34** tem-se uma situação de ligação semirrígida onde o pilar se encontra em extremidade da edificação.

Figura 34 - Ligação semirrígida no extremo do vão duma viga com pilar.

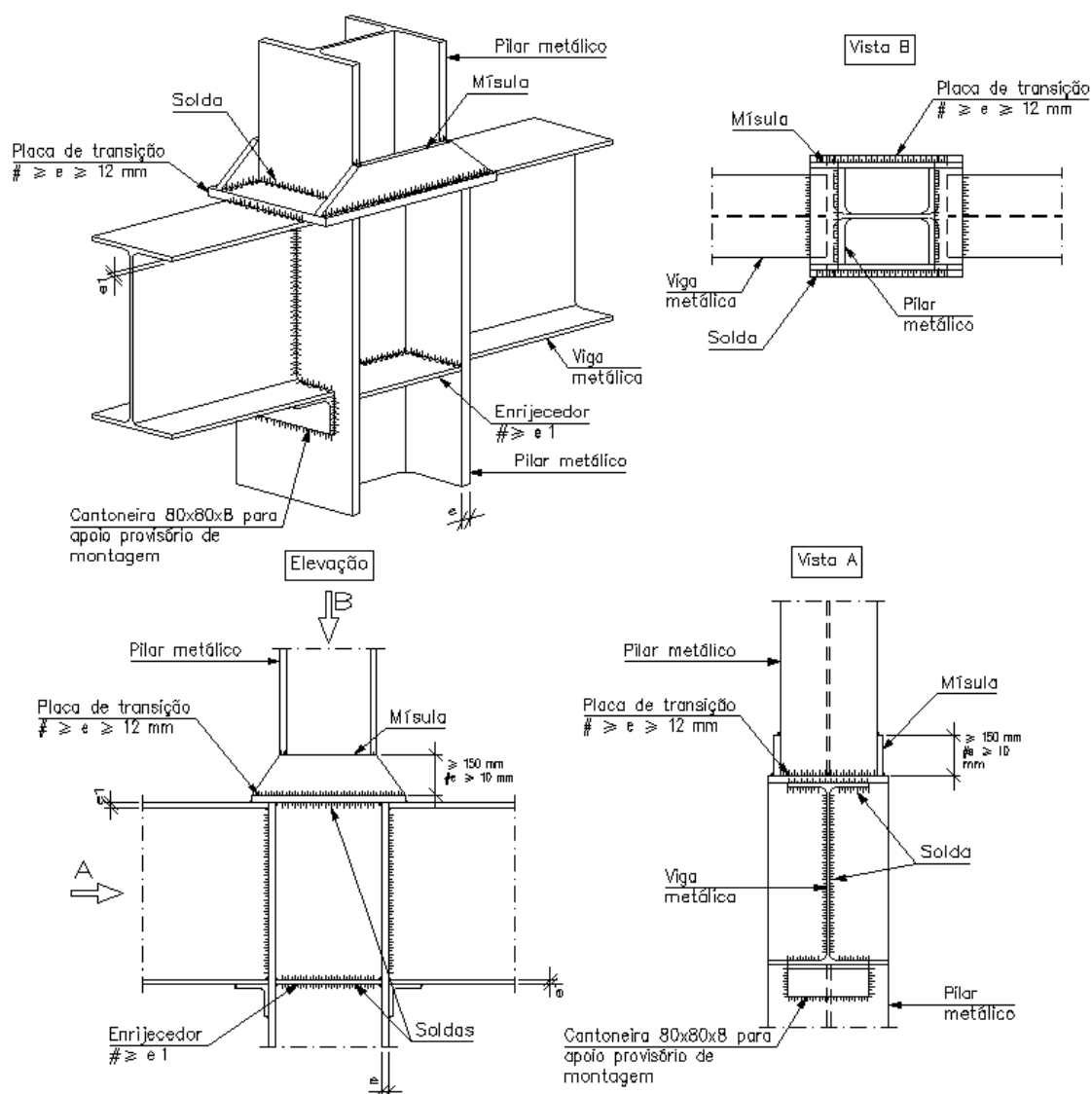


Fonte: Software Cype 3D

A ligação da **figura 34** utiliza mísulas, chapas enrijecedoras e cantoneiras em sua execução. O dimensionamento desta ligação varia de acordo com o tipo de perfis e deve ser dimensionada por engenheiro habilitado.

Abaixo outro tipo de ligação metálica:

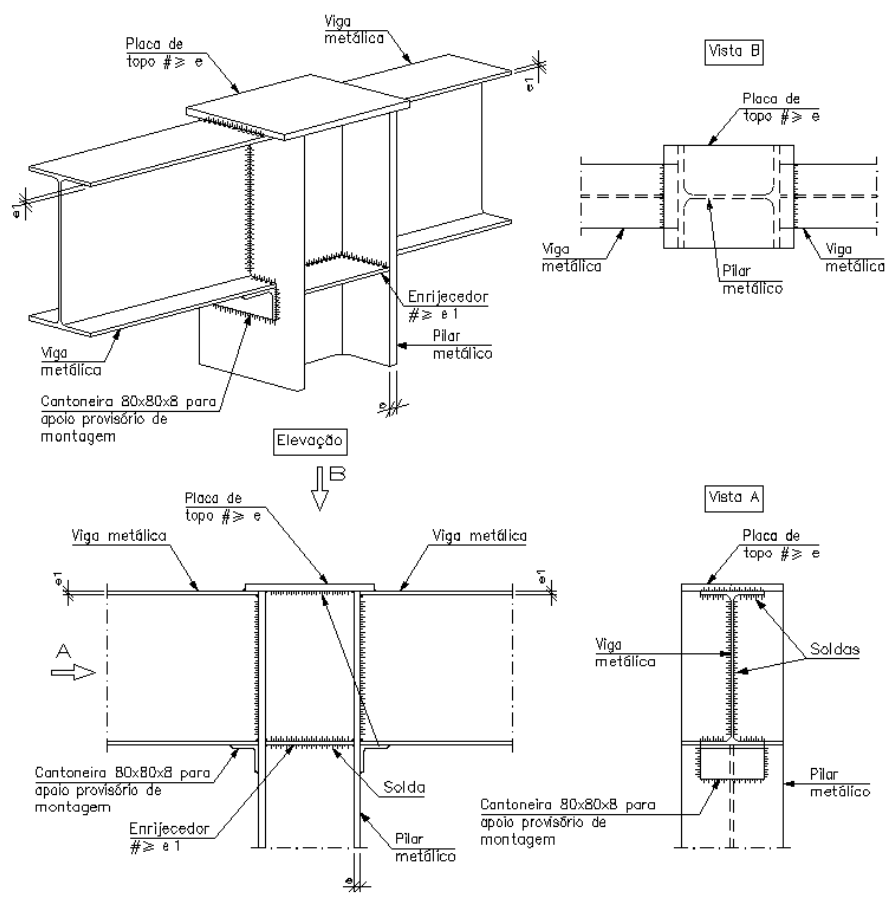
Figura 35- Ligação semi-rígida em linha de pilares, de viga-pilar com viga-pilar



Fonte: Software Cype 3D

Apesar de parecer complexa e cara, a ligação demonstrada na **figura 35** pode trazer uma economia considerável, principalmente quando as cargas do pavimento superior são bem menores gerando menores esforços e permitindo segurança, mesmo com perfil de menor dimensão.

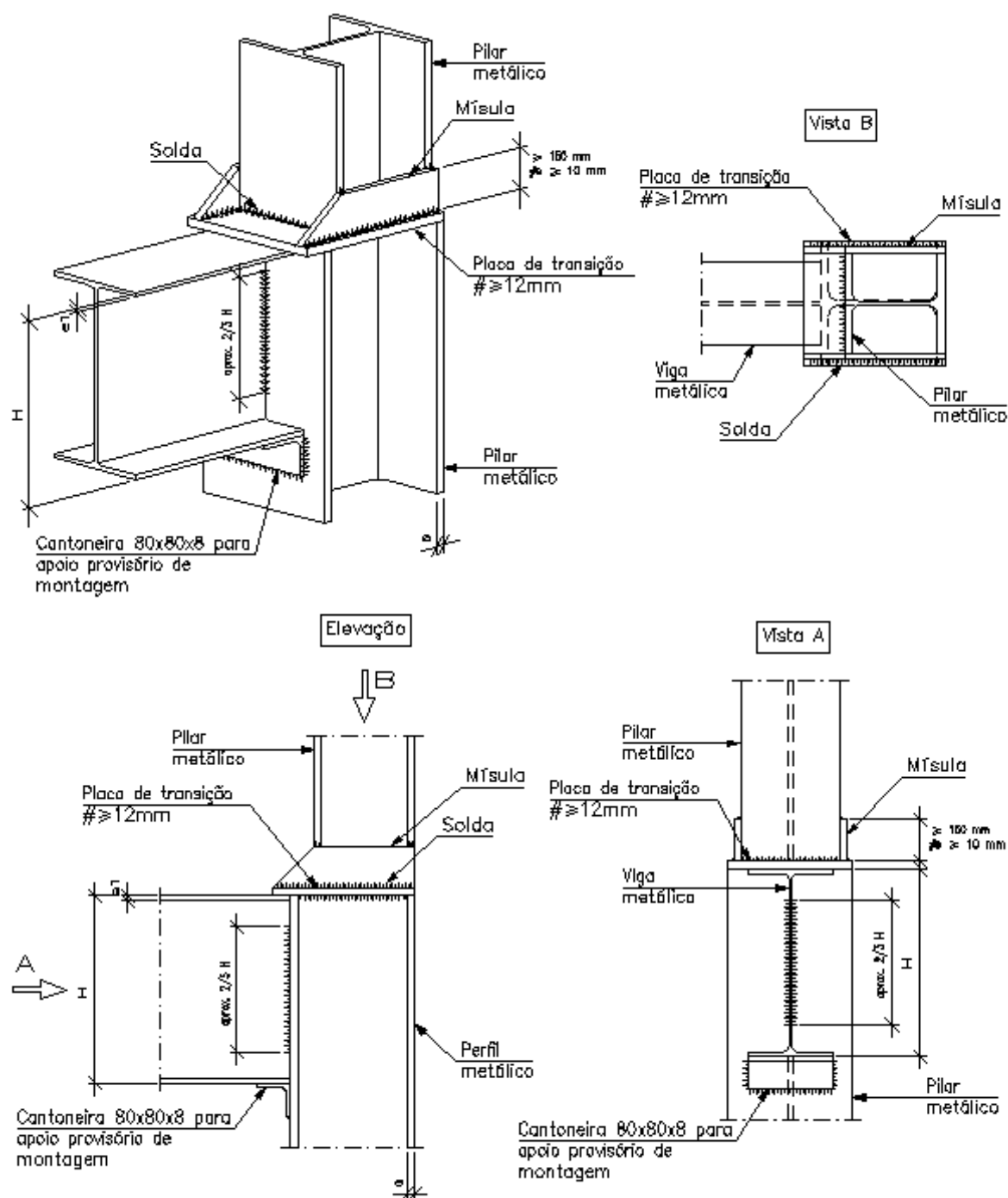
Figura 36- Ligação semi-rígida de vãos adjacentes com pilar da última planta



Fonte: Software Cype 3D

Devido ao excesso de solda, para a ligação descrita na **figura 36** deve-se fazer a viabilidade entre esta ligação e a parafusada, pois vários fatores interferem na qualidade da solda em campo como por exemplo as condições climáticas, que podem gerar grande perda na qualidade e até mesmo gerar aumento de custo por impossibilidade de execução de soldas.

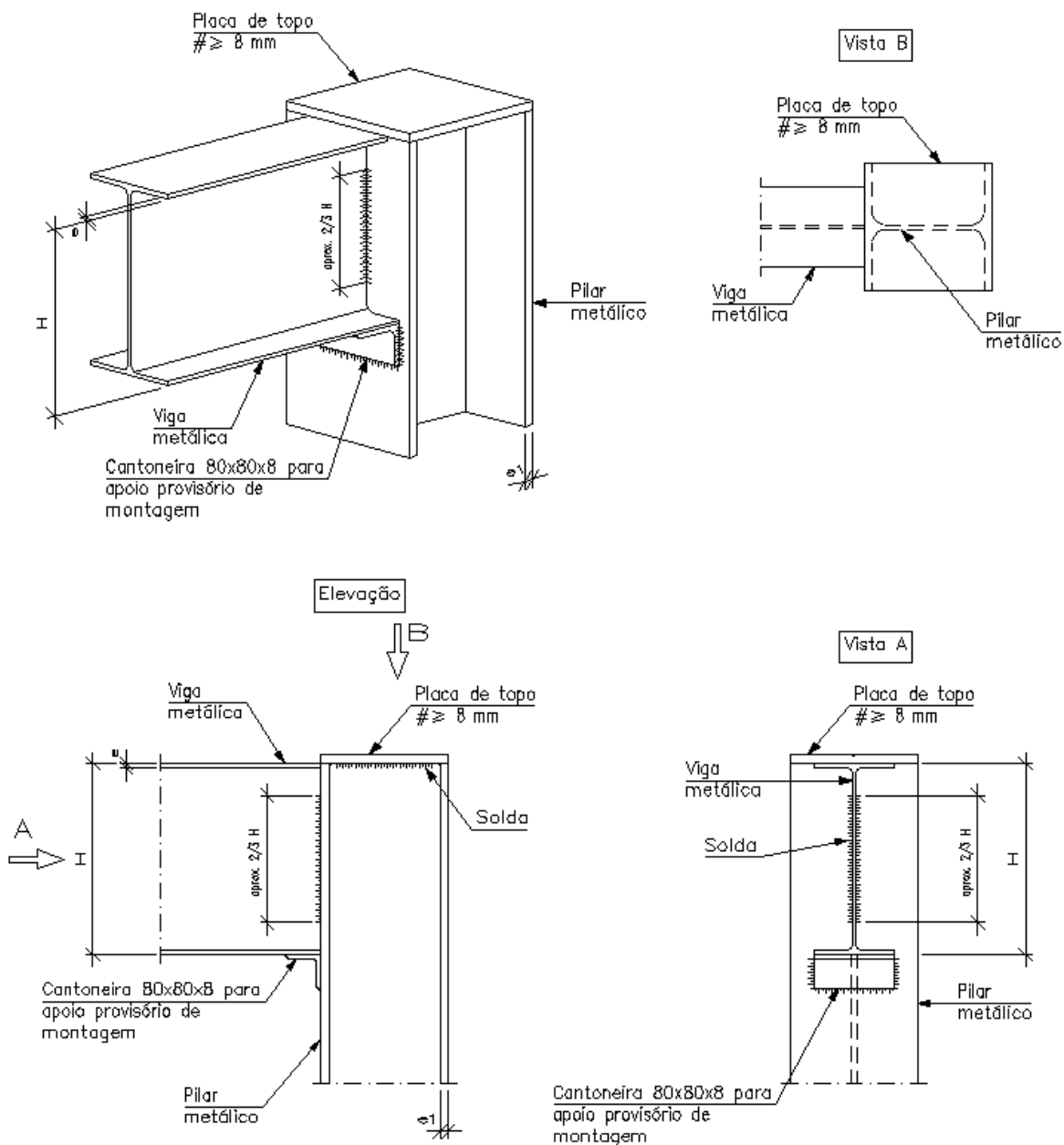
Figura 37 - Ligação articulada no extremo do vão com pilar



Fonte: Software Cype 3D

Na **figura 37** pode-se perceber uma padronização quando se fala de articulação na soldagem da alma do perfil junto ao pilar compreendendo a um cordão de solda com aproximadamente $2/3$ da altura da alma do perfil. Esta dimensão precisa ser avaliada e dimensionada por profissional habilitado mesmo tendo ciência de que vários softwares já geram o dimensionamento completo das ligações.

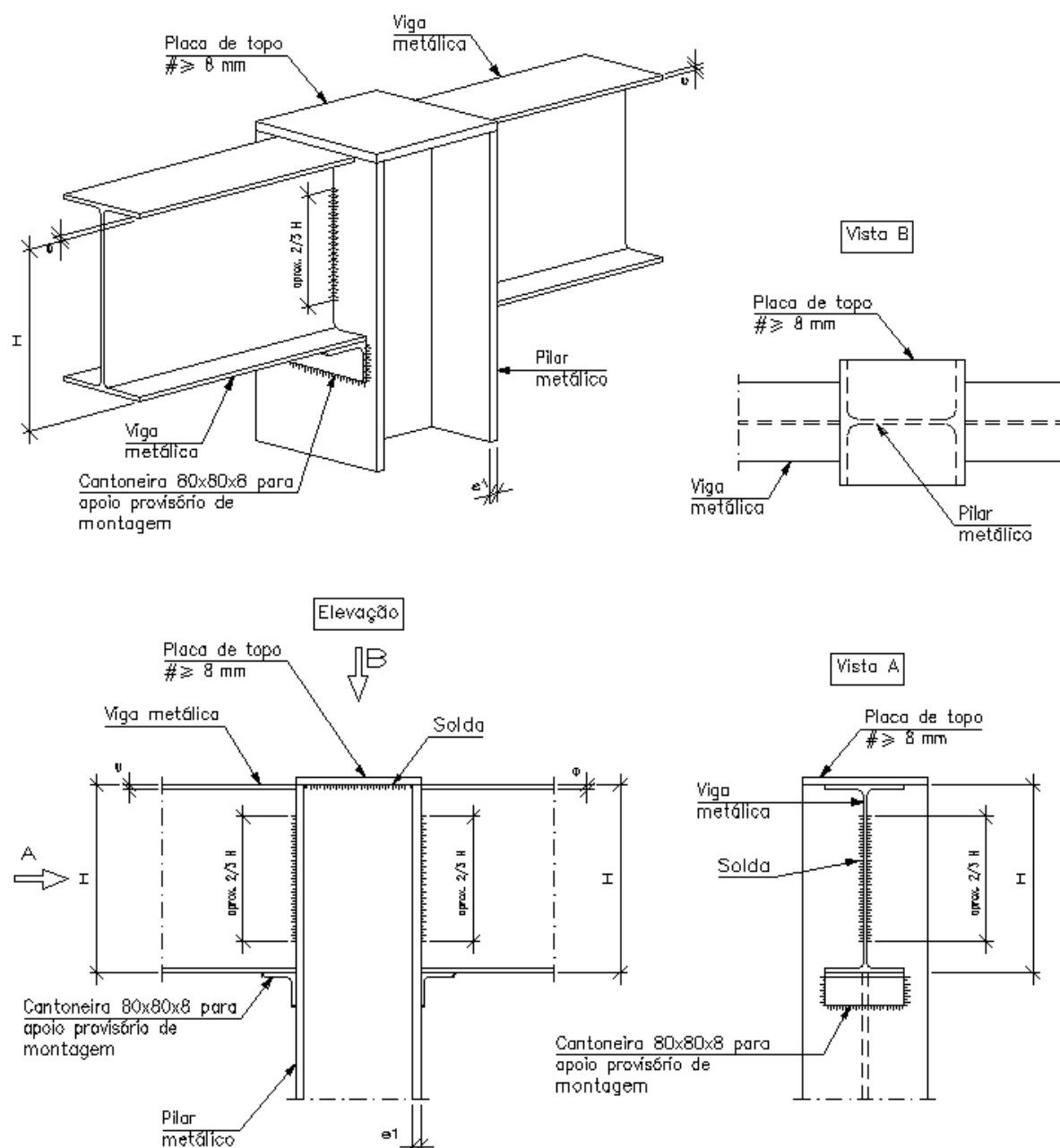
Figura 38 Ligação articulada no extremo do vão duma viga com pilar da última planta



Fonte: Software Cype 3D

Para o pilar de ultima planta tem-se a chapa de topo para enrijecimento e acabamento do perfil.

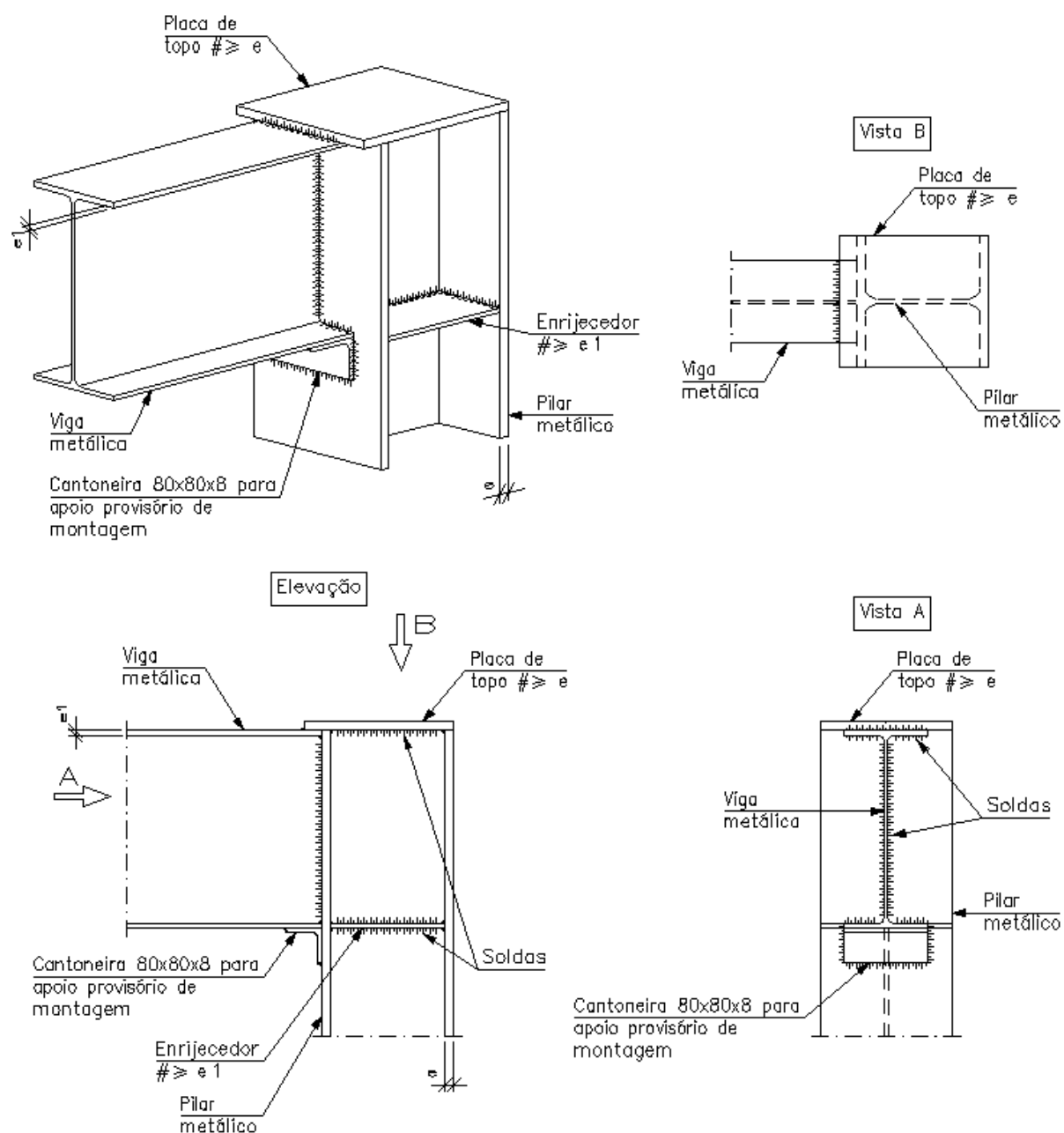
Figura 39 - Ligação articulada de vãos adjacentes com pilar da última planta



Fonte: Software Cype 3D

A **Figura 39** demonstra a mesma situação da figura 38, porém com vãos adjacentes.

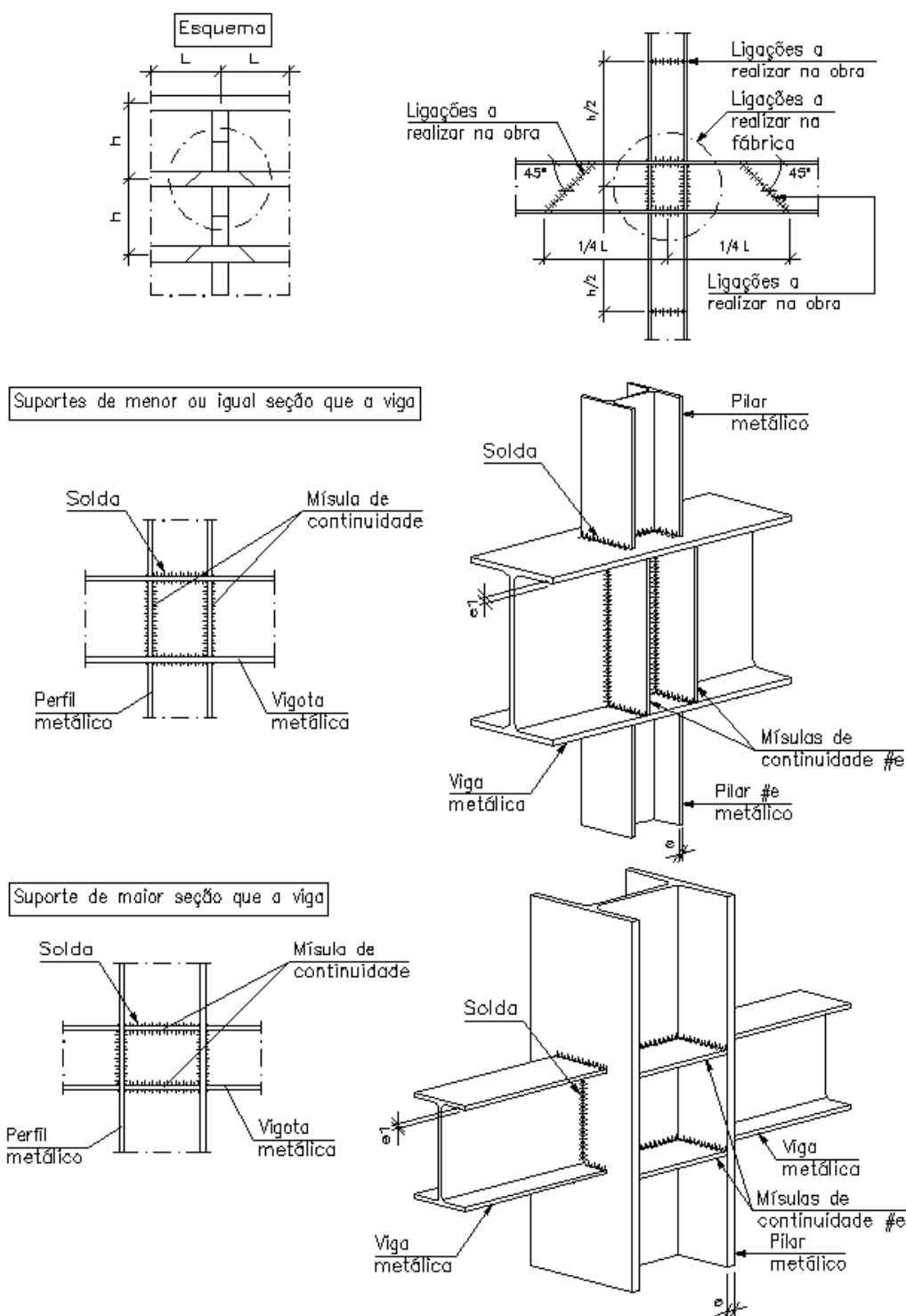
Figura 40 - Ligação semi-rígida no extremo do vão com pilar da última planta



Fonte: Software Cype 3D

Uma característica das ligações soldadas é a cantoneira de montagem. A mesma apesar de ser chamada cantoneira de apoio provisório, na maioria das vezes não é retirada do local. Para ligações parafusadas a mesma se faz desnecessária, pois os parafusos já servem de apoio inicial à estrutura.

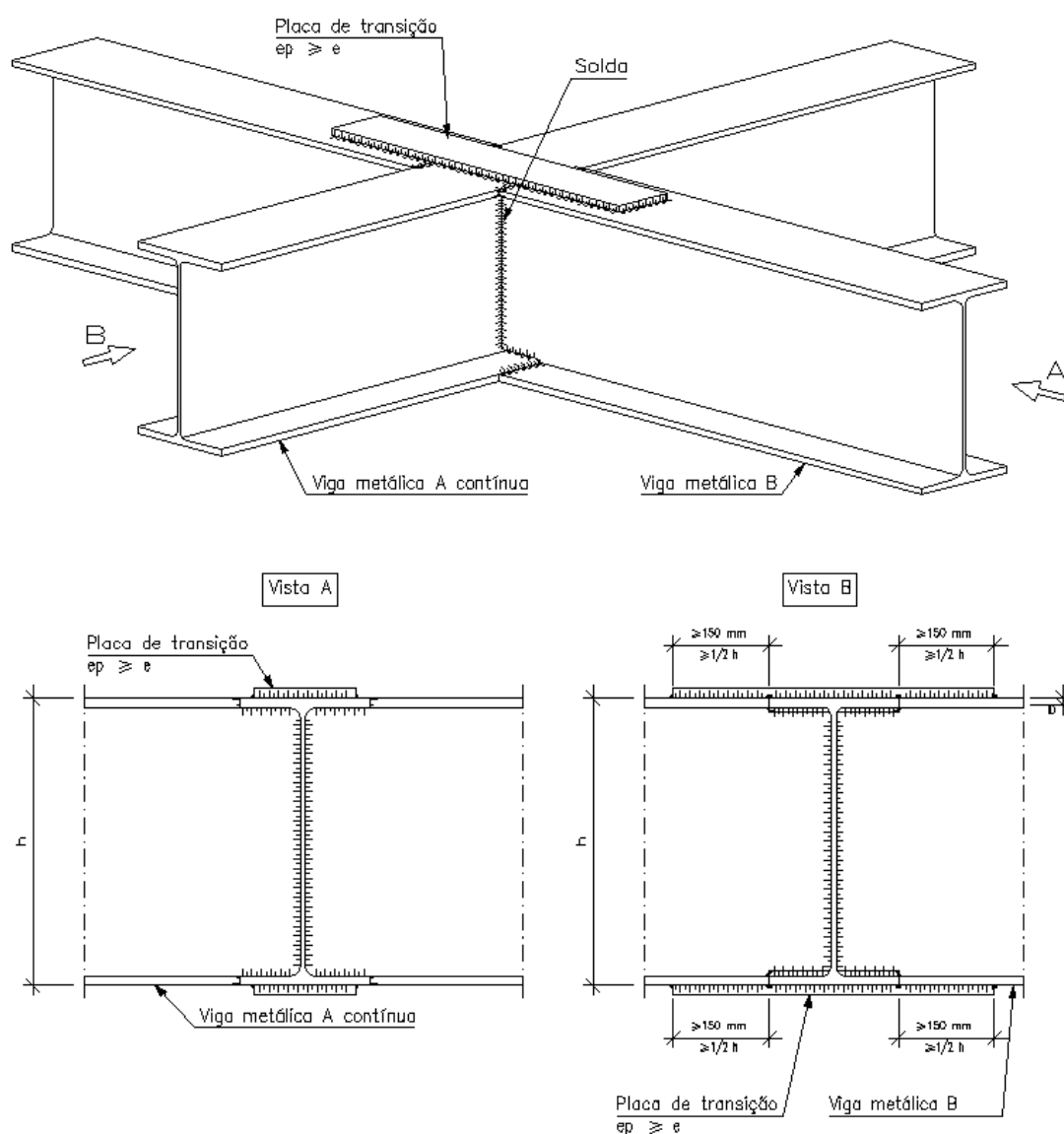
Figura 41 - Ligações típicas para pórticos semirrígidos metálicos



Fonte: Software Cype 3D

Para a **figura 41**, tem-se duas situações, onde na primeira, (pouco usual) o pilar possui dimensões das mesas inferiores à mesas da viga exigindo um corte no pilar e reforços na alma da viga para resistência à compressão.

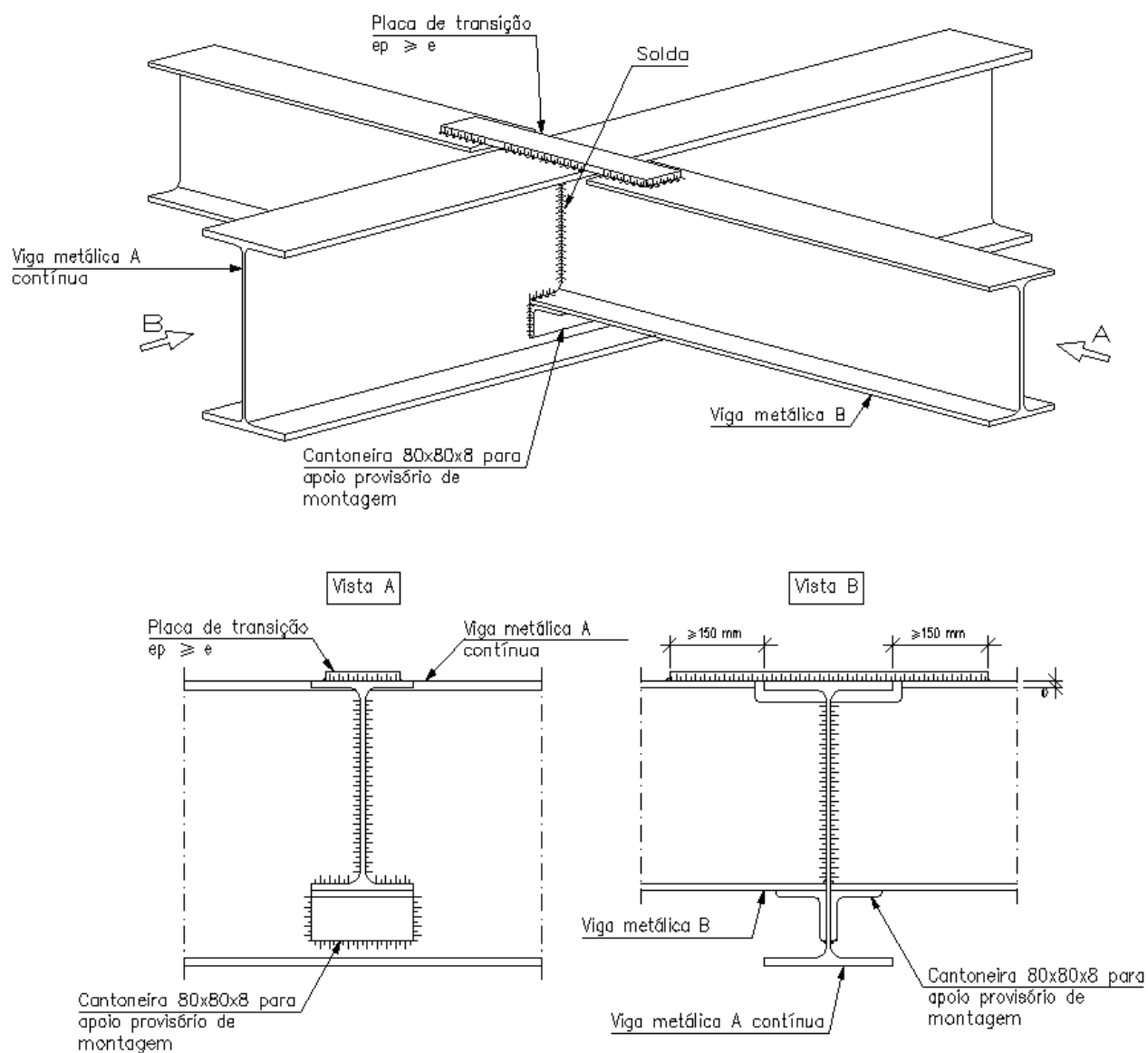
Figura 42 - Ligação em cruz, com continuidade entre vigas metálicas de mesma altura, com torção



Fonte: Software Cype 3D

A **figura 42** demonstra um tipo de ligação a que se tem torção, portanto, para aumento da resistência adiciona-se chapa de transição ligando as mesas das vigas secundárias. A principal regra deste tipo de ligação é que a espessura da chapa de transição não deve ser menor que a espessura da mesada viga soldada e seu comprimento deve exceder a largura da mesa em no mínimo 150mm ou metade da altura da viga.

Figura 43 - Ligação em cruz, com continuidade, de vigas metálicas de alturas diferentes



Fonte: Software Cype 3D

[TUTOR2] A **Figura 43** expõe a situação em que a viga secundária possui altura menor que a primária tendo, portanto, ao invés de chapa de transição, a cantoneira de apoio provisório de montagem.

5 LIGAÇÃO MISTA AÇO/CONCRETO

5.1 UTILIZAÇÃO DE LIGAÇÕES MISTAS

Na construção civil tem-se em algumas situações em que o engenheiro civil precisará conhecer e avaliar a forma de ligação entre estruturas compostas de mesmo material e também de diferentes materiais, como por exemplo, a ligação entre aço e concreto.

Algumas das situações onde isso pode acontecer estão descritas abaixo:

- 1- Reforço estrutural;
- 2- Adição de estrutura para fins diversos;
- 3- Necessidades de se alcançar vãos a que uma estrutura homogênea não atenderia os requisitos necessários;
- 4- Adição de componentes mecânicos à estrutura;
- 5- Redução de custo;
- 6- Redução de carregamentos;
- 7- Modificação de estética da estrutura;
- 8- Correção de patologias em estruturas;
- 9- Atender ao projeto arquitetônico quanto à estética;
- 10- Garantir resistência quanto a fatores atmosféricos;
- 11- Garantir resistência quanto à agressividade química do ambiente;

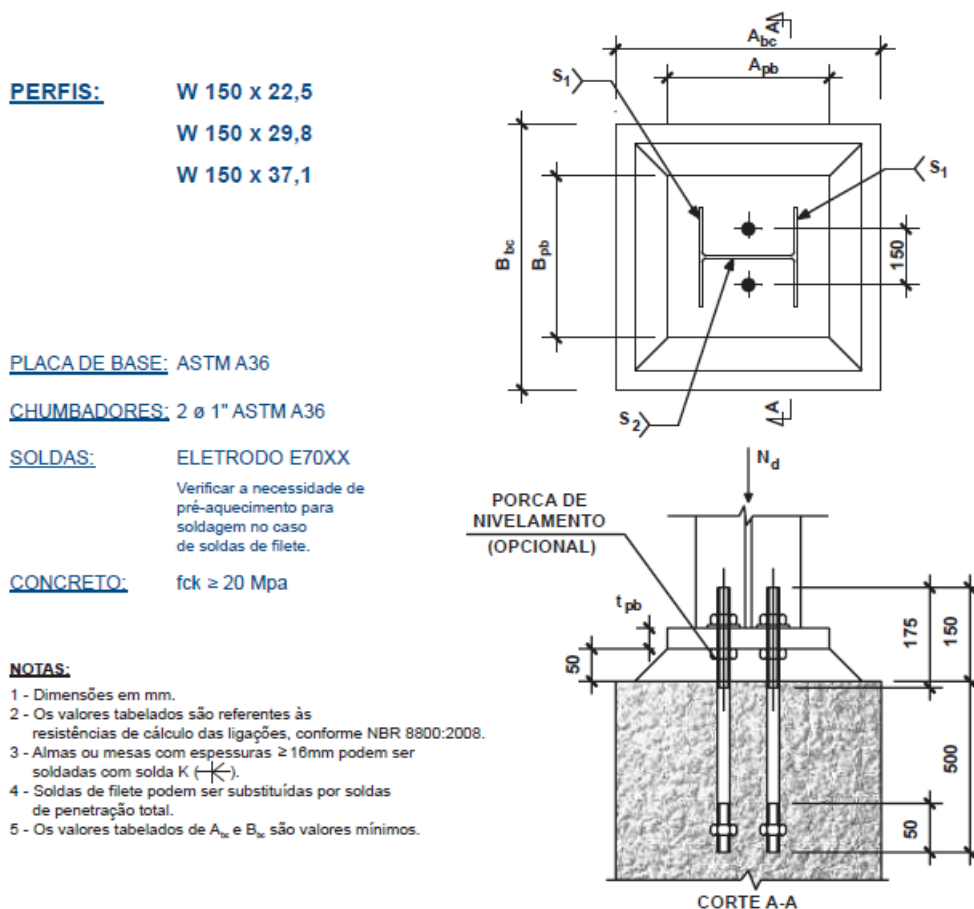
Para as ligações mistas feitas por meio de dispositivos mecânicos, de acordo com catálogo WALSYWA (2020, p.4) “Fatores como tipo da carga que a fixação irá suportar, resistência requerida, resistência do material base, ambiente, dimensões, e distanciamentos entre chumbadores e bordas do material base devem ser levados em consideração”.

O engenheiro civil deve estar preparado para tais situações afim de garantir a integridade estrutural, prevendo sempre na execução do cálculo estrutural os esforços gerais que podem vir juntamente com o acréscimo de estrutura com diferentes materiais, e com este conhecimento dimensionar corretamente a estrutura, como por exemplo, a fundação, que pode sofrer grandes interferências devido à diferença de peso ou tipo de vínculos contidos na estrutura, o ao passo que estas alterações podem reduzir ou aumentar a segurança e custo da obra.

5.2 LIGAÇÕES MISTAS EM PILARES COM BASE ROTULADA –PBR

Na **figura 44** indica-se o modelo de ligação aço/concreto referente à transição entre estrutura e fundação. Ao avaliar a quantidade e posição dos parafusos, percebe-se que a restrição dos movimentos não está sendo totalmente efetiva, portanto, trata-se de uma ligação mista de base rotulada.

Figura 44 - Ligação PBR



Fonte: Ligações para estruturas em aço Gerdau p.185

Pode-se identificar o tipo de ligação como rotulada ou flexível pela posição dos parafusos, que estão centralizados na placa de base. Como já dito anteriormente, para pilares ou vigas articuladas, pode-se utilizar estruturas adicionais mais leves para estabilizar a estrutura como é o caso dos contraventamentos.

5.3 PILARES COM BASES ENGASTADAS - PBE

Figura 45 Ligação PBE

PERFIS: W 150 x 13,0

PLACA DE BASE: ASTM A36

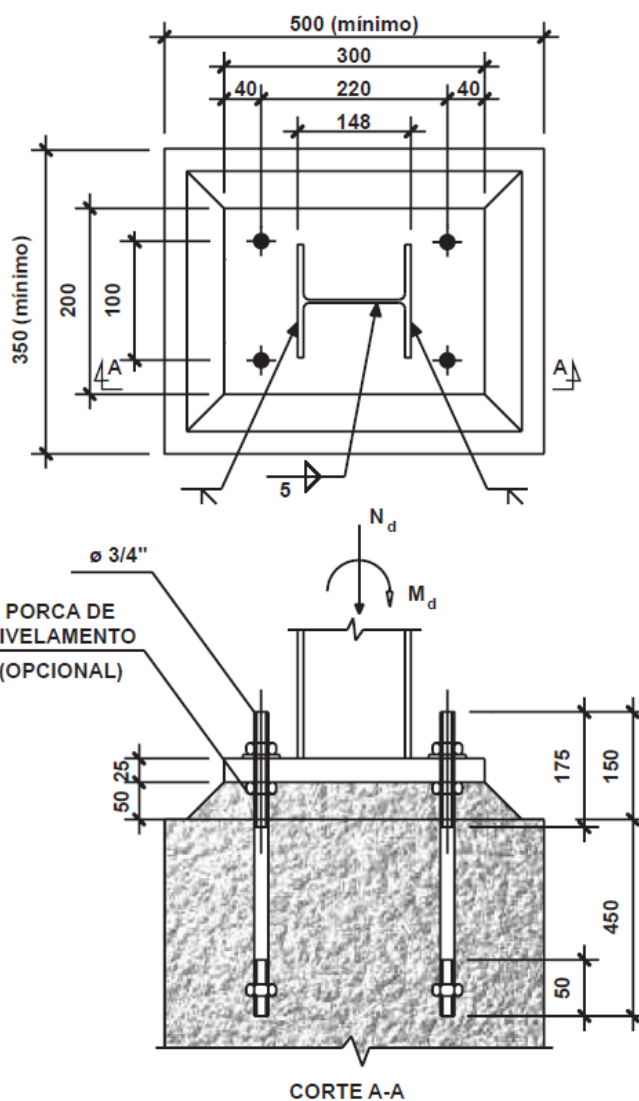
CHUMBADORES: ASTM A36

SOLDAS: ELETRODO E70XX
Verificar a necessidade de pré-aquecimento para soldagem no caso de soldas de filete.

CONCRETO: $f_{ck} \geq 20$ Mpa

NOTAS:

- 1 - Dimensões em mm.
- 2 - Os valores tabelados são referentes às resistências de cálculo das ligações, conforme NBR 8800:2008.
- 3 - Almas ou mesas com espessuras ≥ 16 mm podem ser soldadas com solda K (—K—).
- 4 - Soldas de filete podem ser substituídas por soldas de penetração total.
- 5 - Para valores intermediários de N_d adotar o menor dos valores de M_{dmax} correspondentes aos valores anterior e posterior de N_d tabelados.



Fonte: Ligações para estruturas em aço Gerdau (2018, p.210)

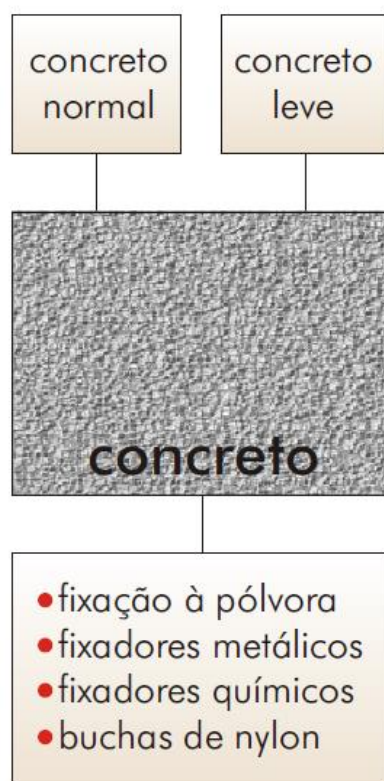
Pode-se perceber o tipo de ligação que é referente a um engaste pela posição dos parafusos, que estão externos ao pilar. Existem casos em que se tem carregamentos excessivos, como na indústria, em que as estruturas são dinâmicas em que se deve adicionar nervuras ao pilar afim de enrijece-lo.

5.4 LIGAÇÕES MISTAS PARA VIGAS

Para a execução de ligação mista para vigas, a tipologia deve ser a mesma, com diferenças estruturais como:

- A ligação mista referente a viga de aço com viga de concreto irá conter dimensão da chapa de topo retangular;
- Muito raramente se terá à disposição, profundidade necessária para se fazer a instalação do chumbador, portanto, deve-se optar por fixações mecânicas como parabolts ou barras roscadas.
- Caso a ligação seja necessária em uma estrutura em concreto existente pode-se utilizar fixação mecânica. Existem fornecedores como por exemplo WLSYWA, e INDUFIX que têm soluções para estes tipos de ligação utilizando, por exemplo, barras roscadas fixadas por meio de chumbadores químicos ou parabolts já com especificações de distanciamento, profundidade, resistência do concreto e resistência equivalente da ligação. Estas soluções são de grande ajuda no meio estrutural. A Figura 48 demonstra as possibilidades de ligação por fixação mecânica no concreto.

Figura 46 – Formas de fixação mecânica em concreto



Fonte: Catálogo WALSYWA (2019/2020)

Para estruturas os meios utilizados são:

- Fixação a pólvora;
- Fixadores metálicos;
- Fixadores químicos;

As buchas de nylon são usadas para aplicações não estruturais.

Conclui-se que a ligação mista depende de uma fixação mecânica que garanta que a ligação funcione do mesmo modo que se comportaria em uma ligação de estrutura homogênea de aço. Este elemento de fixação deve ser escolhido em catálogos de fabricantes e no caso haver a necessidade de estrutura de ligação especial, a mesma deve ser dimensionada por profissional habilitado.

Vale ressaltar que para a fixação mecânica, os fabricantes aqui descritos utilizam a classe de resistência do concreto 20 megapascal.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A estrutura metálica é muito utilizada no ramo de estruturas e portanto, o engenheiro estrutural deve ter sempre este assunto em pauta conhecendo os tipos de perfis e sabendo utilizá-los da forma correta. Conhecer as normas referentes ao cálculo destas estruturas pode gerar um destaque no mercado de trabalho.

O engenheiro estrutural pode aumentar sua gama de soluções ao ter conhecimento das soluções em ligações mistas entre aço e concreto. Conhecendo as ligações metálicas, ele pode através de elementos de fixação mecânica garantir a fixação entre aço e concreto, podendo com isso gerar estruturas que podem ser utilizadas, como por exemplo, na adição de estruturas metálicas de reforço para correção de danos estruturais ou patologias.

O bom entendimento das ligações em estruturas poderá ser um grande diferencial gerando destaque no mercado de trabalho e trazendo confiança pelas soluções que este conhecimento traz consigo, através da integração entre a engenharia mecânica e civil. De acordo com CAMPOS (2006, p25), “É inquestionável que o aumento do uso do aço como material apropriado para a recuperação e reforço estrutural é um fato recente nas atividades de restauração”. Devido à esta demanda recente, o conhecimento de ligações para estruturas metálicas pode ser de grande valia.

REFERÊNCIAS

AISC – American Institute of Steel Construction – Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel; Commentary on the AISC LRFD Specification, Chicago, EUA.2 ed.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6355: Perfis estruturais de aço formados a frio — Padronização**. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5884: Perfil I estrutural de aço soldado por arco elétrico — Requisitos gerais— Padronização**. Rio de Janeiro, 2013.

INSTITUTO AÇO BRASIL **Ligações em estruturas metálicas**. / Instituto Aço Brasil, Alexandre Luiz Vasconcellos(rev.). - Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil /CBCA, 2017.

CASTRO, R. Modelagem Computacional de Ligações Semi-Rígidas e sua Influência na Resposta Dinâmica Não-Linear de Pórticos de Aço. 2006. 118 f.Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

CAMPOS, Luiz Eduardo Teixeira. Técnicas de recuperação e reforço estrutural com estrutura de aço. Luiz Eduardo Teixeira Campos, 2006.

PENNA, F.; PINHO, F. O. Viabilidade econômica. Instituto Brasileiro de Siderurgia, 2008.

PFEIL, Walter.; PFEIL, Michele. **Estruturas de aço**: dimensionamento prático. 7ª ed. Livros técnicos e científicos. Rio de Janeiro. 2000.336p.

PINHEIRO, Antônio Carlos da Fonseca Bragança. **Estruturas metálicas: cálculos, detalhes, exercícios e projetos**. São Paulo: Blucher, 2005.

SANTOS, Rosiane Carmagos dos. Estruturas de madeira e estruturas metálicas / Rosiane Camargos dos Santos. – Londrina: Editora e Distribuidora, Educacional S.A., 2019. 184 p.

SANTOS, Luciano Barbosa dos. **Influência da rigidez das ligações em estruturas** – São Carlos, 1998.

Catálogo Walsywa. Disponível em https://www.walsywa.com.br/wp-content/uploads/2020/09/Catalogo_Walsywa_Completo.pdf

VIEIRA, Rodrigo Cuberos. **Estruturas hiperestáticas**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A, 2018

VALENCIANI, Vitor César. Ligações em estruturas de aço/ Vitor César Valenciani. São Carlos, 1997.

