

Ligações parafusadas e soldadas

A partir da versão 2008.1 foi implementado ao software Metálicas 3D o dimensionamento de ligações **soldadas** para **Perfis Duplo T laminados e soldados**.

- **Normas utilizadas para ligações soldadas:**

Versão 2008.1.n : Eurocode 3

Versão 2009.1.h : NBR 8800:2006

Na versão 2009.1.g foram implementadas as ligações **parafusadas** para **Perfis Duplo T laminados e soldados**.

- **Normas utilizadas para ligações parafusadas:**

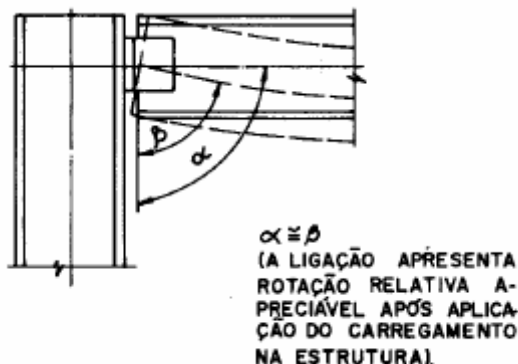
Versão 2009.1.h : Eurocode 3

Dimensionamento e verificação de ligações

Considerações Gerais:

No cálculo global da estrutura é importante ter em conta o comportamento das ligações para a correta obtenção da distribuição de esforços internos, tensões e deformações.

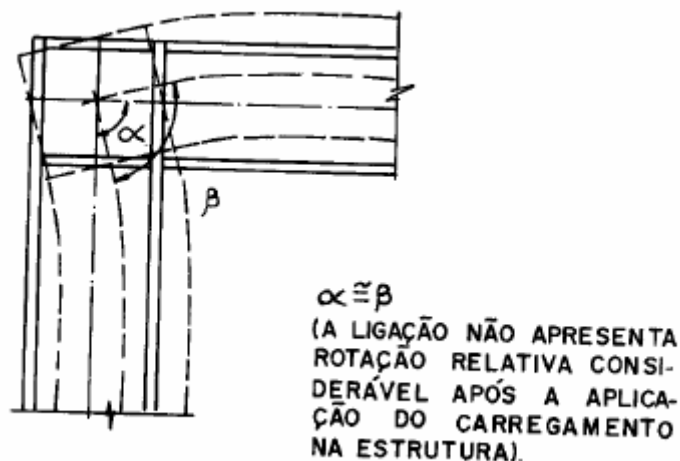
- **Apoios simples:** Neste caso a restrição à rotação relativa entre os elementos estruturais deve ser tão pequena quanto se consiga obter na prática. No caso de vigas, sujeitas à flexão simples, por exemplo, a ligação flexível transmite apenas a força cortante. A ligação é considerada flexível se a rotação relativa entre as partes, após o carregamento, atingir 80 por cento ou mais daquela teoricamente esperada caso a conexão fosse totalmente livre de girar.



Neste caso o programa considera que não existe transmissão de momentos fletores.

- **Contínuos:** A ligação é tal que o ângulo entre os elementos estruturais que se interceptam permanece essencialmente o mesmo após o carregamento da

estrutura, com uma restrição à rotação da ordem de 90 por cento ou mais daquela teórica necessária à ocorrência de nenhuma rotação.



Neste caso pode-se assumir que o comportamento das ligações não intervém significativamente na análise da estrutura.

- **Semi-contínuos:** Nesse caso a restrição à rotação está entre 20 e 90 por cento daquela teoricamente necessária para evitar qualquer rotação. Então o momento transmitido através da conexão não é nem zero (ou próximo de zero) como no caso de ligações flexíveis e nem o momento máximo (ou próximo dele) como no caso de conexões rígidas. Portanto é necessário ter em conta o comportamento da ligação na análise global da estrutura.

Para estabelecer de que maneira se deve ter em conta o efeito do comportamento das ligações na análise da estrutura, é necessário fazer uma distinção entre três modelos simplificados:

Dado que o programa realiza um cálculo elástico da estrutura, dos três modelos anteriores surgem as seguintes relações:

Classificação das ligações			
Tipo de modelo	Apoio simples	Contínuo	Semi-contínuo
Análise elástica	Articulação	Rígida	Semi-rígida

Abaixo analisam-se as considerações correspondentes aos tipos de ligação semi-rígida.

Diagrama Momento-Rotação

Através da análise do diagrama característico momento-rotação estuda-se o comportamento das ligações, o que permite definir as três principais propriedades estruturais de uma ligação:

- **Momento resistente $M_{j,Rd}$:** Máxima ordenada do diagrama.
- **Rigidez rotacional S_j :** é a rigidez secante para um valor do momento fletor $M_{j,Ed}$ atuante, definida até a rotação ϕ_{Xd} que corresponde ao ponto no qual $M_{j,Ed}$ iguala a $M_{j,Rd}$.
- **Capacidade de rotação ϕ_{Cd} :** representa a máxima rotação do diagrama momento-rotação.

Na figura 1 mostra-se um diagrama momento-rotação típico de uma ligação.:

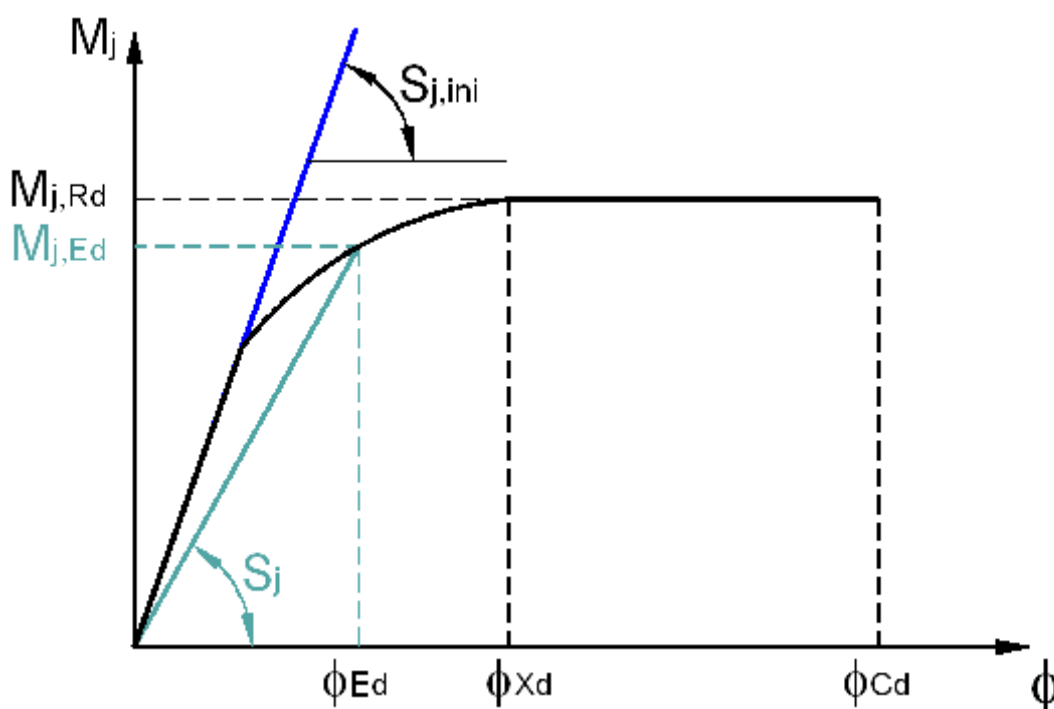


Figura 1

De acordo à sua rigidez rotacional S_j as ligações classificam-se em: articulações, ligações rígidas ou ligações semi-rígidas. Os limites entre um tipo e outro mostram-se na figura 2.

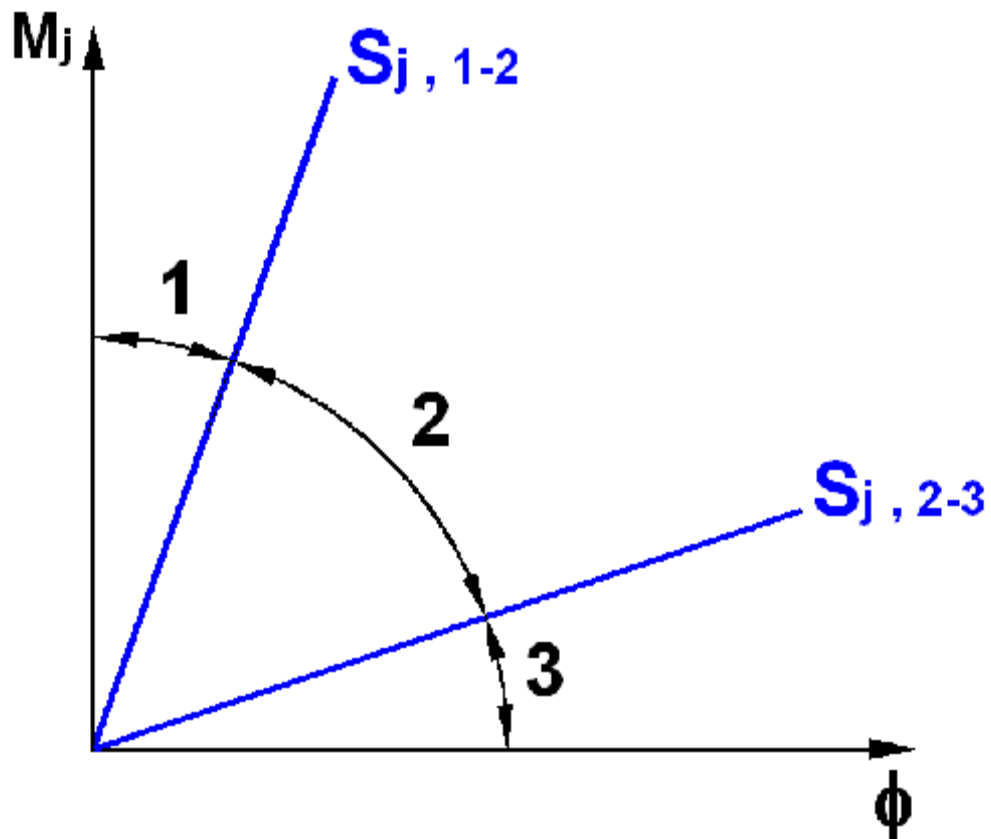


Figura 2

Onde:

Zona 1 Ligações rígidas.

Zona 2 Ligações semi-rígidas.

Zona 3 Ligações articuladas.

Obs: É possível atribuir rigidez rotacional a qualquer nó, mas apenas com o software para cálculo de ligações parafusadas é possível efetuar a análise das rigidezes rotacionais.

A simulação destes tipos de ligação no Novo Metálicas 3D depende exclusivamente da vinculação dos nós.

Apoio simples: Deve ser descrito como um nó articulado.

Contínuo: Deve ser descrito como um nó engastado.

Semi-contínuo: Deve-se aplicar a rigidez rotacional pelo comando engastamento em extremos..

Na próxima página será mostrado um estudo das considerações e análises realizadas pelos softwares de ligações soldadas e parafusadas incluídos no Novo Metálicas 3D.

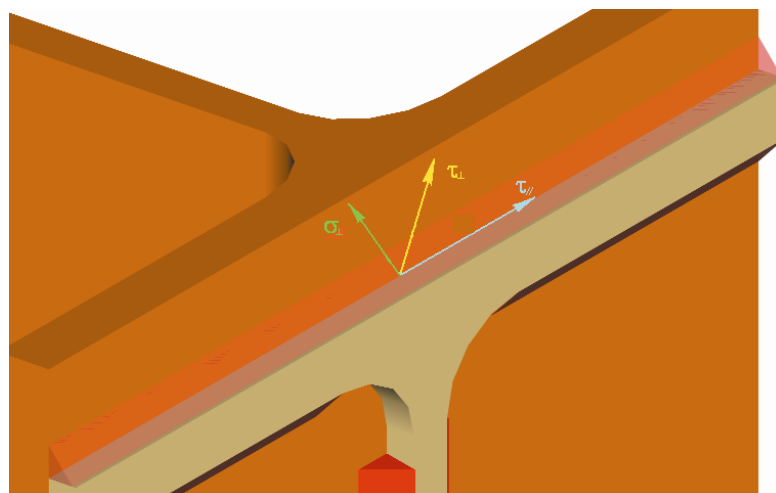
Ligações soldadas:

Quando se calculam as ligações soldadas, ou quando se calcula a estrutura em conjunto com as ligações, o programa efetua uma análise em cada nó da obra, verificando a disposição espacial das barras e as condições de vinculação, de tal maneira que, para perfis de aço ele determina as dimensões dos nós e considera os extremos rígidos nas partes dos perfis que são consideradas indeformáveis por estarem contidas no nó.

Se durante o processo de cálculo da estrutura forem detectados nós cuja ligação esteja bem introduzida no programa, este dimensionará as ligações e como resultado irá gerar um detalhamento da ligação.

O programa dimensionará nas ligações a espessura do cordão de solda e o comprimento do mesmo, e irá incorporar quando necessário enrijecedores para a transmissão de tensões na ligação.

Os esforços transmitidos ao cordão de solda por unidade de comprimento decompõem-se em componentes de tensão normal e tangencial ao plano do cordão, supondo que a distribuição de tensões é uniforme ao longo do mesmo.



Segundo o ponto 4.5.3.2 Método direcional do Eurocode 3, a solda é suficiente se cumprir:

$$[\sigma_{\perp}^2 + 3 (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} \leq f_u / (\beta_w \gamma_{M2})$$

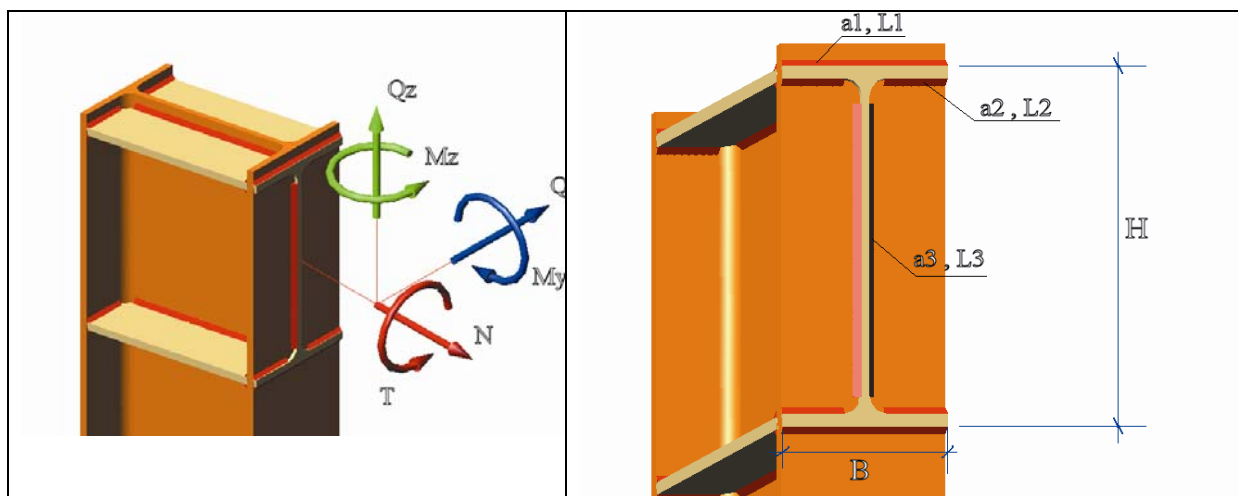
$$\sigma_{\perp} \leq 0.9 f_u / \gamma_{M2}$$

Onde:

- σ_{\perp} : Tensão normal perpendicular ao eixo do cordão.
- τ_{\perp} : Tensão tangencial perpendicular ao eixo do cordão.
- τ_{\parallel} : Tensão tangencial paralela ao eixo do cordão.
- f_u : Tensão última da peça mais fraca a ligar.
- β_w : Coeficiente de correlação.
- γ_{M2} : Coeficiente de segurança parcial (1.25).

A espessura das soldas em filete terá um mínimo de 4mm e não será maior que 0.7 vezes a menor espessura das peças a unir.

O programa irá decompor os esforços dos nós, determinando as tensões em cada um dos cordões de solda da ligação, devendo verificar-se em cada um deles a relação anterior. No caso de uma ligação engastada, obtêm-se três tipos de cordões distintos.



O programa determinará as características mecânicas dos cordões de solda.

$$\begin{aligned}
 I_y &= 2 \cdot L_1 \cdot a_1 \cdot \left(\frac{H}{2} + \frac{a_1}{2} \right)^2 + 4 \cdot L_2 \cdot a_2 \cdot \left(\frac{H}{2} - t_f - \frac{a_2}{2} \right)^2 + \\
 &+ 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot a_3 \cdot L_3^3 \\
 I_z &= 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot a_1 \cdot L_1^3 \right) + 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot a_2 \cdot L_2^3 \right) - \\
 &- 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot a_2 \cdot (L_1 - 2 \cdot L_2)^3 \right) + 2 \cdot L_3 \cdot a_3 \cdot \left(\frac{t_w}{2} + \frac{a_3}{2} \right)^2 \\
 A &= 2 \cdot L_1 \cdot a_1 + 4 \cdot L_2 \cdot a_2 + 2 \cdot L_3 \cdot a_3
 \end{aligned}$$

O cálculo das tensões normais atuantes sobre os cordões de solda será:

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M_y}{I_y} \cdot z + \frac{M_z}{I_z} \cdot y$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sqrt{2}}{2} \sigma$$

- Nos cordões de solda 1 as tensões normais máximas serão obtidas para:

$$y = 0.5 \cdot L_1 \quad e \quad z = 0.5 \cdot (H + a_1) \rightarrow \sigma_{\perp} = \tau_{\perp}$$

- Nos cordões de solda 2:

$$y = 0.5 \cdot L_1 \quad e \quad z = 0.5 \cdot (H - 2 \cdot t_f - a_2) \rightarrow \sigma_{\perp} = \tau_{\perp}$$

- Nos cordões de solda 3:

$$y = 0.5 \cdot (t_w + a_3) \quad e \quad z = 0.5 \cdot L_3 \rightarrow \sigma_{\perp} = \tau_{\perp}$$

Para o cálculo das tensões tangenciais devido aos esforços transversos, o programa, no caso do esforço transversal horizontal, distribuirá o mesmo entre os **cordões 1 e 2** de forma proporcional à sua área resistente. Ao contrário, o esforço transversal vertical será resistido pelos **cordões 3**.

O tissor decompõe-se num par de forças que incrementam ou diminuem as tensões tangenciais nos cordões 1 e 2, em função do sinal deste.

Uma vez obtidas as tensões normais e tangenciais em cada cordão, deverá verificar-se em cada um deles a seguinte relação:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

Implementações de norma:

Na versão 2008.1 do programa a verificação é efetuada pelo **Eurocode 3 parte 1-8**. Na versão 2009.1 do programa é levada em consideração a seguinte norma:

Especificações para ligações soldadas:

ABNT NBR 8800:2008: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios.

Artigo 6: Condições específicas para o dimensionamento de ligações metálicas.

Materiais de colaboração (soldas): Eletrodos de classe AWS E60XX e E70XX.

Procedimento de soldagem: SAMW (Arco elétrico com eletrodo revestido).

Com isto cumpre-se o critério de compatibilidade exigido pelo artigo 6.2.4 ABNT NBR 8800:2008.

Definições para solda de filete:

- Garganta efetiva: *é igual à menor distância medida da raiz à face plana teórica da solda* ((artigo 6.2.2.2 b) ABNT NBR 8800:2008).
- Perna do filete: *é o menor dos dois lados, situados nas faces de fusão, do maior triângulo que pode ser inscrito na seção da solda* ((artigo 6.2.2.2 b) ABNT NBR 8800:2008)).
- Raiz da solda: *é a interseção das faces de fusão* ((artigo 6.2.2.2 b) ABNT NBR 8800:2008).
- Comprimento efetivo de uma solda de filete: *é igual ao comprimento total da solda de dimensão uniforme, incluindo os retornos das extremidades.* (artigo 6.2.2.2 b) ABNT NBR 8800:2008).

Disposições construtivas:

1. As prescrições consideradas no projeto aplicam-se a ligações soldadas onde:

- Os aços das peças a unir têm um limite elástico não superior a 100 ksi [690 MPa] (artigo 1.2 (2) AWS D1.1/D1.1M:2002).

- As espessuras das peças a unir são pelo menos de 1/8 in [3 mm] (artigo 1.2 (2) AWS D1.1/D1.1M:2002).

-As peças não são de seção tubular.

2. Em soldas de topo de penetração total ou parcial verifica-se que:

- *O comprimento efetivo de uma solda de penetração total e parcial deve ser calculada como o produto do comprimento da solda pela espessura da garganta efetiva* (artigo 6.2.2.1 b) ABNT NBR 8800:2008);

- *A espessura da garganta efetiva de uma solda de penetração total deve ser tomada igual à menor das espessuras das partes soldadas* ((artigo 6.2.2.1 c) ABNT NBR 8800:2008);

- Em soldas de penetração parcial a espessura mínima da garganta efetiva cumpre com os valores da seguinte tabela:

Tabela 9 ABNT NBR 8800:2008

Maior espessura do metal base na junta (mm)	Espessura mínima de garganta efetiva (mm)
Menor ou igual que 6.35	3
Menor ou igual que 12.5	5
Menor ou igual que 19	6
Menor ou igual que 37.5	8
Menor ou igual que 57	10
Menor ou igual que 152	13
Maior que 152	16

- A espessura da garganta efetiva das soldas de penetração parcial determina-se segundo a tabela 5 ABNT NBR 8800:2008.

3. Em soldas de filete verifica-se que:

- O tamanho mínimo da perna de uma solda de filete. Em função da maior espessura das peças a serem unidas, cumpre com a seguinte tabela:

Tabela 10 ABNT NBR 8800:2008	
Maior espessura do metal base na junta (mm)	Tamanho mínimo da perna da solda de filete, dw (*) (mm)
Menor ou igual que 6.35	3
Menor ou igual que 12.5	5
Menor ou igual que 19	6
Maior que 19	8
(*) Executadas somente com um passe.	

- O tamanho máximo da perna de solda de um filete que pode ser usado ao longo de bordas de partes soldadas cumpre o artigo 6.2.6.2.2 ABNT NBR 8800:2008, o qual exige que:

- ao longo de bordas de material com espessura inferior a 6,35 mm, não mais do que a espessura do material;
- ao longo de bordas de material com espessura igual ou superior a 6,35 mm, não mais do que a espessura do material subtraída de 1,5 mm;
- O comprimento efetivo de uma solda de filete, dimensionada para uma solicitação de cálculo qualquer, não pode ser inferior a 4 vezes seu tamanho de perna, ou maior que 25% do comprimento efetivo da solda. Adicionalmente o comprimento de uma solda de filete não pode ser inferior a 40 mm (artigo 6.2.6.2.3 ABNT NBR 8800:2008).

4. No detalhamento da solda indica-se o comprimento efetivo do cordão (comprimento sobre o qual o cordão tem seu o tamanho completo). Para

alcançar o referido comprimento, pode ser necessário prolongar o cordão rodeando as quinas, com o mesmo tamanho de cordão.

5. As soldas de filete de ligações em “T” não são consideradas como efetivas para a transmissão de cargas aplicadas (artigo 2.3.3.4 AWS D1.1/D1.1M:2002).
6. Nos processos de fabricação e montagem deverão cumprir-se os requisitos indicados no capítulo 5 da norma AWS D1.1/D1.1M:2002. No que se refere à preparação do metal base, exige-se que as superfícies sobre as quais depositará o metal de adição devem ser suaves, uniformes, e livres de desprendimentos, fissuras e outras descontinuidades que afetariam a qualidade ou resistência da solda. As superfícies a soldar e as superfícies adjacentes a solda, deverão estar livre de lâminas, escamas, óxido solto ou aderido, escória, ferrugem, umidade, óleo, umidade, gordura e outros materiais estranhos que impeçam uma solda apropriada ou que produzam emissões prejudiciais.

Verificações:

- A resistência de cálculo dos cordões de solda é determinada de acordo com o artigo 6.2.5 ABNT NBR 8800:2008.
- O método utilizado para a verificação da resistência dos cordões de solda é aquele em que as tensões calculadas nos cordões (resultante vetorial), são consideradas como tensões de corte aplicadas sobre a área efetiva (artigo 2.5.4.1 AWS D1.1/D1.1M:2002).
- A área efetiva de um cordão de solda é igual ao produto do comprimento efetivo do cordão pela espessura de garganta efetiva (artigos 6.2.2.1 a e 6.2.2.2 a da ABNT NBR 8800:2008).
- Na verificação de resistência dos cordões de solda considerou-se uma solicitação mínima de cálculo de 45kN (artigo 6.1.5.2 ABNT NBR 8800:2008).

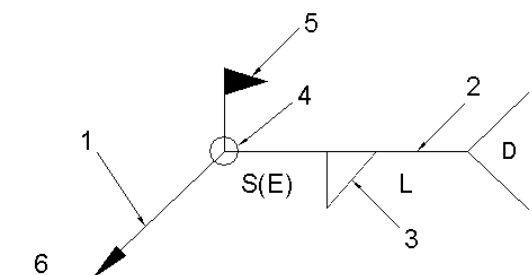
Referências e simbologia.

Para a representação dos símbolos de solda consideram-se as indicações da norma ANSI/AWS A2.4-98 'STANDARD SYMBOLS FOR WELDING, BRAZING, AND NONDESTRUCTIVE EXAMINATION'.

Método de representação de soldas

Conforme a figura 2 da norma ANSI/AWS A2.4-98, foi desenvolvido o seguinte

esquema de representação de soldas:



Referências:

1: seta (ligação entre 2 e 6)

2: linha de referência

3: símbolo de solda

4: símbolo solda perimetral.

5: símbolo de solda no local de montagem.

6: linha do desenho que identifica a ligação proposta.

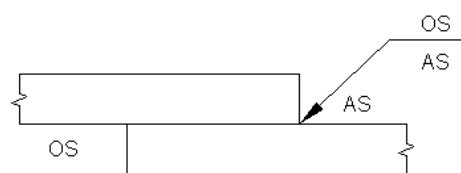
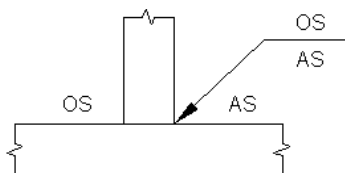
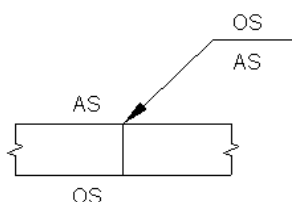
S: profundidade do bisel. Em soldas de filete, é a perna do cordão de solda.

(E): tamanho do cordão em soldas de topo.

L: comprimento efetivo do cordão de solda

D: dado suplementar. Em geral, a série de eletrodo utilizada e o processo pré-qualificado de solda.

A informação relacionada com o lado da ligação soldada à que aponta a seta, , coloca-se por baixo da linha de referência, enquanto que para o lado oposto, se indica acima da linha de referência:



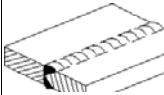
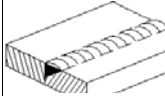
Onde:

OS(Other side): é o outro lado da seta;

AS(Arrow Side): é o lado da seta;

Referência 3:

Designação	Ilustração	Símbolo
Solda de filete		
Solda de topo em 'V' simples (com chanfro)		
Solda de topo em bisel simples		

Solda de topo em bisel duplo		K
Solda de topo em bisel simples com chanfro de raiz largo		V

Ligações parafusadas:

Para utilizar o software de ligações parafusadas é necessário possuir também o software ligações soldadas.

Se durante o processo de cálculo da estrutura forem detectados nós cuja ligação esteja bem introduzida no programa, este dimensionará as ligações e como resultado irá gerar um detalhamento da ligação.

Durante o dimensionamento das ligações parafusadas, o programa calcula as dimensões das chapas e dos enrijecedores, uma disposição de parafusos ótima e as gargantas de solda necessárias para a correta transmissão de tensões a ligação.

O programa dimensiona as ligações parafusadas com chapa frontal ou chapa lateral:

- **Ligações engastadas com chapa frontal:** Este tipo de solução é empregada pelo programa no engastamento de vigas e pilares, no encontro de peças e no encontro de vigas em cumeeira.
- **Ligações articuladas com chapa lateral:** Este tipo de solução é empregada pelo programa em vigas articuladas ligadas a alma de pilares.
- **Ligações articuladas com chapa frontal:** Este tipo de solução é empregada pelo programa nos extremos de pilares articulados onde vigas continuas se apóiam.

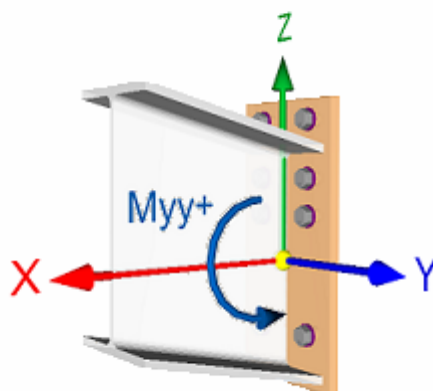
Nos extremos de peças (barras ou conjunto de barras alinhadas que formam uma peça), o programa permite atribuir coeficientes de engastamento em xy ou xz (eixos locais da peça) ou atribuir rigidezes rotacionais nestes planos. A definição de rigidez rotacional permite a modelação das ligações cuja rigidez ao giro seja de fundamental consideração, como o caso das ligações parafusadas.

Em cada ligação parafusada dimensionada, o programa também calcula (para todas as combinações de esforços atuantes) as rigidezes rotacionais de cada peça unida pela ligação e seleciona um valor para cada extremo da peça, este será proposto ao usuário para que se realize um novo cálculo da estrutura. A rigidez proposta será a menor das calculadas em cada peça, a qual corresponde ao maior momento positivo ou negativo.

Em seguida analisam-se as considerações correspondentes às ligações que possuem rigidez rotacional.

Sistema de coordenadas e convenção de sinais:

Sistema de coordenadas e convenção de sinais



Nesta imagem mostra-se o sistema de coordenadas utilizado no cálculo de ligações.

O referido sistema fica definido por uma terna de eixos ortogonais X,Y e Z com origem no baricentro da seção transversal do perfil a unir, colocada de tal forma que os eixos y e Z ficam contidos no plano em que se realiza a ligação e o sentido positivo do eixo X para o lado onde se apóia o elemento a unir. Se o referido elemento não formar um ângulo reto com o plano da ligação, o eixo X não será paralelo ao eixo do perfil.

Para o dimensionamento das ligações, os esforços nos extremos das peças são convertidos a este sistema de referência.

Além disso indica-se a convenção de sinais para o Momento Myy (rotação sobre o eixo Y do sistema de referência da ligação).

Análise da rigidez rotacional das ligações

O programa elabora o diagrama característico **Momento Myy - Rotação no plano xz** para cada ligação no extremo da peça para a qual foi possível realizar o cálculo de rigidezes rotacionais dada à presença de componentes deformáveis no nó.

Cálculo da rigidez inicial $S_{j,ini}$

Para esforços axiais que não superem 5% da capacidade da seção transversal, pode-se obter a rigidez S_j da ligação para um momento atuante M_j,Ed através da seguinte expressão:

$$S_j = \frac{E \cdot z^2}{\mu \cdot \sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{k_i}}$$

Onde:

E = Módulo de elasticidade do aço.

Z = Braço mecânico da ligação.

K_i = Coeficiente de rigidez para a componente básica n-ésima.

μ = Relação de rigidezes:

$$\mu = \frac{S_{j,ini}}{S_j}$$

O coeficiente μ pode-se determinar da seguinte forma:

- Para $M_{j,Ed} \leq 2/3 \cdot M_{j,Rd} \rightarrow \mu = 1.00$ (Comportamento elástico)
- Para $2/3 \cdot M_{j,Rd} < M_{j,Ed} \leq M_{j,Rd}$:

$$\mu = \left(1,5 \cdot \frac{M_{j,Ed}}{M_{j,Rd}} \right)^{2,7} \quad (1.00 \leq \mu < 3.00)$$

para o cálculo da rigidez inicial da ligação $S_{j,ini}$ utiliza-se o método das Componentes, segundo o qual:

- Para ligações pilar-viga:

$$S_{j,ini} = \frac{E \cdot z_{eq}^2}{\frac{1}{k_{eq}} + \frac{1}{k_1}}$$

- Para sobreposições e encontros em cumeeira:

$$S_{j,ini} = \frac{E \cdot z_{eq}^2}{\frac{1}{k_{eq}}}$$

Onde:

Z_{eq} Braço mecânico equivalente da ligação:

$$z_{eq} = \frac{\sum_{r=1}^{r=n} k_{eff,r} \cdot h_r^2}{\sum_{r=1}^{r=n} k_{eff,r} \cdot h_r}$$

h_r Distância entre a fila %s e o centro de compressão (considerado coincidente com o banzo comprimido).

n Número de filas tracionadas.

k_1 Coeficiente de rigidez da alma do pilar ao esforço transversal:

$$k_1 = \frac{0.38 \cdot A_{vc}}{\beta \cdot z_{eq}}$$

A_{vc} Área ao esforço transversal do painel do pilar.

β Coeficiente de distribuição de esforços, adota-se $\beta = 1.0$.

k_{eq} Coeficiente de rigidez equivalente das filas tracionadas da ligação:

$$k_{eq} = \frac{\sum_{r=1}^{r=n} k_{eff,r} \cdot h_r}{z_{eq}}$$

$k_{eff,r}$ Coeficiente de rigidez efetiva da fila r :

- Para ligações pilar-viga:

$$k_{eff,r} = \frac{1}{\frac{1}{k_3} + \frac{1}{k_4} + \frac{1}{k_5} + \frac{1}{k_{10}}}$$

- Para sobreposições e encontros em cumeeira:

$$k_{eff,r} = \frac{1}{\frac{1}{k_5} + \frac{2}{k_{10}}}$$

k_3 Coeficiente de rigidez da alma do pilar à tração:

$$k_3 = \frac{0.7 \cdot I_{eff,1} \cdot t_{wc}}{d_c}$$

k_4 Coeficiente de rigidez do banzo do pilar à flexão:

$$k_4 = \frac{0.9 \cdot I_{eff,1} \cdot t_{fc}^3}{m^3}$$

k_5 Coeficiente de rigidez da chapa à flexão:

$$k_5 = \frac{0.9 \cdot I_{eff,1} \cdot t_p^3}{m^3}$$

k_{10} Coeficiente de rigidez dos parafusos à tração:

$$k_{10} = \frac{1.6 \cdot A_s}{L_b}$$

t_{wc} Espessura da alma do pilar.
t_{fc} Espessura do banzo do pilar.
t_p Espessura da chapa frontal.
A_s Área resistente à tração dos parafusos.
L_b Comprimento de alongamento do parafuso.

Cálculo do momento resistente plástico $M_{j,Rd}$

O momento resistente plástico da ligação $M_{j,Rd}$ obtém-se da seguinte forma:

a) Calcula-se a resistência mínima da zona tracionada, para o qual obtém-se a resistência à tração de cada fila de parafusos começando pela fila mais afastada do centro de compressão, que se supõe ser coincidente com o centro do banzo comprimido do perfil a unir. Para a resistência de cada fila de parafusos adota-se o menor dos seguintes valores:

- a resistência da alma do pilar à tração (ligações pilar-viga).
- a resistência da alma da viga à tração.
- a resistência do banzo do pilar à flexão (ligações pilar-viga).
- a resistência da chapa frontal à flexão.
- a resistência dos parafusos à tração.

b) Calcula-se a resistência mínima da zona comprimida, para o qual adota-se o menor dos seguintes valores:

- a resistência à compressão dos enrijecedores (ligações pilar-viga com enrijecedor).
- a resistência à compressão da alma do pilar (ligações pilar-viga sem enrijecedor).
- a resistência à compressão do banzo do perfil.

c) Calcula-se a resistência do painel do pilar ao esforço transversal (ligações pilar-viga).

d) Calcula-se a força máxima admissível do conjunto como o valor mínimo de:

- a resistência mínima da zona tracionada.
- a resistência mínima da zona comprimida.
- a resistência do painel do pilar ao esforço transversal.

e) A referida força máxima reparte-se entre as filas tracionadas, começando pela fila mais afastada do centro de compressão, de forma que a força atribuída a cada fila $F_{T,Ed,i}$ não supere a capacidade previamente calculada.

f) Determina-se o momento resistente da ligação $M_{j,Rd}$ com a seguinte expressão:

$$M_{j,Rd} = \sum_{i=1}^n h_i \cdot F_{T,Ed,i}$$

Onde:

h_i Distância entre a fila de parafusos com índice 'i' e o centro de compressão.
 $F_{T,Ed,i}$ Esforço de tração na fila n-ésima.

n Número de filas de parafusos situadas na zona tracionada da ligação.

Representação do diagrama momento-rotação

Com a rigidez inicial $S_{j,ini}$ e o momento resistente $M_{j,Rd}$, calculados tanto no campo dos valores positivos como negativos e os esforços atuantes nos extremos das peças, desenha-se o diagrama momento-rotação da ligação, cuja representação (curva A) mostra-se na Figura 3:

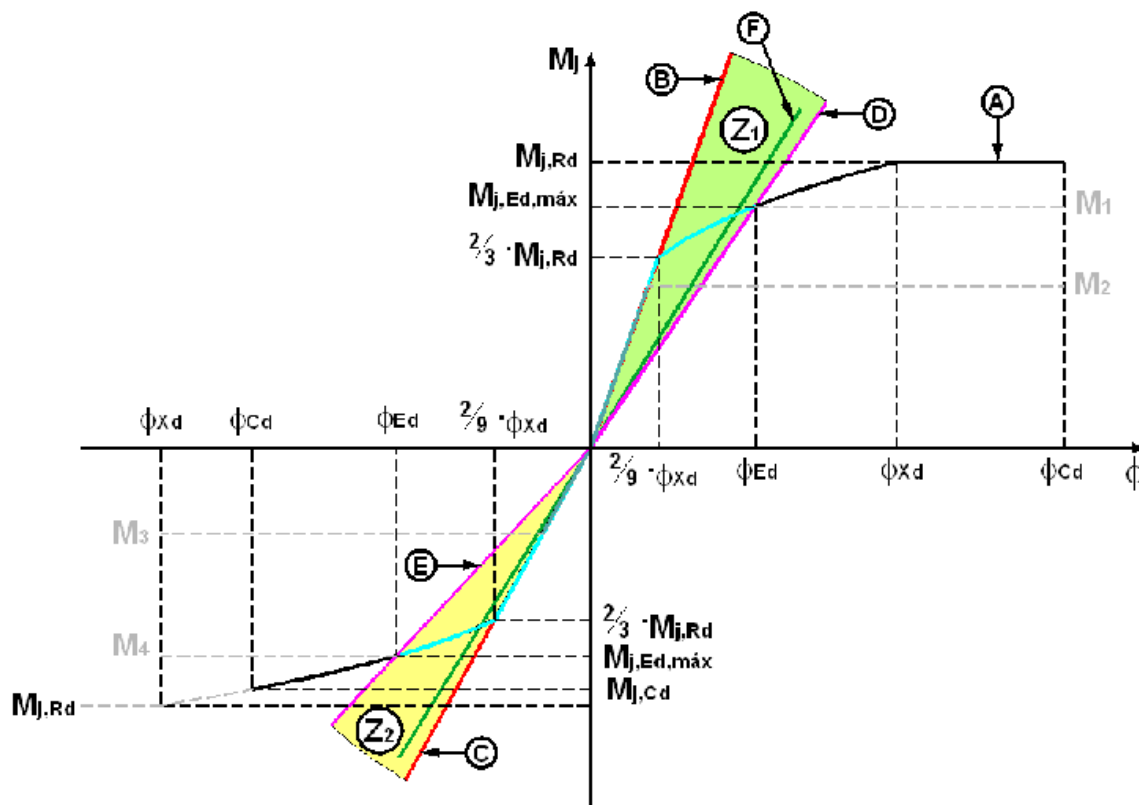


Figura 3

No gráfico distinguem-se os seguintes dados:

a) Pontos característicos do diagrama 'A':

$M_{j,Rd}$ Momento resistente plástico da ligação.

$2/3 \cdot M_{j,Rd}$ Momento resistente elástico da ligação.

$M_{j,Cd}$ Momento resistente que corresponde à capacidade de rotação da ligação ϕ_{Cd} .

$M_{j,Edmax}$ Momento atuante máximo de todas as combinações (com ou sem sismo).

ϕ_{Xd} Rotação correspondente ao momento resistente plástico.

$2/9 \cdot \phi_{Xd}$ Rotação correspondente ao momento resistente elástico.

ϕ_{Cd} Capacidade de rotação da ligação.

Quando a rotação ϕ_{Cd} é menor que ϕ_{Xd} , o diagrama 'A' será interrompido no ponto correspondente ($M_{j,Cd}$; ϕ_{Cd}), já que a ligação não poderá alcançar a rotação ϕ_{Xd} para o momento resistente $M_{j,Rd}$.

b) Retas:

B Reta cuja pendente é a rigidez rotacional correspondente ao menor momento positivo atuante.

C Reta cuja pendente é a rigidez rotacional correspondente ao menor momento negativo atuante.

D Reta cuja pendente é a rigidez rotacional correspondente ao maior momento positivo atuante.

E Reta cuja pendente é a rigidez rotacional correspondente ao maior momento negativo atuante.

F Reta cuja pendente é a rigidez rotacional utilizada no cálculo da estrutura.

Além disso, indicam-se as retas cujas pendentes são a rigidez rotacional inicial tanto para momentos positivos como para negativos.

Além disso, indicam-se as retas cujas pendentes são a rigidez rotacional inicial tanto para momentos positivos como para negativos.

c) Zonas:

Z1 Zona que inclui os valores de rigidez rotacional para o intervalo de momentos positivos atuantes.

Z2 Zona que inclui os valores de rigidez rotacional para o intervalo de momentos negativos atuantes.

Além disso, indicam-se as retas cujas pendentes são a rigidez rotacional inicial tanto para momentos positivos como para negativos.

Aplicação do diagrama momento-rotação

Rigidez rotacional no plano xz da ligação

O programa propõe adotar um valor de rigidez rotacional igual à menor das retas correspondentes D e E da Figura 3.

Quando em um extremo de peça exista uma interação significativa do momento M_{yy} com os esforços axiais e/ou os momentos fletores M_{zz} (plano xy da ligação) este tipo de análise de rigidez perde exatidão, porém o programa emite um aviso caso esta situação não seja cumprida:

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,pl,Rd}} + \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \leq 0.05$$

Onde:

$M_{z,Ed}$ Momento M_{zz} atuante

$M_{z,pl,Ed}$ Momento resistente plástico do perfil.

N_{Ed} Esforço axial atuante.

$N_{pl,Rd}$ Esforço axial resistente plástico do perfil.

Rigidez rotacional no plano xy da ligação

Tendo em conta que habitualmente os momentos M_{zz} atuantes sobre uma ligação podem ser desprezíveis frente aos M_{yy} , o programa propõe como rigidez rotacional o valor correspondente à rigidez rotacional inicial $S_{j,ini}$ do plano xy , calculada de forma semelhante à calculada para o plano xz .

CrITÉRIOS para o dimensionamento de ligações parafusadas

As ligações parafusadas dimensionadas pelo programa têm sempre um modo de rotação crítico condicionado pela flexão do banzo do pilar ou pela flexão da chapa frontal, o qual permite uma distribuição plástica das trações sobre os parafusos.

O programa evita ligações com capacidade de rotação insuficiente, aplicando uma relação ótima entre a espessura da chapa e o diâmetro do parafuso adotado.

Ao aplicar chapas flexíveis, desenvolvem-se efeitos de alavanca que provocam incrementos de tração nos parafusos. O programa tem em conta estes efeitos nas verificações dos parafusos à tração, com e sem interação do esforço transversal.

O programa exclui a possibilidade de rotação de soldas, dimensionando-as com uma resistência igual ou maior ao perfil unido à chapa frontal.

As ligações calculadas possuem a resistência suficiente para suportar os esforços que resultam do cálculo global da estrutura.

As condições que o programa estabelece para agrupar nós e aplicar-lhes as mesmas ligações são as seguintes:

- A disposição espacial de barras que convergem no nó devem ser a mesma.
- As barras de aço semelhantes devem ter a mesma seção e ser da mesma classe de aço.
- Os extremos homólogos das peças devem ter o mesmo tipo de engastamento nos extremos. No caso de ter definido valores de rigidez rotacional, a diferença entre estes não deve superar os 10%.

Implementações de norma:

Especificações para ligações soldadas (para as soldas realizadas com o software ligações parafusadas).

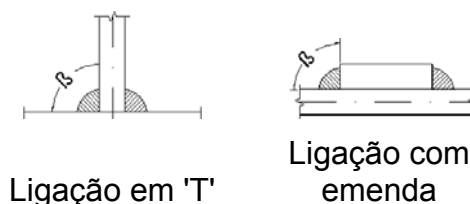
EUROCODE 3: Design of steel structures – Part 1-8 (Maio de 2005): “Design of joints”.

Artigo 4: Welded connections.

Material de colaboração (soldas): Os valores específicos do limite elástico, resistência última à tração, alongamento na ruptura e energia mínima de Charpy, do metal de adição, devem ser iguais ou superiores aos correspondentes do tipo de aço do material base. (Eurocode 3, Parte 1-8, composição 4.2(2)).

Disposições construtivas:

1. As prescrições seguintes aplicam-se a ligações soldadas onde as espessuras das peças a unir sejam pelo menos de 4 mm.
2. Os cordões das soldas de filete não poderão ter uma espessura da garganta inferior a 3 mm nem superior à menor espessura das peças a unir.
3. Os cordões das soldas de filete cujos comprimentos sejam menores que 30 mm ou 6 vezes a espessura da garganta, não serão levados em conta para calcular a resistência da ligação.
4. No detalhe das soldas de filete indica-se o comprimento efetivo do cordão (comprimento sobre o qual o cordão tem a sua espessura de garganta completa). Para cumpri-lo, pode ser necessário prolongar o cordão rodeando os cantos, com a mesma espessura da garganta e um comprimento de 2 vezes a referida espessura. O comprimento efetivo de um cordão de solda deverá ser maior ou igual que 6 vezes a espessura da garganta.
5. As soldas de filete podem ser usadas para unir peças onde as faces a unir formam um ângulo β compreendido entre 60 e 120 graus. Caso contrário:
 - Para ângulos $\beta > 120$ (graus): a resistência das soldas de filete deve ser determinados através de ensaios.
 - Para ângulos $\beta < 60$ (graus): serão consideradas como soldas de topo com penetração parcial.



Ligação em 'T'

Ligação com emenda

Verificações:

-Cordões de solda de topo com penetração total:

Neste caso, não é necessária nenhuma verificação. A resistência de cálculo dos cordões de solda de topo com penetração total será igual à resistência de cálculo da mais fraca das peças unidas, sempre que o cordão de solda for realizado com um eletrodo adequado que proporcione um limite elástico mínimo e uma resistência à tração mínima no metal de adição, não menor que a requerida para o material base.

- Cordões de solda de topo com penetração parcial e com preparação de bordas:

Verificam-se como soldas de filete considerando uma espessura de garganta igual à altura nominal da preparação menos 2 mm.

- Cordões de solda de filete:

Realiza-se a verificação de tensões em cada cordão de solda segundo o artigo 4.5.3.2 Eurocode 3, Parte 1-8 (Método direcional).

Verificam-se os seguintes tipos de tensão:

Tensão de Von Mises

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

Tensão normal

$$\sigma_{\perp} \leq K \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

Onde K = 0.9.

Os valores que se apresentam nas tabelas de verificação resultam das combinações de esforços que fazem o aproveitamento máximo da tensão para ambas as verificações. Assim, é possível que apareçam dois valores diferentes de tensão normal, se cada aproveitamento máximo resultar em

combinações diferentes.

Especificações para ligações parafusadas:

EUROCODE 3: Design of steel structures – Parte 1-8 (Maio de 2005): “Design of joints”.

Artigo 3: Connections made with bolts, rivets or pins.

Classe de aço dos parafusos utilizados: 8.8 (Eurocode 3, Parte 1-8, Artigo 3.1.1).

Disposições construtivas:

1. Consideraram-se as seguintes distâncias mínimas e máximas entre eixos de furos e entre estes e os bordos das peças:

Disposições construtivas para parafusos, segundo artigo 3.5 Eurocode 3, Parte 1-8							
Distâncias	Ao bordo da peça		Entre furos		Entre parafusos		
	e1(1)	e2(2)	p1(1)	p2(2)	Compressão	Tracção	
						Filas	Filas
Mínimas	1.2 df	1.5 df	2.2 df	3 df	p1 e p2	p1, e	p1, i
Máximas(3)	40 mm + 4t		14t 200 mm		14t 200 mm	14t 200 mm	14t 200 mm

Notas:

(1) Paralela à direcção da força

(2) Perpendicular à direcção da força

(3) Considera-se o menor dos valores

df: Diâmetro do furo.

t: Menor espessura das peças que se unem.

No caso de esforços oblíquos, interpolam-se os valores de maneira que o resultado fique do lado da segurança.

2. Não se devem soldar nem os parafusos nem as porcas.

3. Quando os parafusos se dispõem na posição vertical, a porca será colocada por baixo da cabeça do parafuso.

4. Deve verificar-se antes da colocação que as porcas podem deslocar-se

livremente sobre o parafuso correspondente.

5. Em cada parafuso será colocada uma anilha no lado da cabeça e outra no lado da porca.

6. Os furos devem realizar-se através de broca ou outro processo que proporcione um acabamento equivalente.

7. Durante a perfuração admite-se peças de até 15 mm de espessura, sempre que a espessura nominal da peça não seja maior que o diâmetro nominal do furo (ou a dimensão mínima se o furo não for circular). Ao realizar o furo, recomenda-se realizá-lo com um diâmetro 3 mm menor que o diâmetro definitivo e seguidamente perfurar até ao diâmetro nominal.

8. Condições para o aperto dos parafusos ordinários:

- Cada conjunto de parafusos, porca e anilhas deve alcançar a condição de "aperto máximo" sem pré-tensionar os parafusos. Esta condição é a que conseguiria um operário com a chave normal, sem braço de prolongamento.

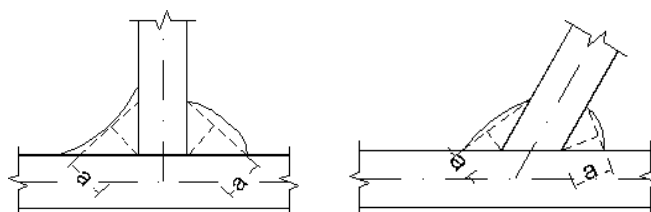
- Para os grandes grupos de parafusos, o aperto deve realizar-se a partir dos parafusos centrais para o exterior e inclusive realizar algum ciclo de aperto adicional.

Verificações:

Realizam-se as verificações indicadas nos artigos 3.1.0, 3.6, 6.2 e 6.3 do EUROCODE 3.

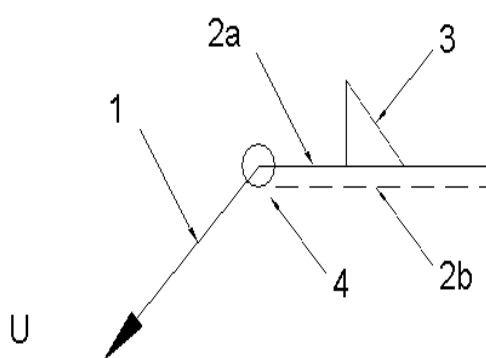
Referências e simbologia

a [mm]: espessura de garganta de um cordão de solda de filete, que é a altura do maior triângulo (de lados iguais ou não) que se pode inscrever dentro das faces de fusão e a superfície do cordão, medido perpendicularmente à face externa deste triângulo. (Eurocódigo 3, Parte 1-8, Composição 4.5.2 (1))



L[mm]: comprimento efetivo do cordão de solda

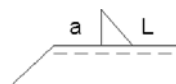
Método de representação de soldas:



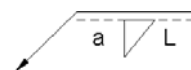
Referências:

- 1: linha da seta
- 2a: linha de referência (linha contínua)
- 2b: linha de identificação (linha tracejada)
- 3: símbolo de solda
- 4: indicações complementares
- U:** Ligação

Referências 1, 2a e 2b

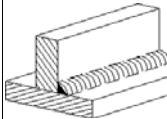

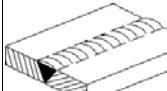

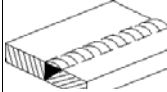

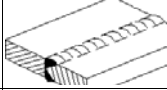

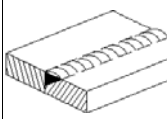



O cordão de solda que se detalha encontra-se no lado da seta.



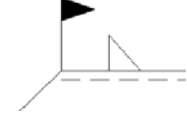


O cordão de solda que se detalha encontra-se no lado oposto ao da seta.

Referência 3

Designação	Ilustração	Símbolo
Solda de filete		
Solda de topo em 'V' simples (com chanfro)		
Solda de topo em bisel simples		
Solda de topo em bisel duplo		
Solda de topo em bisel simples com chanfro de raiz largo		

Referência 4

Representação	Descrição
	Solda realizada em todo o perímetro da peça
	Solda realizada na fábrica
	Solda realizada no local de montagem

Método de representação dos parafusos de uma ligação



Referências:

n: Quantidade de parafusos

S1: Norma de especificação do parafuso

Ø[mm]: Diâmetro nominal

L[mm]: Comprimento nominal do parafuso

A1: Classe de qualidade do aço do parafuso

S2: Norma de especificação da porca

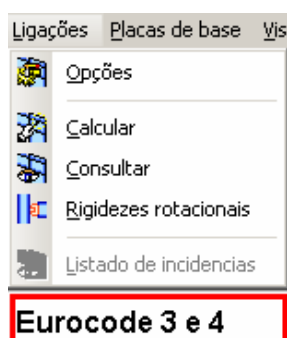
A2: Classe de qualidade do aço da porca

Introdução de ligações

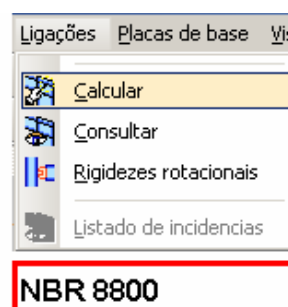
Para que uma ligação seja bem definida é necessário saber utilizar alguns comandos como:

- Definição de nós;
- Articular extremos;
- Coeficientes de engastamento;
- Rigidez rotacional;
- Opções de parafusos*

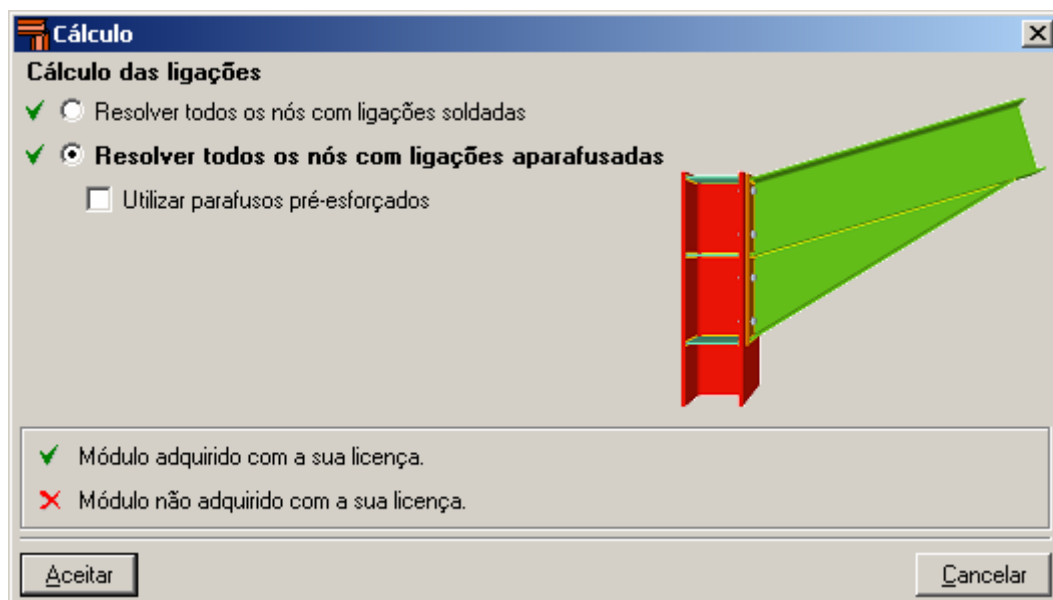
Para utilizar os softwares de ligação é necessário acessar o menu de ligações:



O menu pode sofrer modificações de acordo com a norma utilizada.



Calcular: Seleciona as opções de cálculo para ligações.



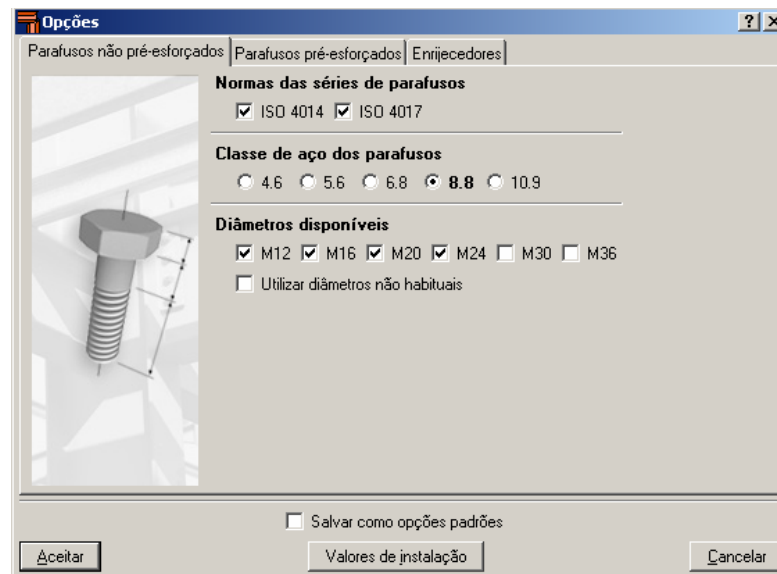
Para ligações parafusadas é possível utilizar parafusos pré-tensionados habilitando a opção.

Consultar: Permite ao usuário consultar uma ligação já calculada.

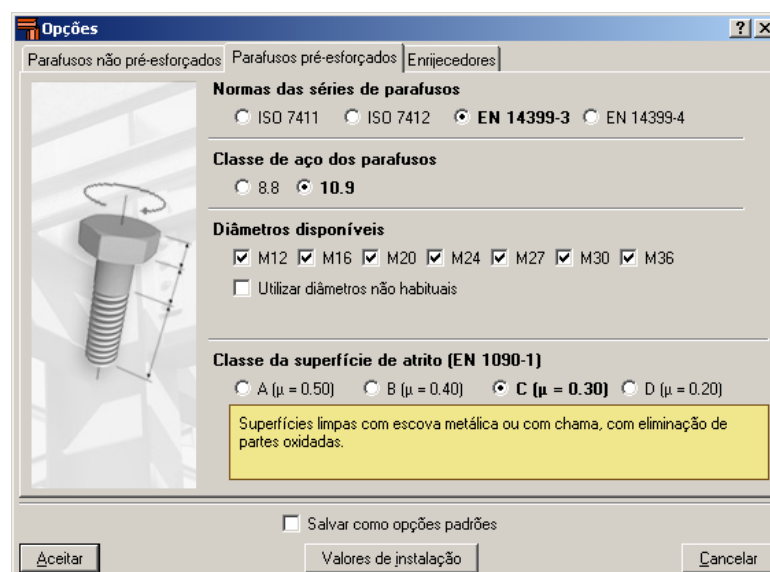
Rigidezes rotacionais: O usuário pode solicitar ao programa o cálculo das rigidezes rotacionais que tenham sido introduzidas obtendo o melhor coeficiente.

Listado de incidências: Será gerada uma lista com os nós calculados e os não calculados e seus problemas.

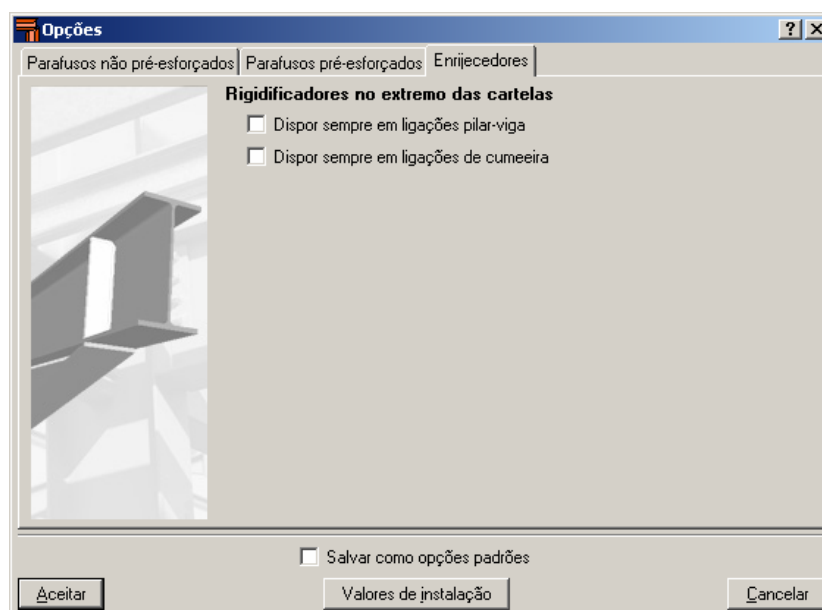
*Quando se trabalha com ligações parafusadas utilizando o Eurocode 3 e 4 é habilitada uma nova opção no menu ligações chamada *opções*. Neste comando podemos definir os parafusos não tensionados que serão utilizados:



Os parafusos pré-tensionados que serão utilizados:



E os enrijecedores:



A seguir veremos todas as tipologias cadastradas para o software Ligações Metálicas.

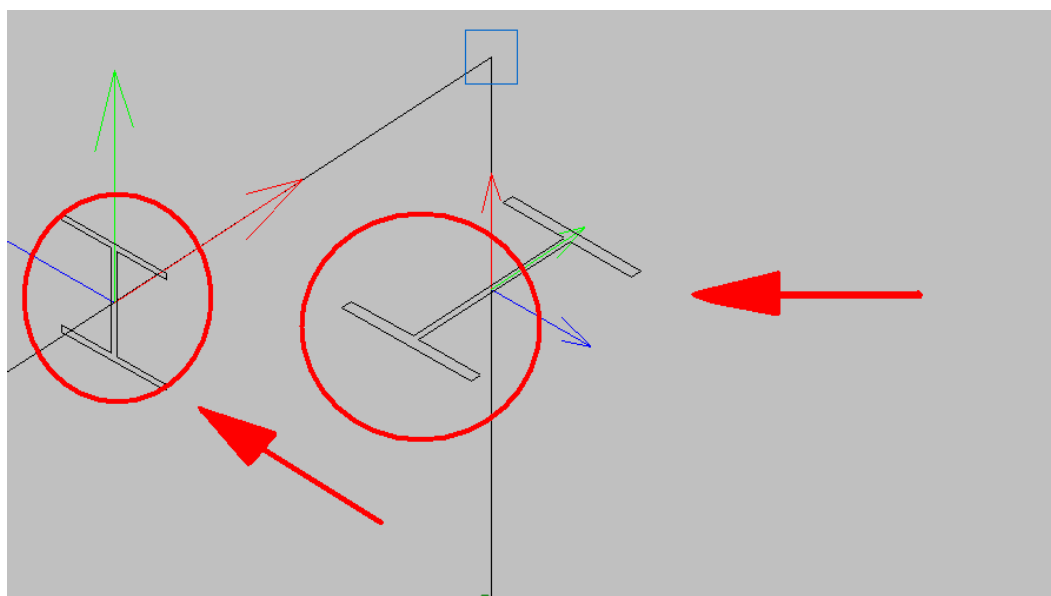
Importante

Todas as ligações de peças **engastadas** deverão ser realizadas sempre na mesa da peça onde serão engastadas.

Ex:

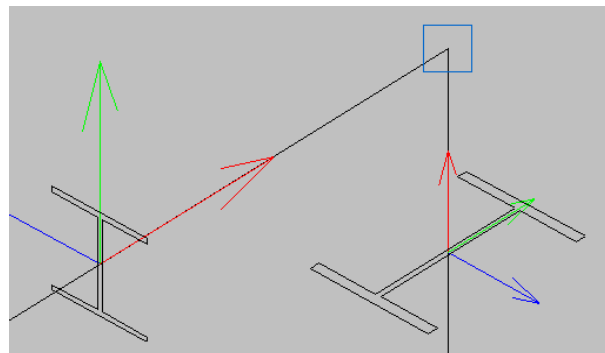
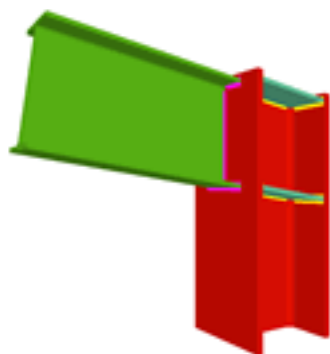
Pilar – Viga engastada

O nó definido será engaste e a chegada da viga deve ocorrer diretamente na mesa do pilar.



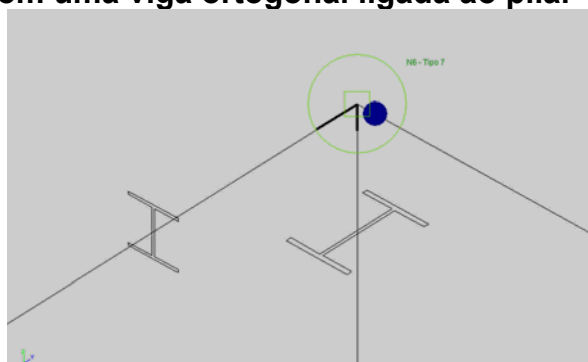
Tipologias de ligações soldadas implementadas

1. Ligação Pilar – Viga engastada



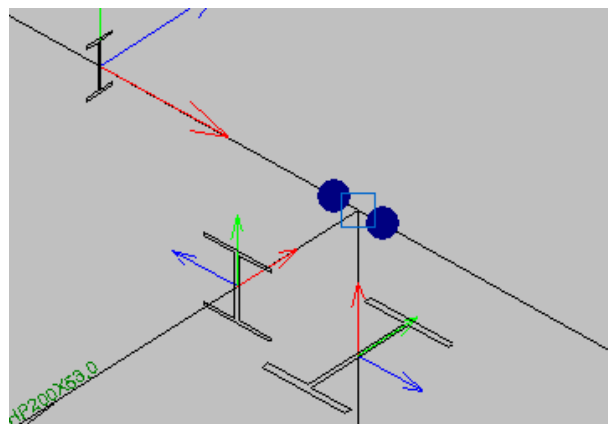
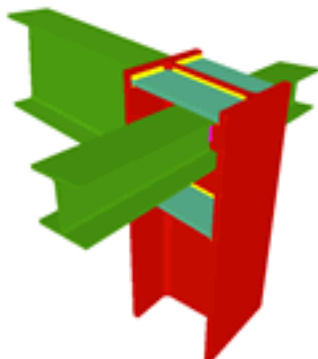
Como utilizar: Para utilizar este tipo de ligação basta introduzir uma viga e um pilar e definir sua vinculação como engastamento.

2. Ligação Pilar – Viga engastada com uma viga ortogonal ligada ao pilar

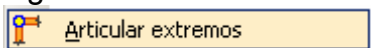


Como utilizar: Para utilizar este tipo de ligação será necessário introduzir 2 vigas e um pilar definir o nó como engaste e articular o extremo da viga que se conecta ao pilar.

3. Ligação Pilar – Viga engastada com duas vigas ortogonais ligadas ao pilar.

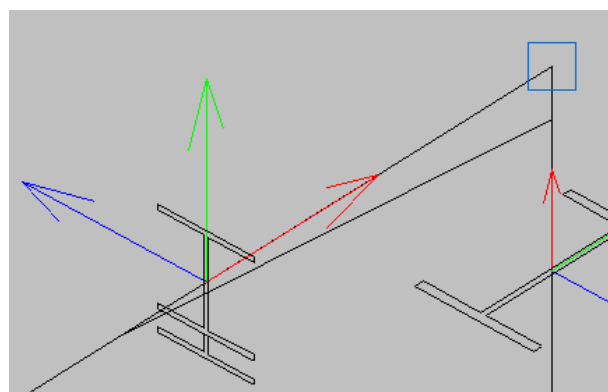
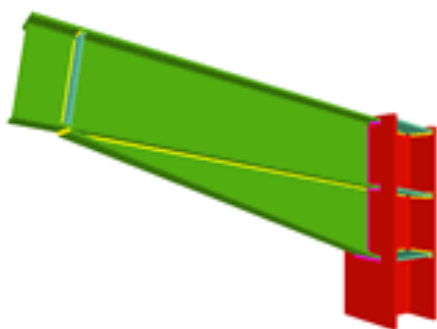


Como utilizar: A vinculação deste encontro deverá ser engastada e as outras duas vigas deverão ter seus extremos articulados através do comando:



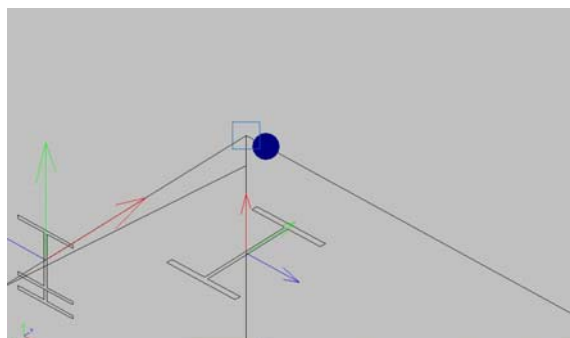
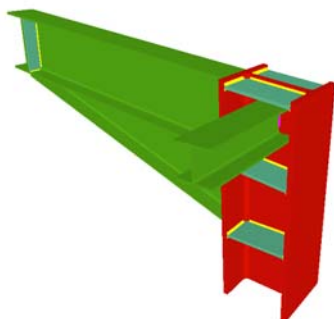
Motivo: Ao engastar uma viga em um pilar o programa introduz enrijecedores automaticamente. Quando articulamos os extremos das outras vigas o programa exclui a necessidade destes enrijecedores permitindo assim o dimensionamento das ligações

4. Ligação Pilar – Viga engastada com mísula.



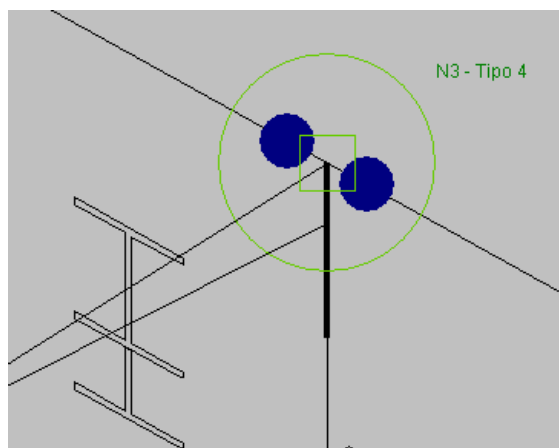
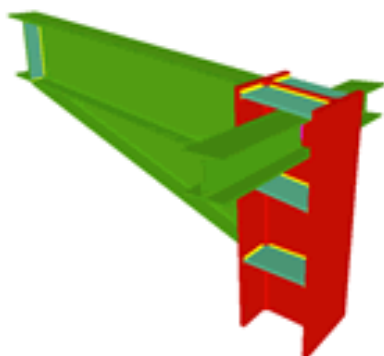
Como utilizar: Para utilizar este tipo de ligação basta introduzir uma viga com mísula chegando a um pilar e definir a vinculação deste nó como engastamento.

5. Ligação Pilar – Viga engastada com mísula com uma viga ortogonal ligada ao pilar.



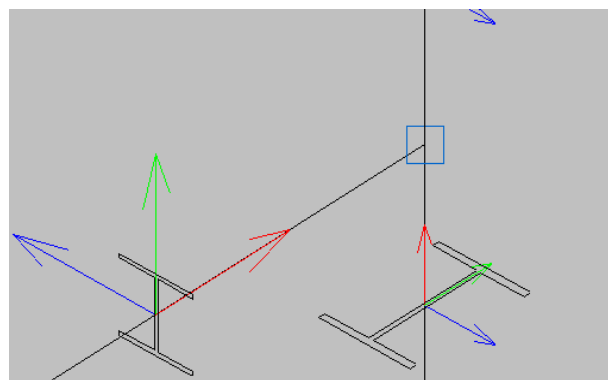
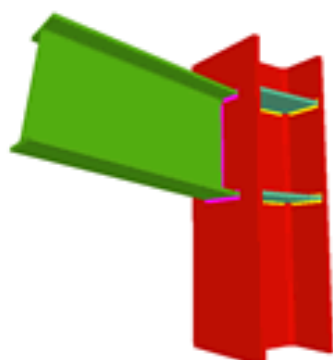
Como utilizar: Para utilizar este tipo de ligação será necessário introduzir 1 viga com mísula, uma viga comum e um pilar. Definir o nó como engaste e articular o extremo da viga que se conecta a alma do pilar.

6. Ligação Pilar – Viga engastada com duas vigas ortogonais articuladas ligadas ao pilar.



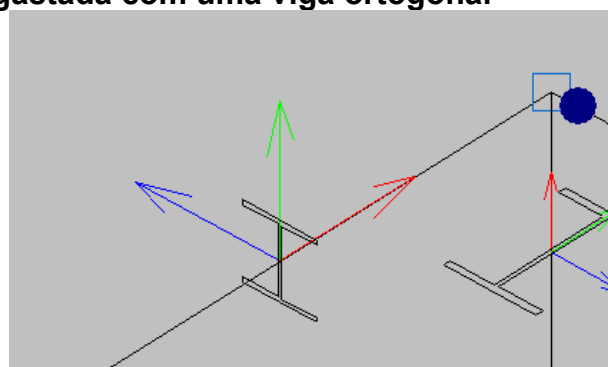
Como utilizar: Para utilizar este tipo de ligação basta introduzir um perfil com mísula ligado a mesa do pilar e duas vigas articuladas ligadas à alma do pilar.

7. Ligação Pilar (contínuo)– Viga engastada



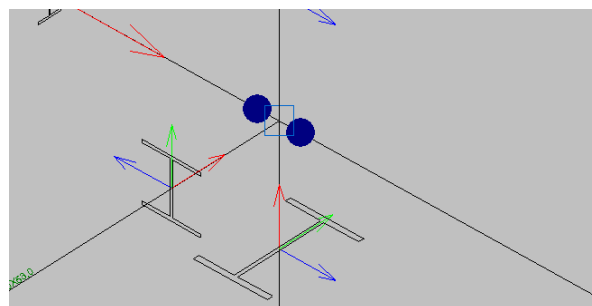
Como utilizar: Idêntica a ligação 1 mas com o pilar contínuo.

8. Ligação Pilar (contínuo) – Viga engastada com uma viga ortogonal



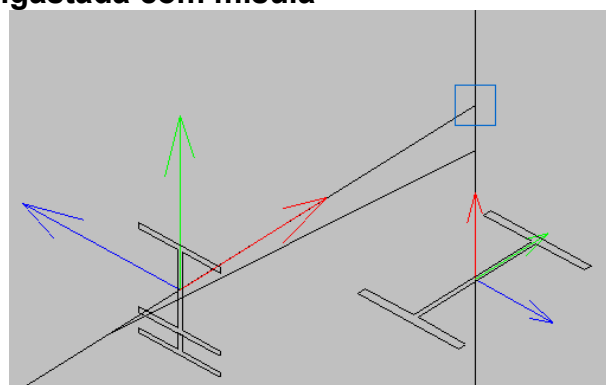
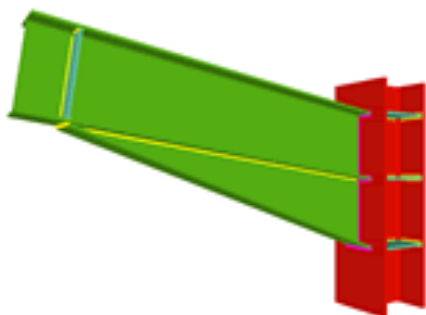
Como utilizar: Idêntica a ligação 2 mas com pilar contínuo.

9. Ligação Pilar (contínuo) – Viga engastada com duas vigas ortogonais articuladas



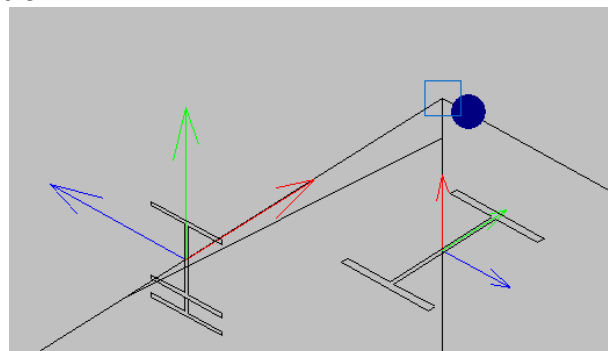
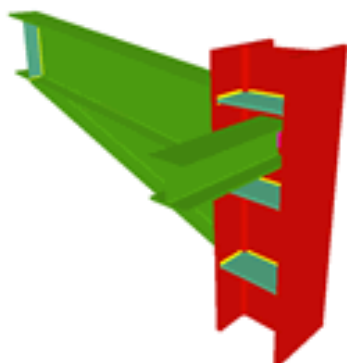
Como utilizar: Idêntica a ligação 3 mas com pilar contínuo.

10. Ligação Pilar (contínuo) – Viga engastada com mísula



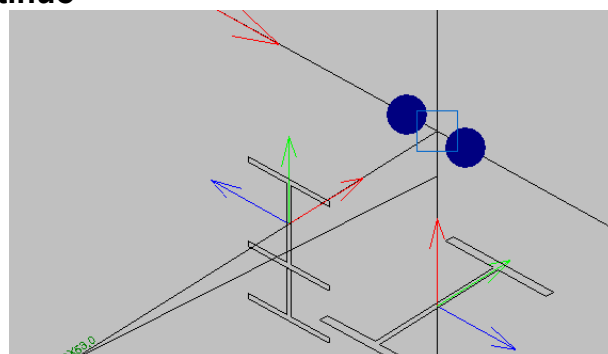
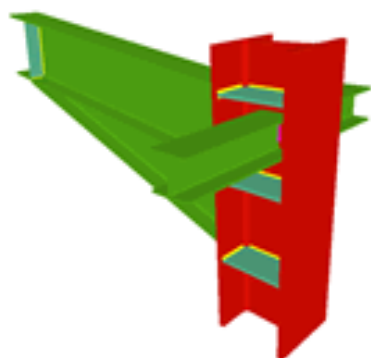
Como utilizar: Idêntica a ligação 4 mas com pilar contínuo.

11. Ligação Pilar (contínuo) – Viga engastada com mísula e com uma viga ortogonal ligada a um pilar contínuo



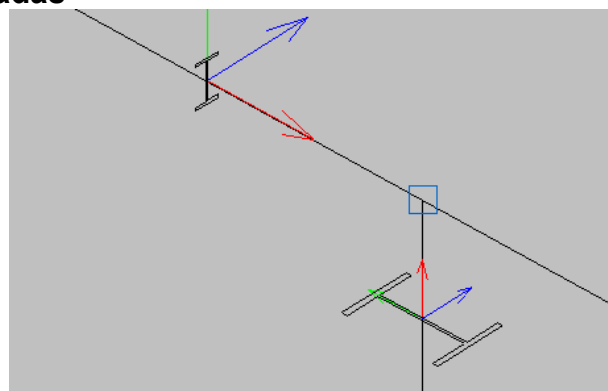
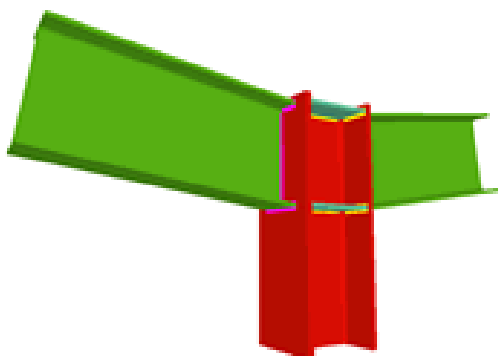
Como utilizar: Idêntica a ligação 5 mas com pilar contínuo.

12. Ligação Pilar (contínuo) – Viga engastada com mísula e com duas vigas ortogonais ligadas a um pilar contínuo



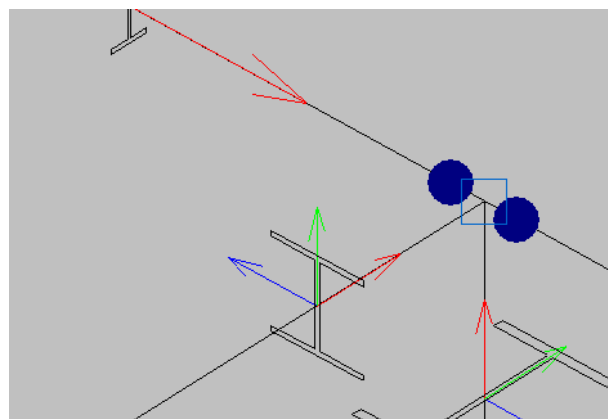
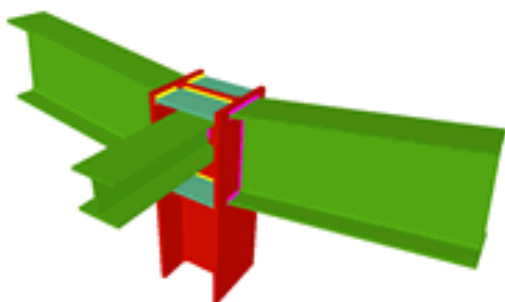
Como utilizar: Idêntica a ligação 6 mas com pilar contínuo.

13. Ligação Pilar – Duas vigas engastadas



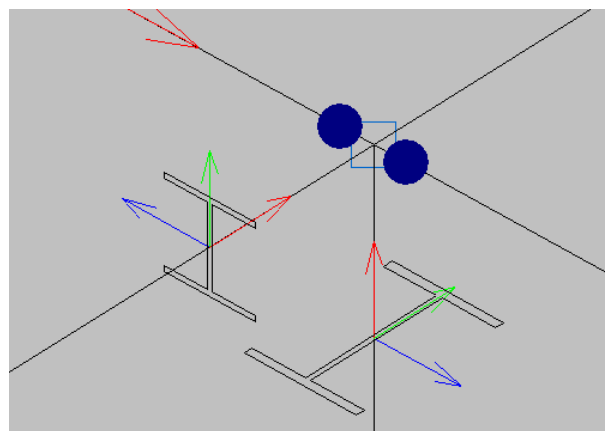
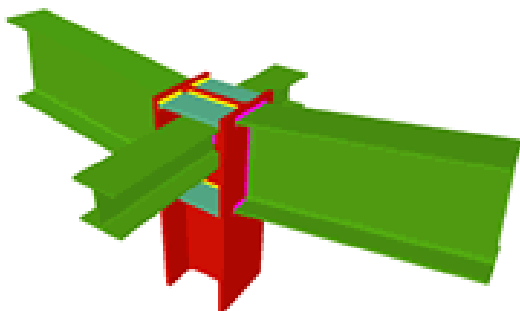
Como utilizar: Definir o nó como engastamento.

14. Ligação Pilar – Duas vigas engastadas com uma viga ortogonal articulada



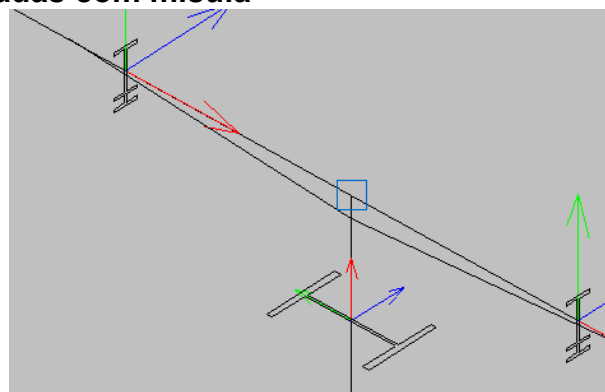
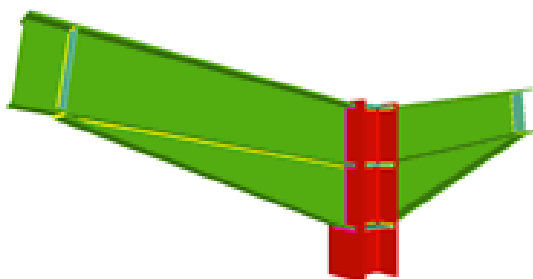
Como utilizar: Definir o nó como engastamento e articular o extremo da barra ortogonal.

15. Ligação Pilar – Duas vigas engastadas com duas vigas ortogonais articuladas



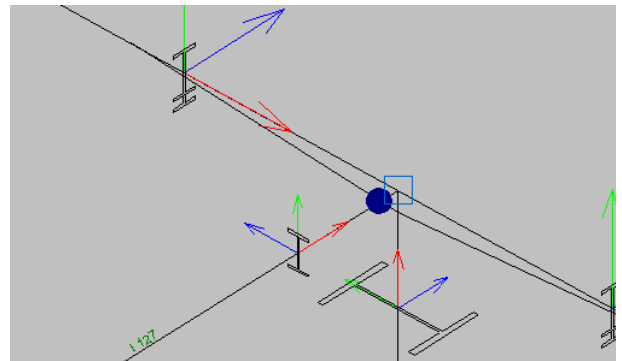
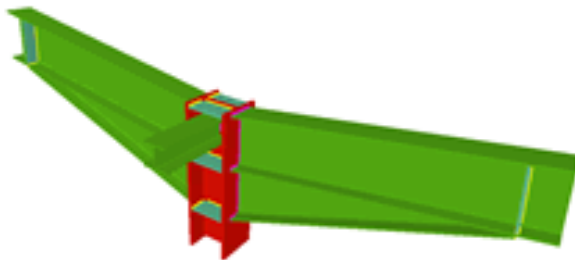
Como utilizar: Definir o nó como engastamento e articular os extremos das duas barras ortogonais.

16. Ligação Pilar – Duas vigas engastadas com mísula



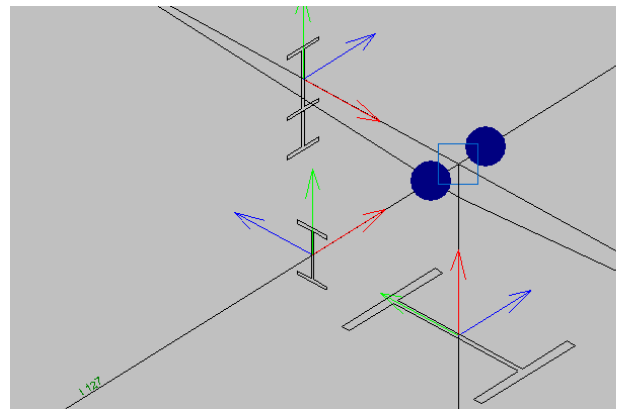
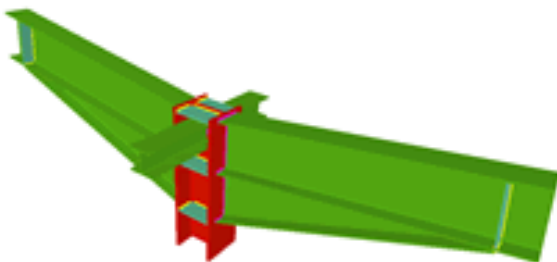
Como utilizar: Definir o nó como engastamento e durante a descrição dos perfis seleccionar o perfil com mísula.

17. Ligação Pilar – Duas vigas engastadas com mísula e uma viga ortogonal articulada



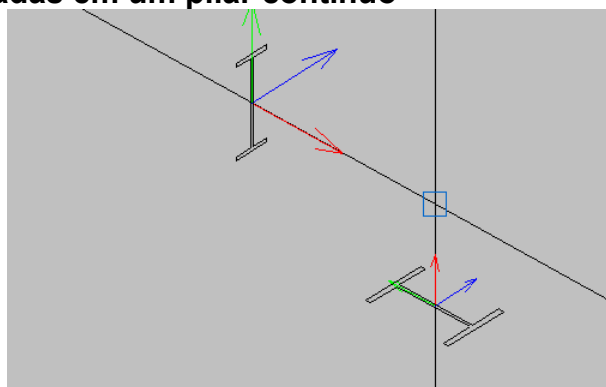
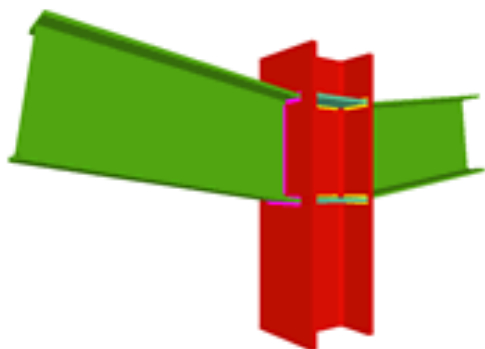
Como utilizar: Definir o nó como engastamento e durante a descrição dos perfis seleccionar o perfil com mísula. Articular o extremo da viga ortogonal

18. Ligação Pilar – Duas vigas engastadas com mísula e duas vigas ortogonais articuladas



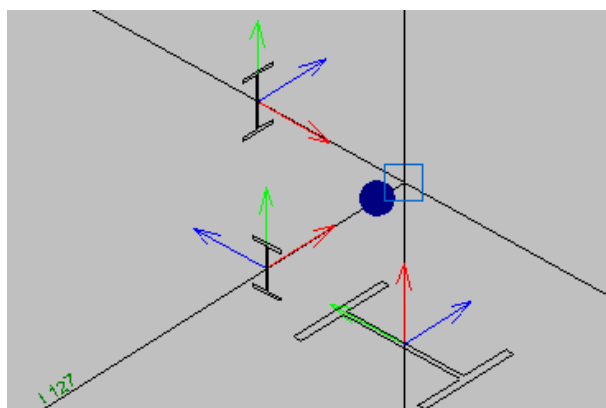
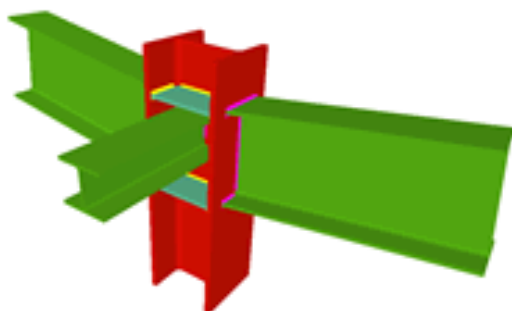
Como utilizar: Definir o nó como engastamento e durante a descrição dos perfis seleccionar o perfil com mísula. Articular os extremos das vigas ortogonais.

19. Ligação Pilar – Duas vigas engastadas em um pilar contínuo



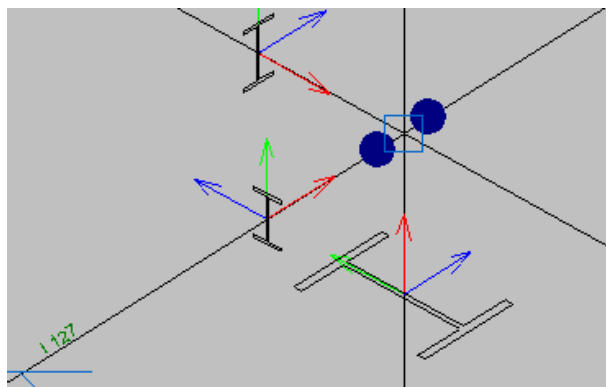
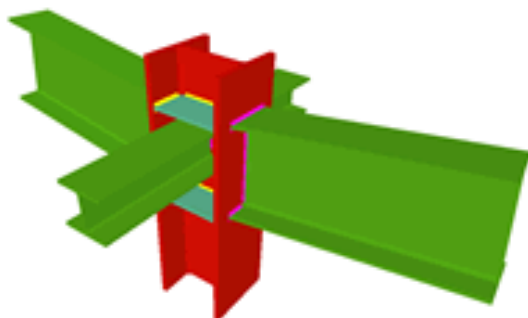
Como utilizar: Idêntica a ligação 13 mas com pilar contínuo.

20. Ligação Pilar (contínuo) – Duas vigas engastadas com uma viga ortogonal articulada



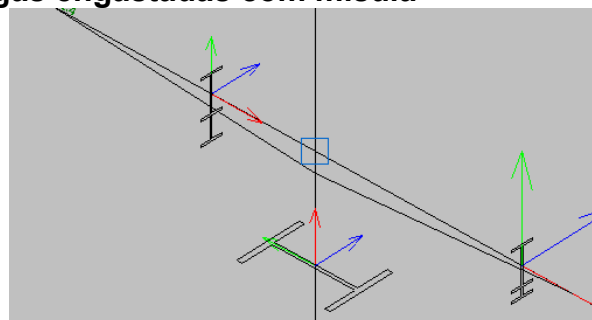
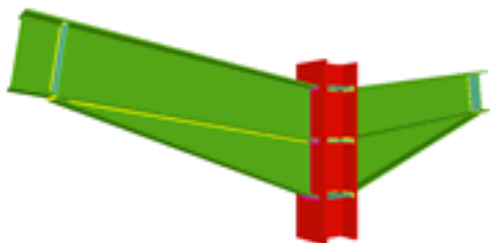
Como utilizar: Idêntica a ligação 14 mas com pilar contínuo.

21. Ligação Pilar (contínuo) – Duas vigas engastadas com duas vigas ortogonais articuladas



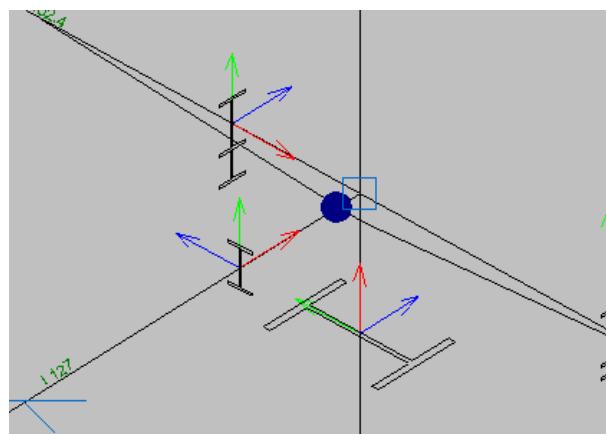
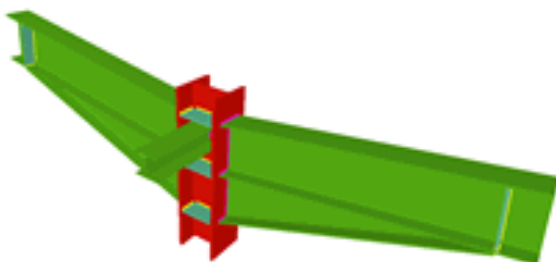
Como utilizar: Idêntica a ligação 15 mas com pilar contínuo.

22. Ligação Pilar (contínuo) – Duas vigas engastadas com mísula



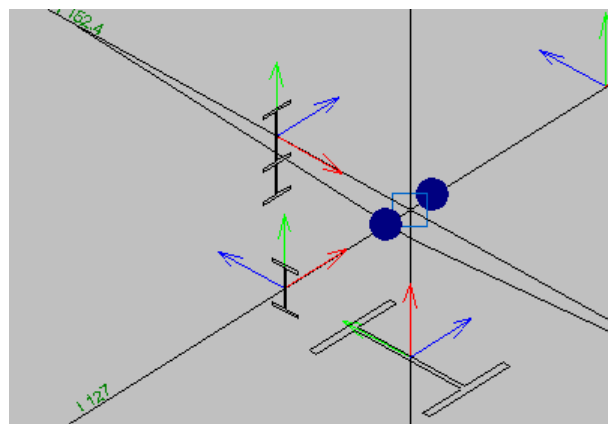
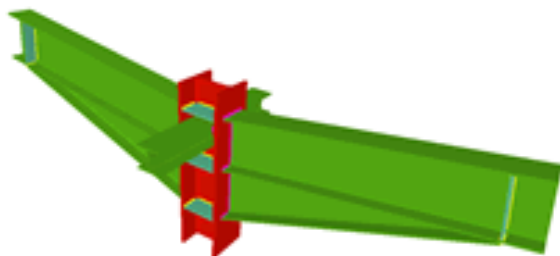
Como utilizar: Idêntico a ligação 16 mas com pilar contínuo.

23. Ligação Pilar (contínuo) – Duas vigas engastadas com mísula e uma viga ortogonal articulada



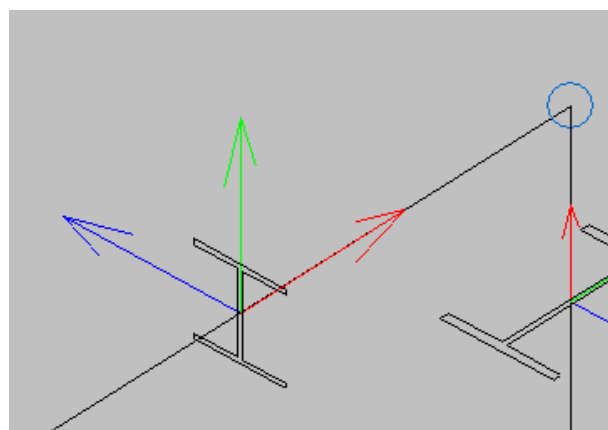
Como utilizar: Idem a ligação 17 mas com pilar contínuo.

24. Ligação Pilar (contínuo) – Duas vigas engastadas com mísula e duas vigas ortogonais articuladas



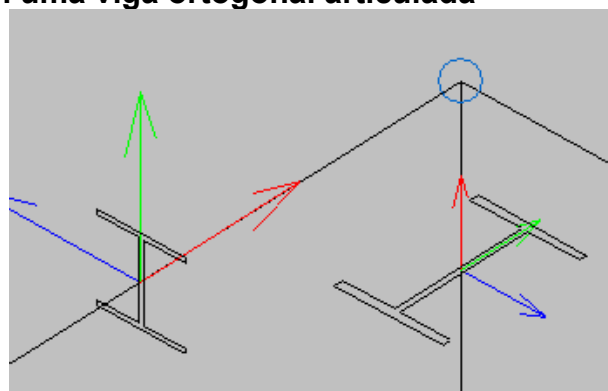
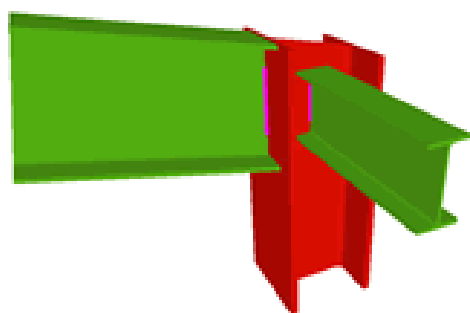
Como utilizar: Idem a ligação 18 mas com pilar contínuo.

25. Ligação Pilar – viga articulada



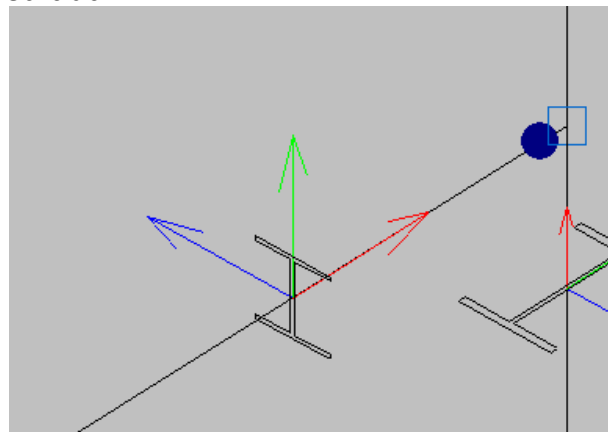
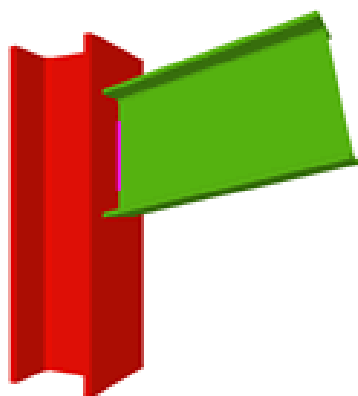
Como utilizar: Definir o nó como articulação ou definir o nó como engastamento e articular o extremo da viga.

26. Ligação Pilar – viga articulada com uma viga ortogonal articulada



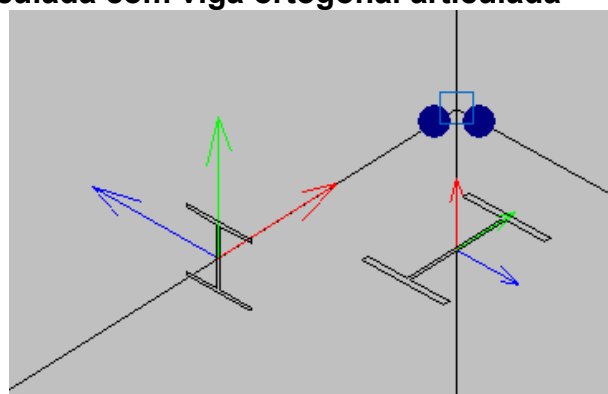
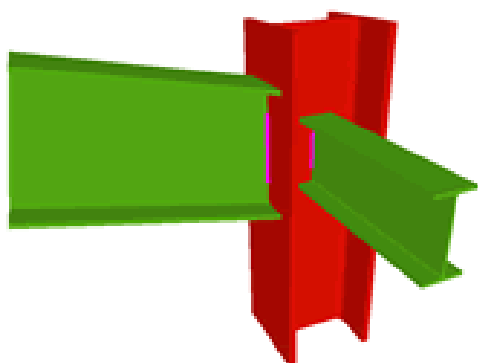
Como utilizar: Definir o nó como articulação ou definir o nó como engastamento e articular o extremo da viga ligada à mesa e da viga ortogonal.

27. Ligação Pilar (contínuo) – Viga articulada



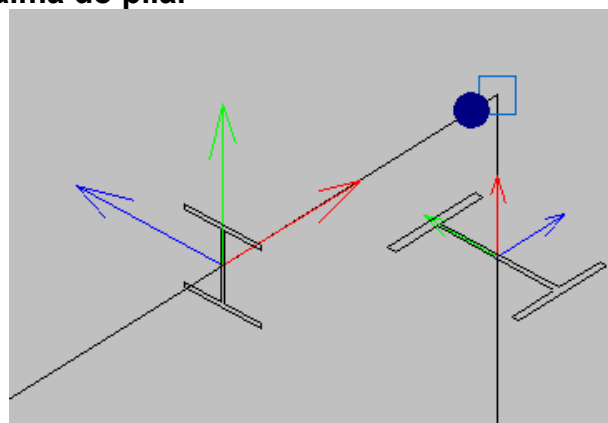
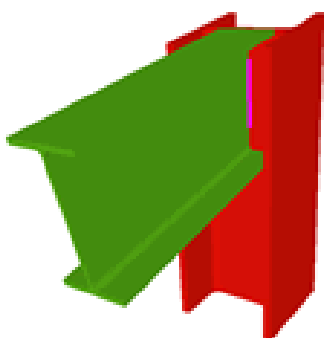
Como utilizar: Idem a ligação 25 mas com pilar contínuo.

28. Ligação Pilar (contínuo)– Viga articulada com viga ortogonal articulada



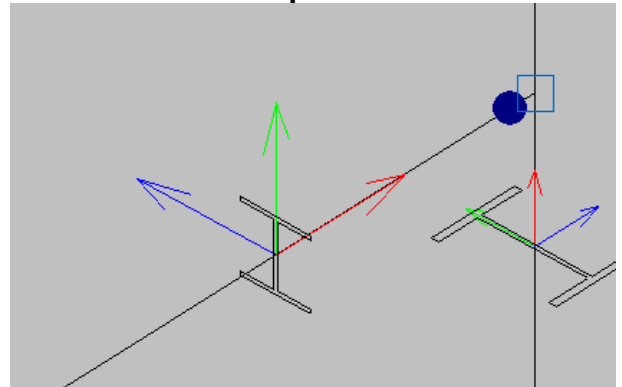
Como utilizar: Idem a ligação 26 mas com pilar contínuo.

29. Ligação Pilar – viga articulada na alma do pilar



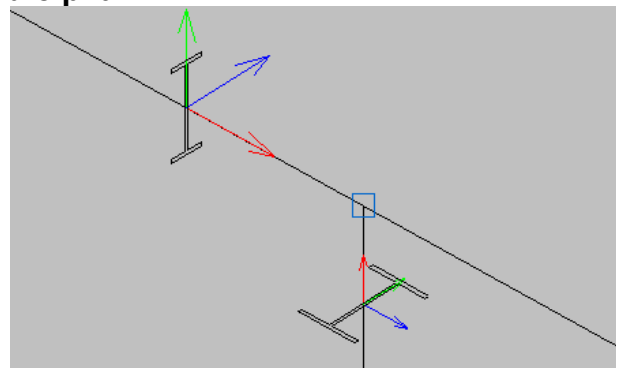
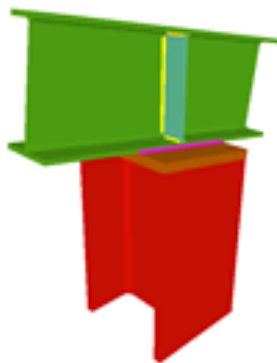
Como utilizar: Definir o nó como articulação ou definir o nó como engastamento e articular o extremo da barra ligada à alma do perfil.


30. Ligação Pilar (contínuo) – viga articulada na alma do pilar



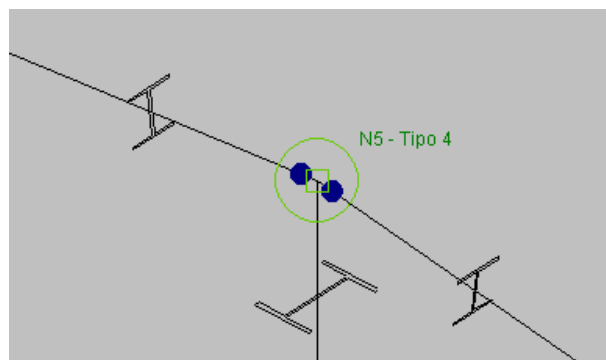
Como utilizar: Idem a ligação 29 mas com pilar contínuo.

31. Ligação Viga contínua apoiada sobre pilar



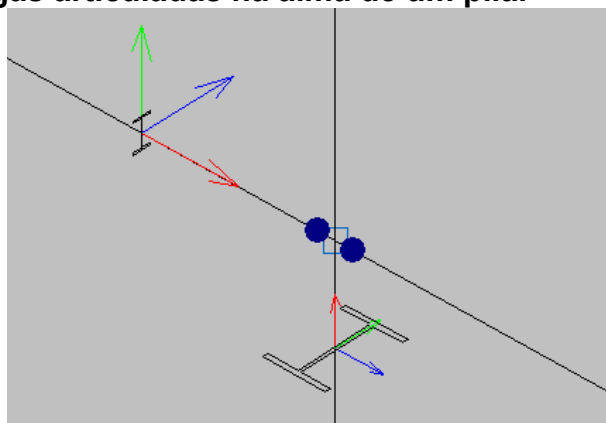
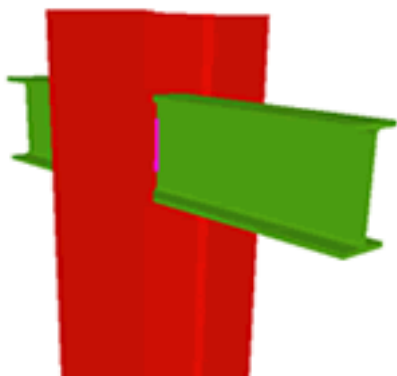
Como utilizar: Definir o nó como articulação e criar uma peça contínua com o comando  Criar peças.

32. Ligação Pilar – Duas vigas articuladas na alma de um pilar



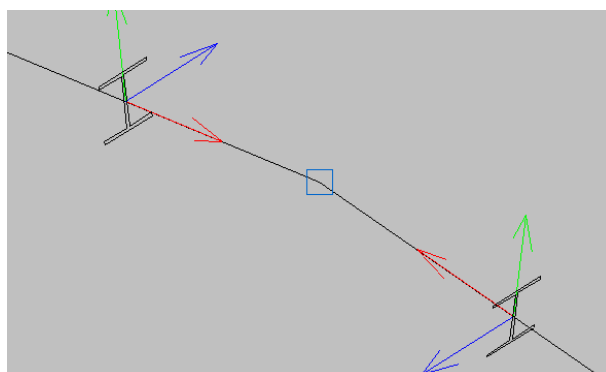
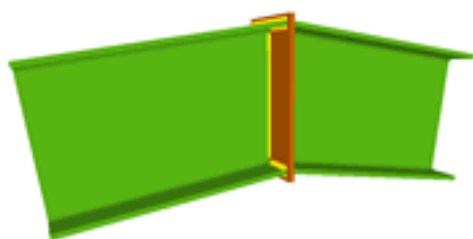
Como utilizar: Definir o nó como articulação ou definir o nó como engastamento e articular os extremos das barras ligadas à alma do pilar.

33. Ligação Pilar (contínuo) – Duas vigas articuladas na alma de um pilar



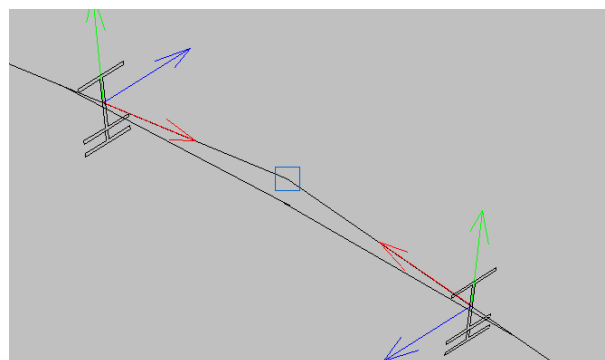
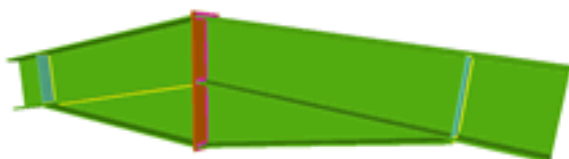
Como utilizar: Idem a anterior mas com pilar contínuo

34. Ligação Duas vigas em cumeeira



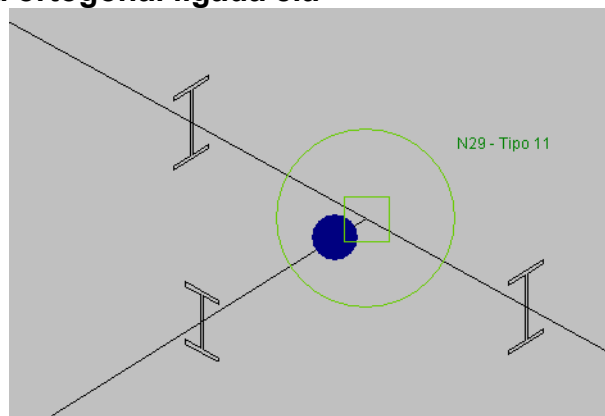
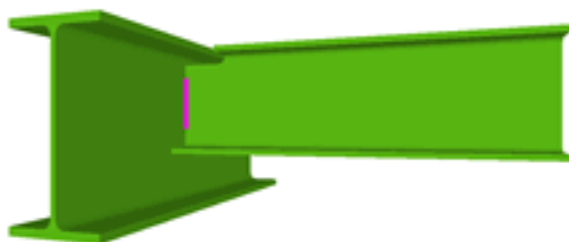
Como utilizar: Definir o nó como engastamento.

35. Ligação Duas vigas em cumeeira com mísula



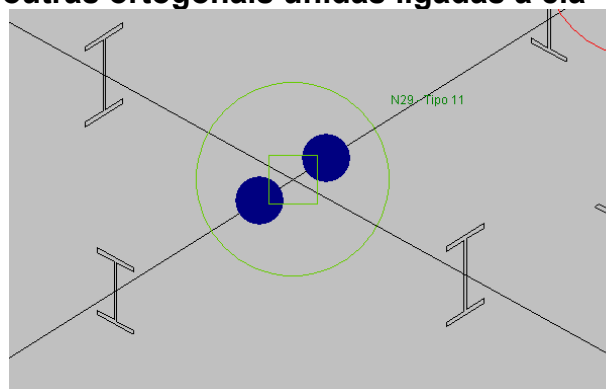
Como utilizar: Idem ao anterior mas durante a descrição do perfil introduzir mísulas.

36. Ligação Viga articulada com outra ortogonal ligada ela



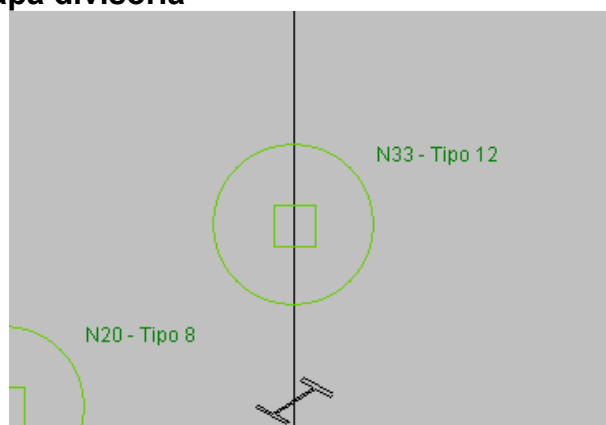
Como utilizar: A barra ligada à viga de apoio deve possuir o extremo articulado.

37. Ligação Viga articulada com duas outras ortogonais unidas ligadas a ela



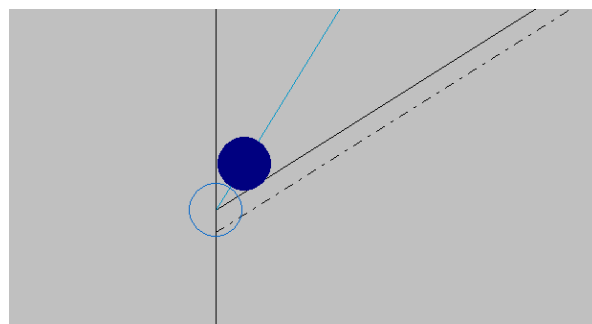
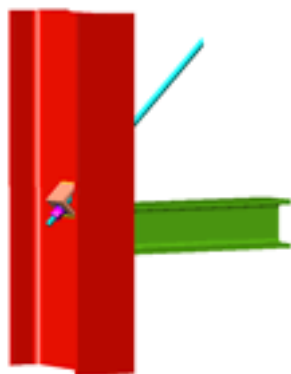
Como utilizar: As barras ligadas à viga de apoio devem possuir o extremo articulado.

38. Ligação Prolongação reta com chapa divisória



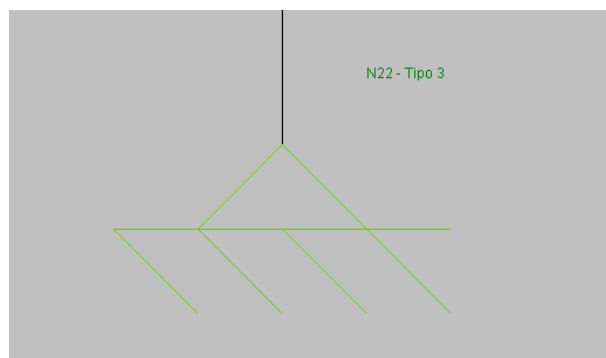
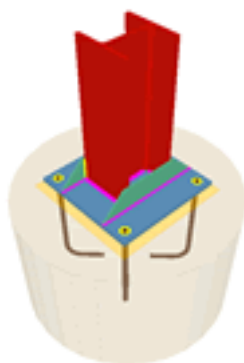
Como utilizar: Criar duas peças no pilar.

39. Detalhe de tirante



Como utilizar: Basta introduzir os tirantes para que a ligação seja calculada.

40. Placa de base



Como utilizar: Calcular normalmente a obra.

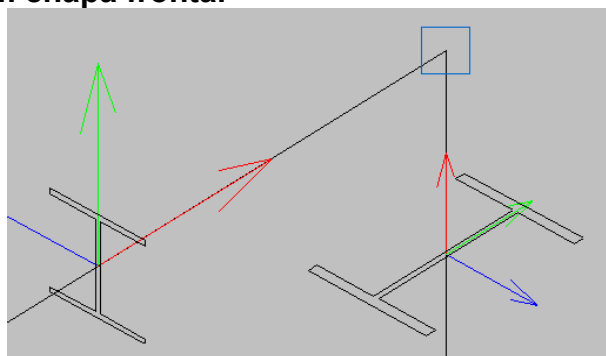
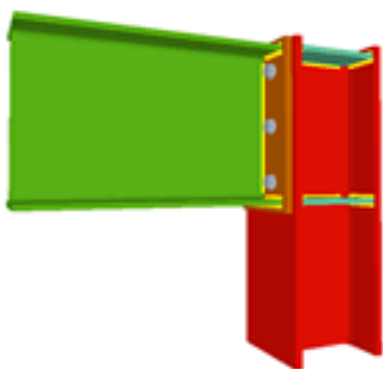
Tipologias de ligações parafusadas implementadas

Neste tipo de ligação a definição do nó irá controlar a seleção da chapa frontal ou lateral, no caso de um engastamento será utilizada chapa frontal, em articulações será utilizada as chapas laterais.

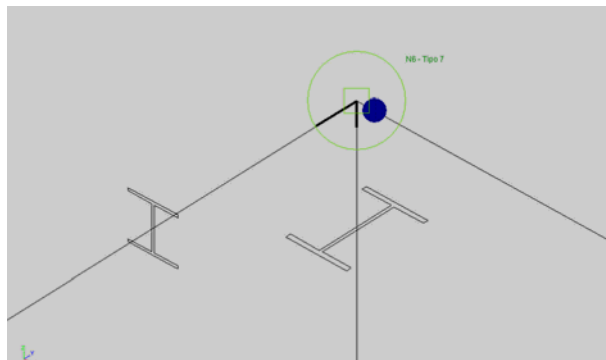
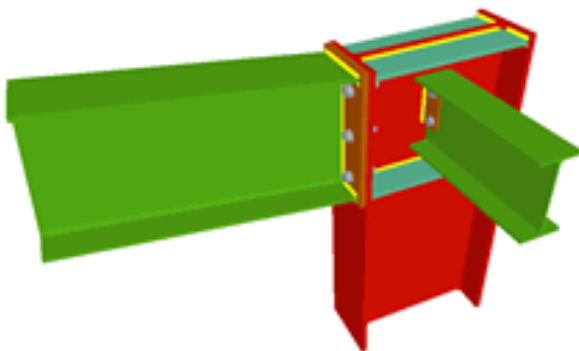
Importante.

Todas as ligações parafusadas no quesito lançamento são idênticas as 30 primeiras ligações soldadas.

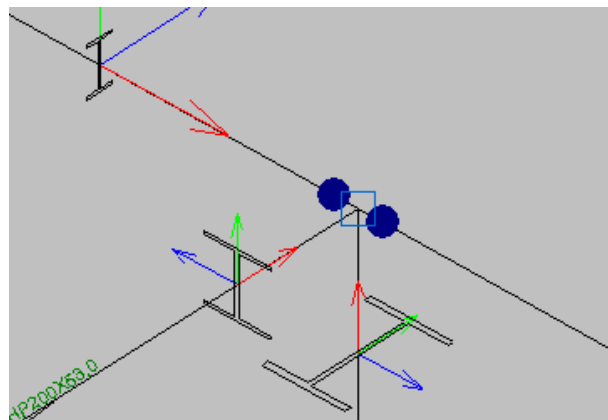
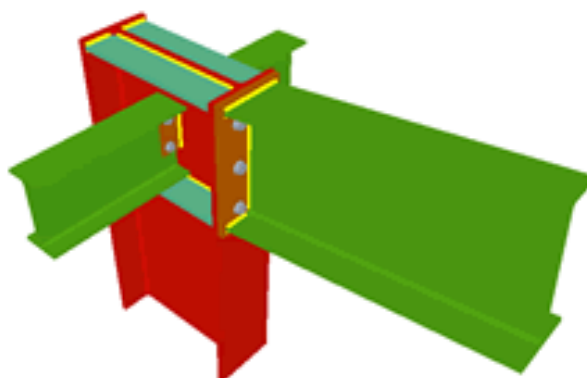
1. Ligação Pilar – viga engastada com chapa frontal



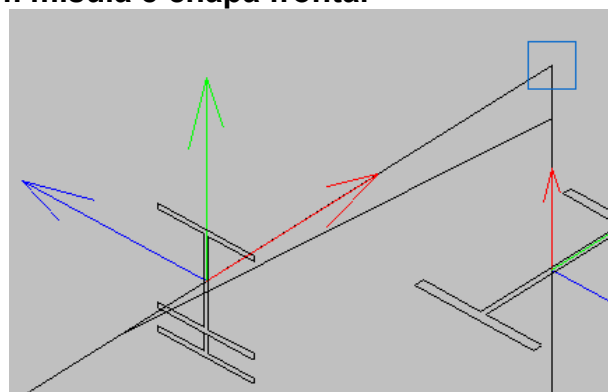
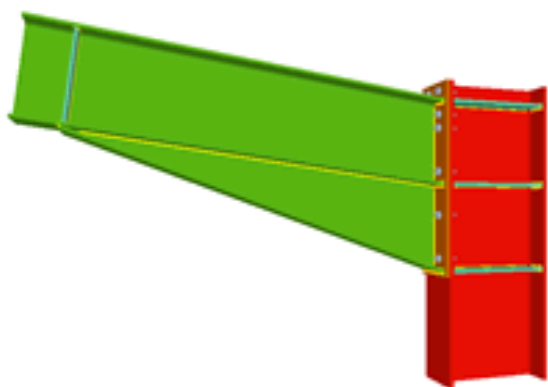
2. Ligação Pilar – viga engastada com chapa frontal e uma viga ortogonal com chapa lateral



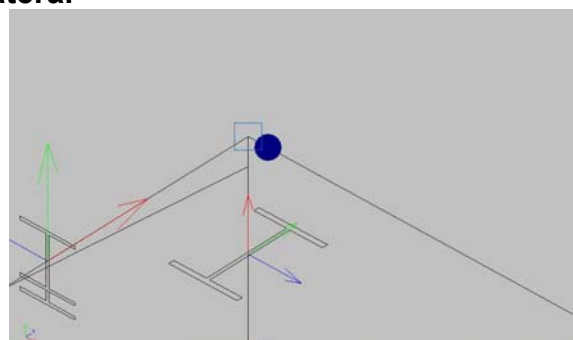
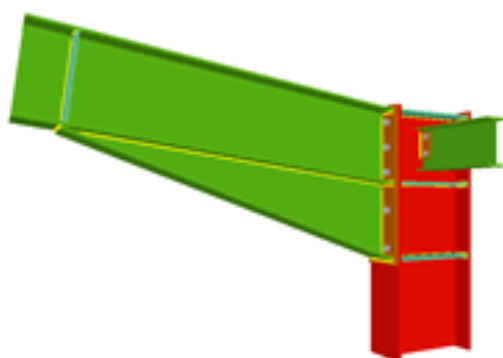
3. Ligação Pilar – viga engastada com chapa frontal e duas vigas ortogonais com chapa lateral



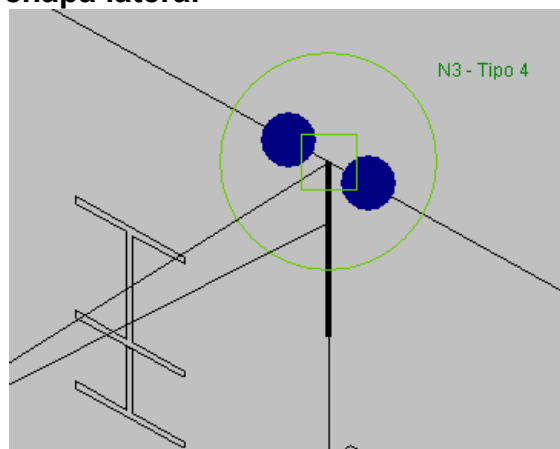
4. Ligação Pilar – Viga engastada com mísula e chapa frontal



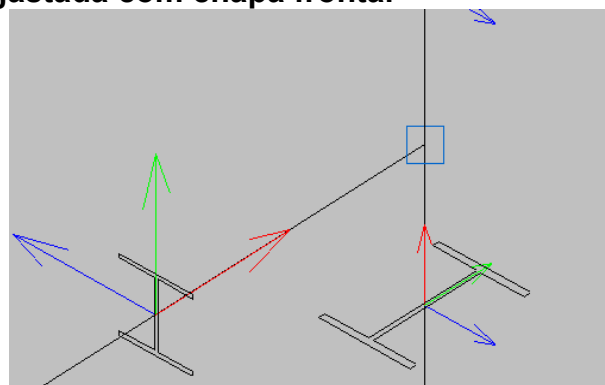
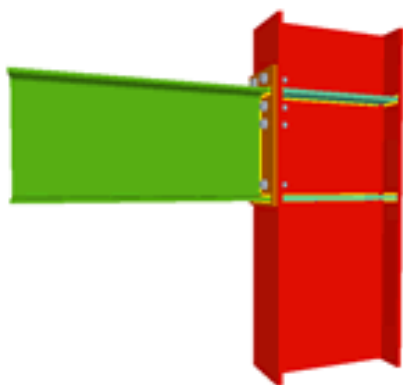
5. Ligação Pilar – Viga engastada com mísula e chapa frontal com uma viga ortogonal articulada com chapa lateral



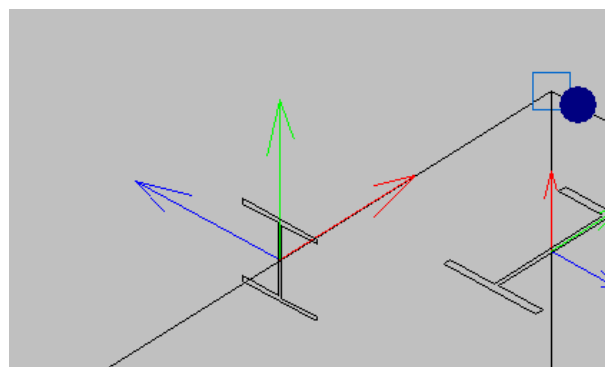
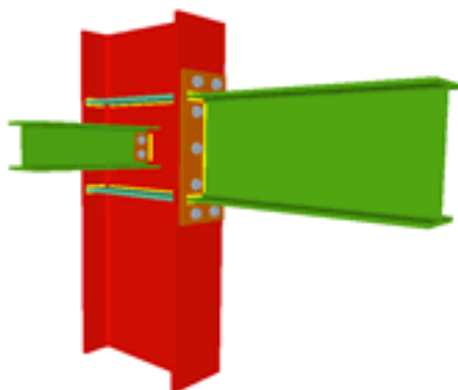
6. Ligação Pilar - Viga engastada com mísula e chapa frontal com duas vigas ortogonais articuladas com chapa lateral



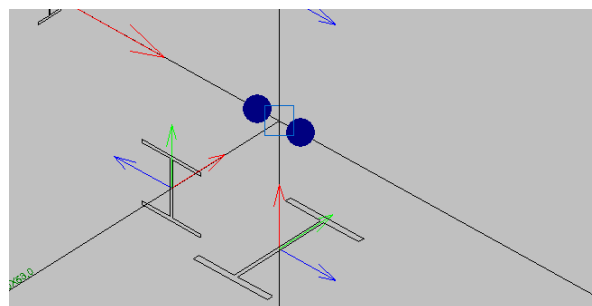
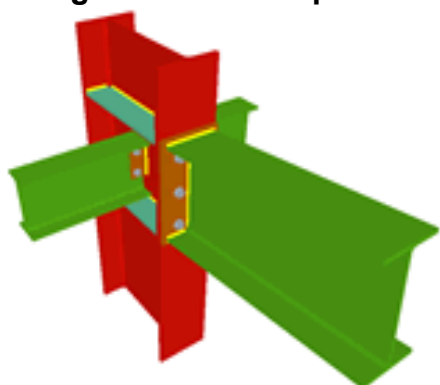
7. Ligação Pilar (continuo) – viga engastada com chapa frontal



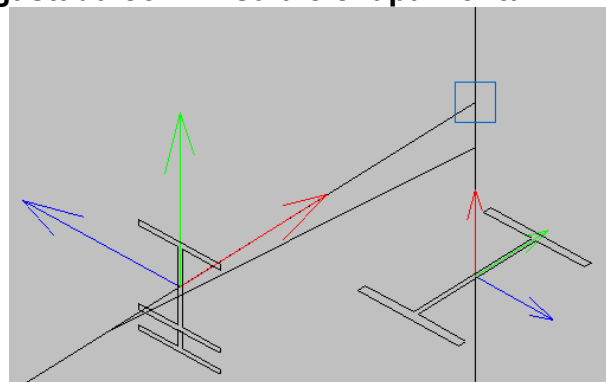
8. Ligação Pilar (continuo) – viga engastada com chapa frontal e uma viga ortogonal com chapa lateral



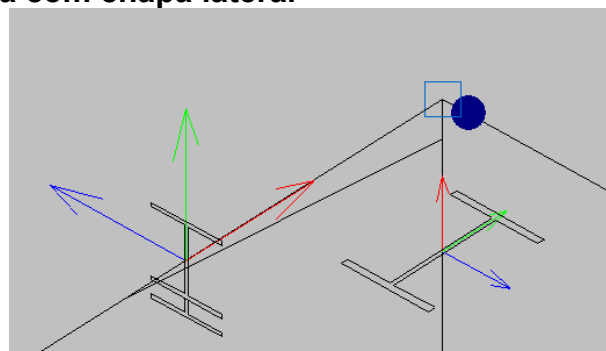
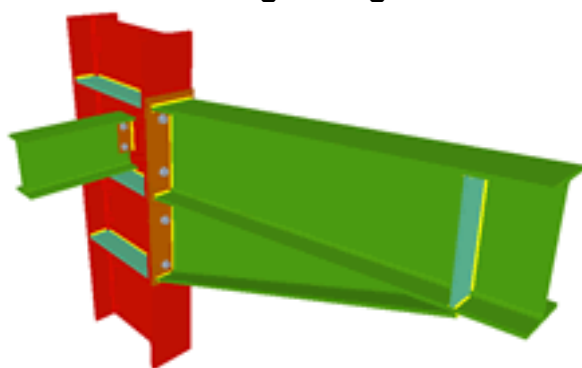
9. Ligação Pilar (continuo) – viga engastada com chapa frontal e duas vigas ortogonais com chapa lateral



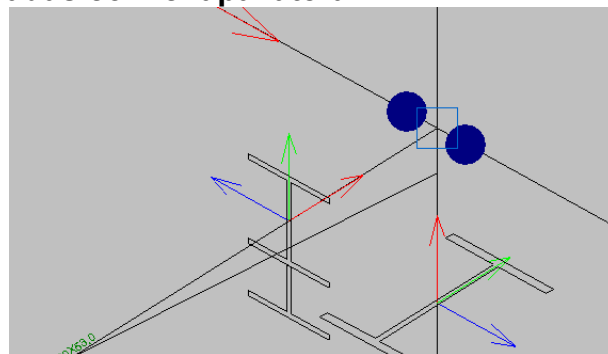
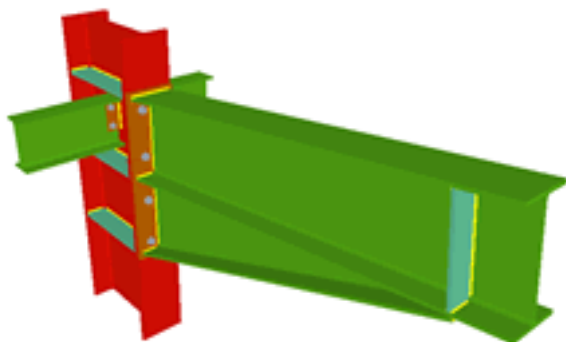
10. Ligação Pilar (continuo) – Viga engastada com mísula e chapa frontal



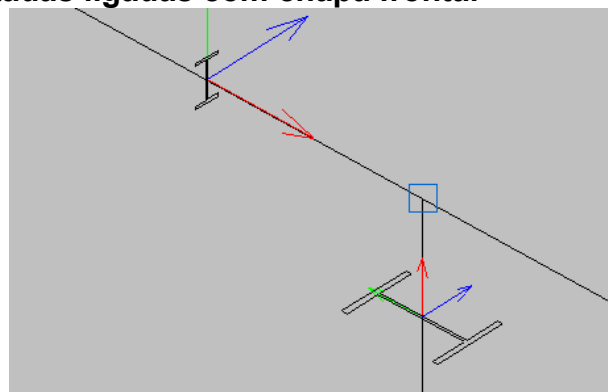
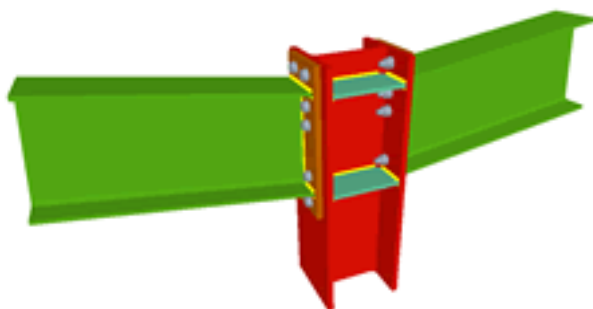
11. Ligação Pilar (continuo) – Viga engastada com mísula e chapa frontal com uma viga ortogonal articulada com chapa lateral



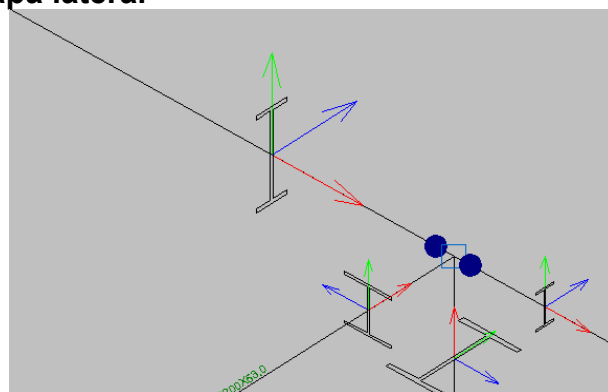
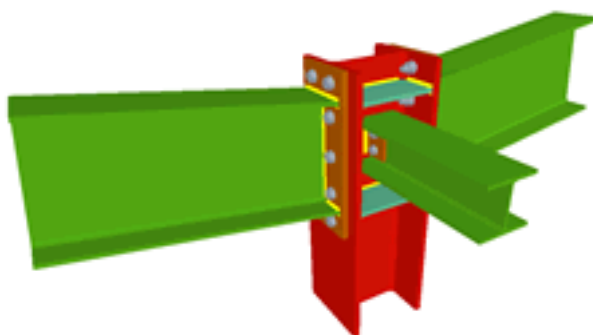
12. Ligação Pilar (contínuo) - Viga engastada com mísula e chapa frontal com duas vigas ortogonais articuladas com chapa lateral



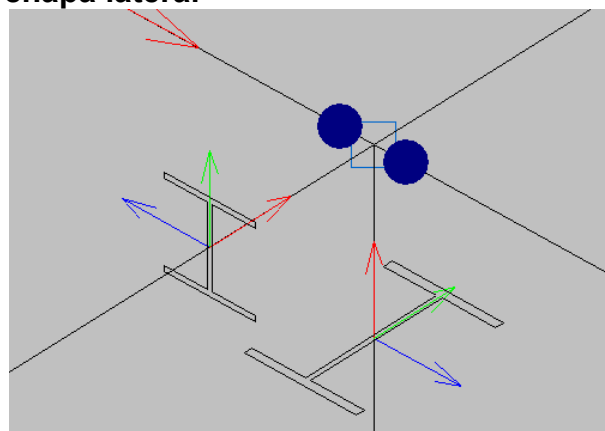
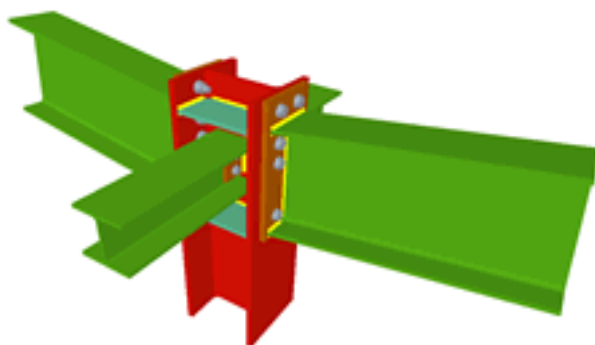
13. Ligação Pilar – Duas vigas engastadas ligadas com chapa frontal



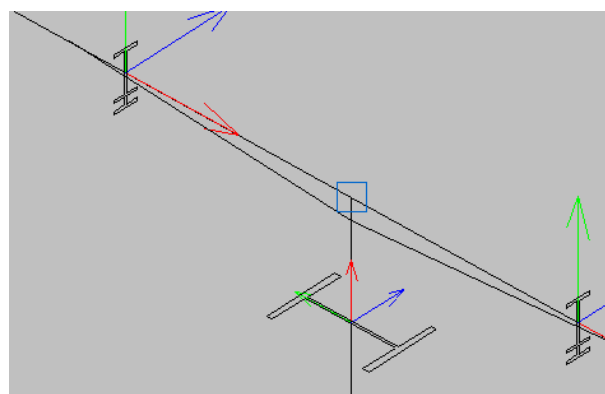
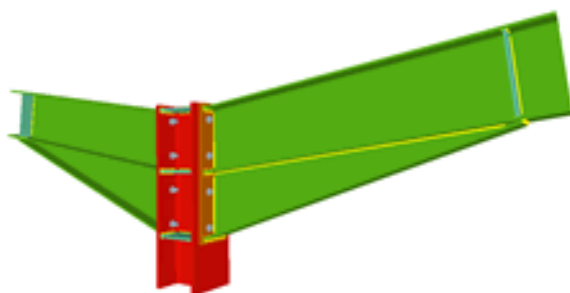
14. Ligação Pilar – Duas vigas engastadas ligadas com chapa frontal e uma viga ortogonal articulada com chapa lateral



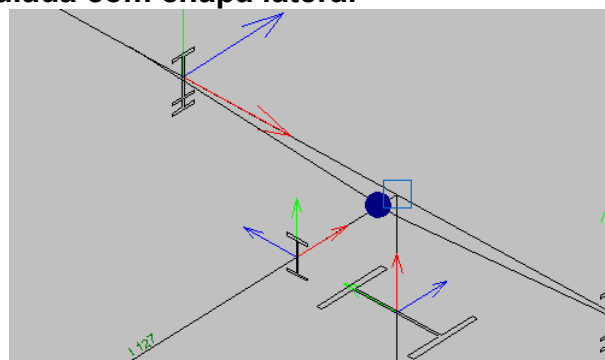
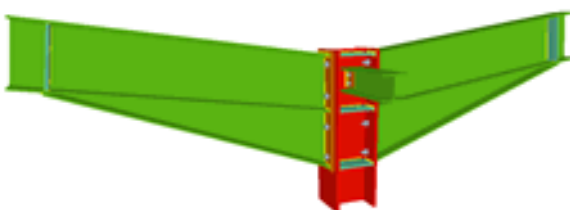
15. Ligação Pilar – Duas vigas engastadas ligadas com chapa frontal e duas vigas ortogonais articuladas com chapa lateral



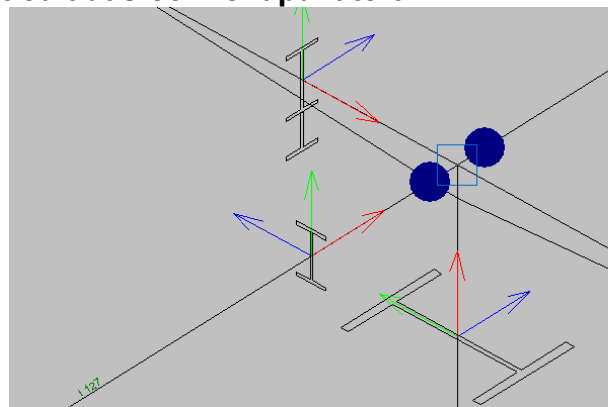
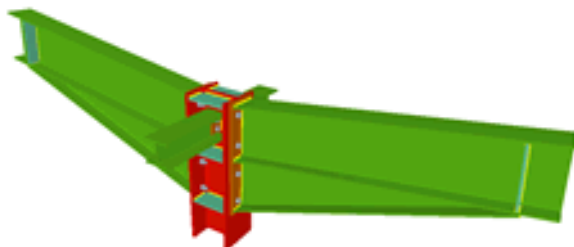
16. Ligação Pilar – Duas vigas engastadas com mísula ligadas com chapa frontal



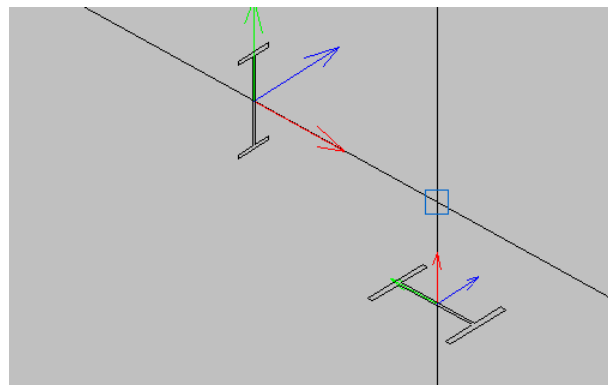
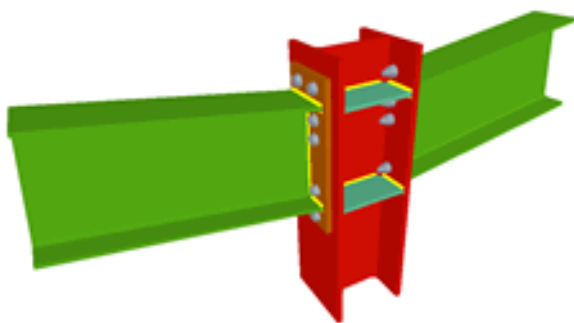
17. Ligação Pilar – Duas vigas engastadas com mísula ligadas com chapa frontal e uma viga ortogonal articulada com chapa lateral



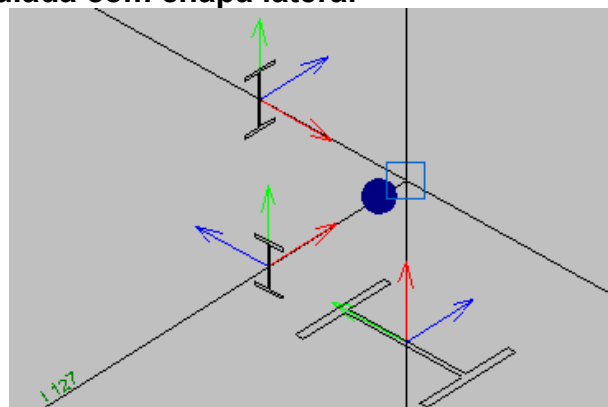
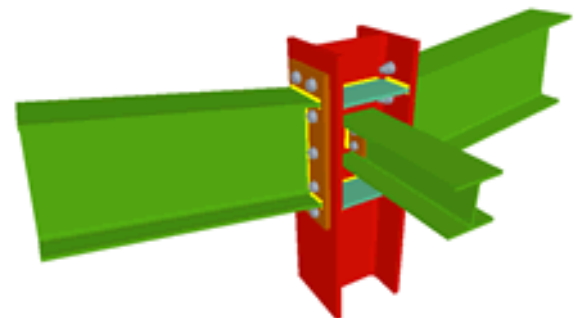
18. Ligação Pilar – Duas vigas engastadas com mísula ligadas com chapa frontal e duas vigas ortogonais articuladas com chapa lateral



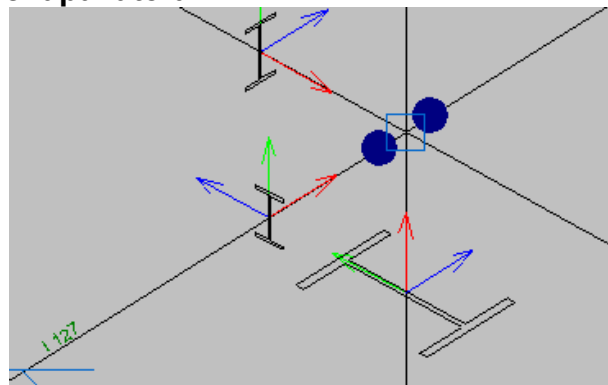
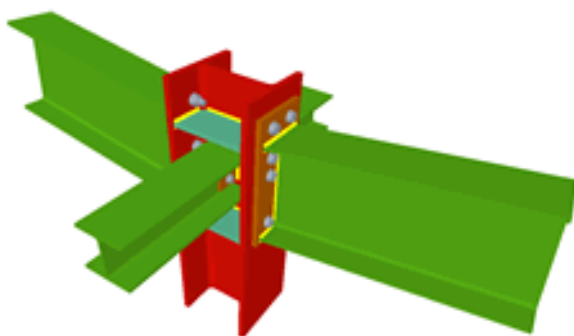
19. Ligação Pilar (contínuo) – Duas vigas engastadas ligadas com chapa frontal



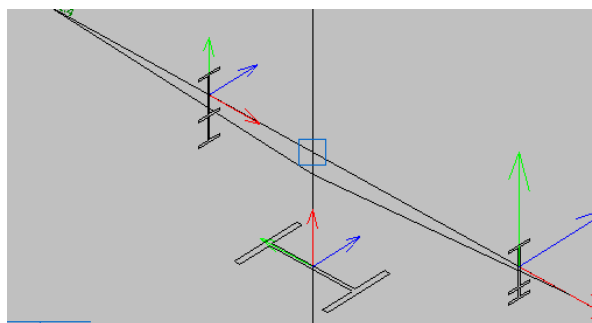
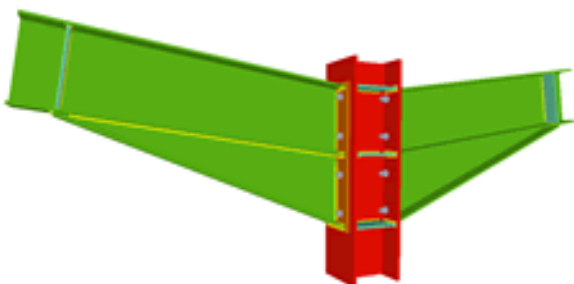
20. Ligação Pilar (contínuo) – Duas vigas engastadas ligadas com chapa frontal e uma viga ortogonal articulada com chapa lateral



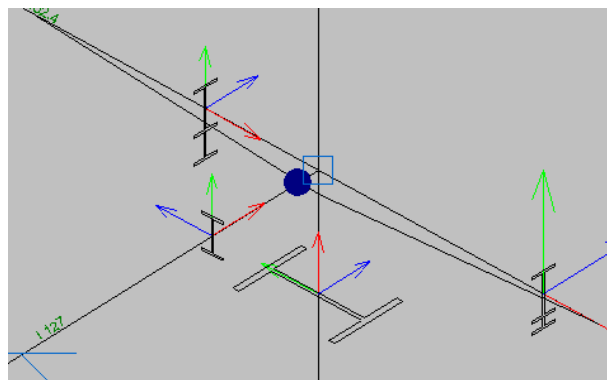
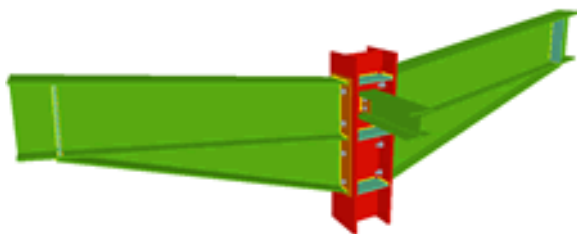
21. Ligação Pilar – Duas vigas engastadas ligadas com chapa frontal e duas vigas ortogonais articuladas com chapa lateral



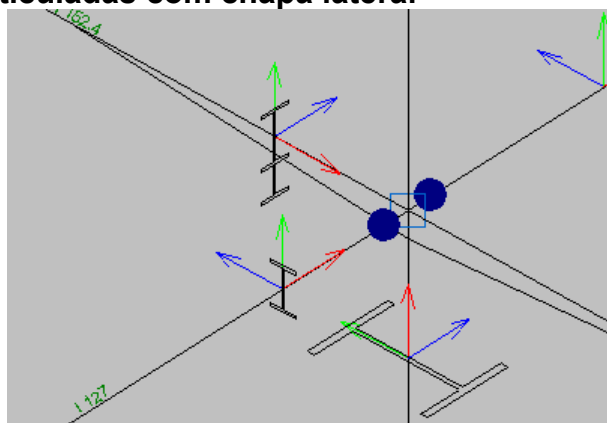
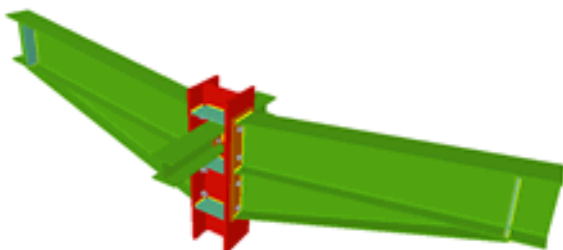
22. Ligação Pilar (contínuo) – Duas vigas engastadas com mísula ligadas com chapa frontal



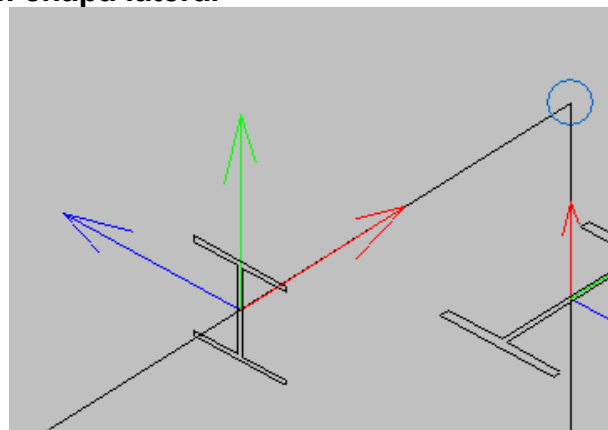
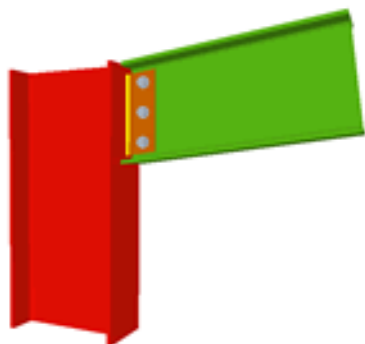
23. Ligação Pilar (contínuo) – Duas vigas engastadas com mísula ligadas com chapa frontal e uma viga ortogonal articulada com chapa lateral



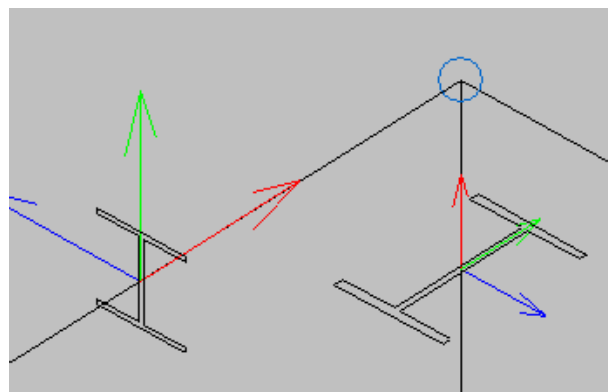
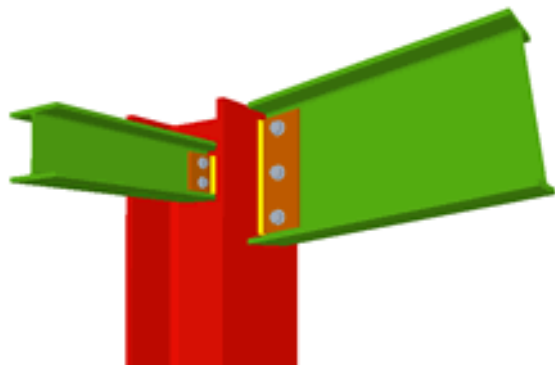
24. Ligação Pilar – Duas vigas engastadas com mísula ligadas com chapa frontal e duas vigas ortogonais articuladas com chapa lateral



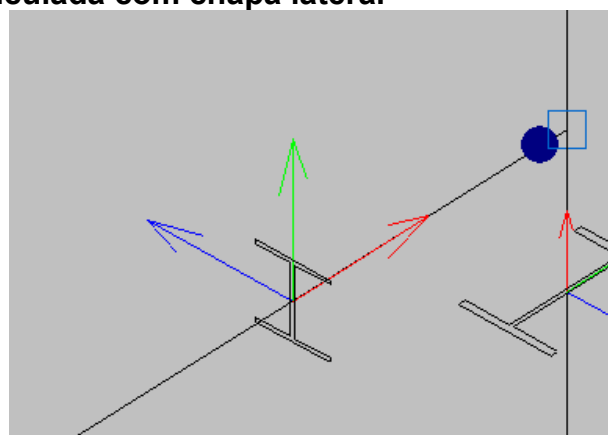
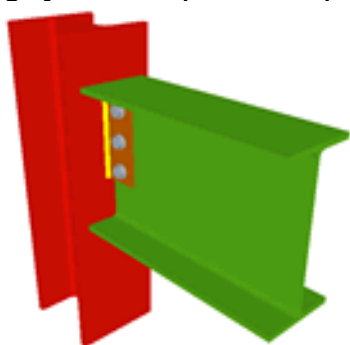
25. Ligação Pilar – Viga articulada com chapa lateral



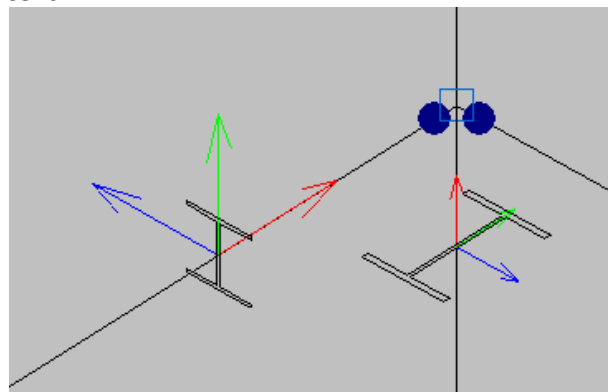
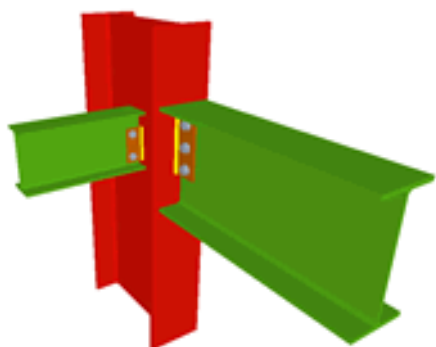
26. Ligação Pilar – Viga articulada com chapa lateral e uma viga ortogonal articulada com chapa lateral



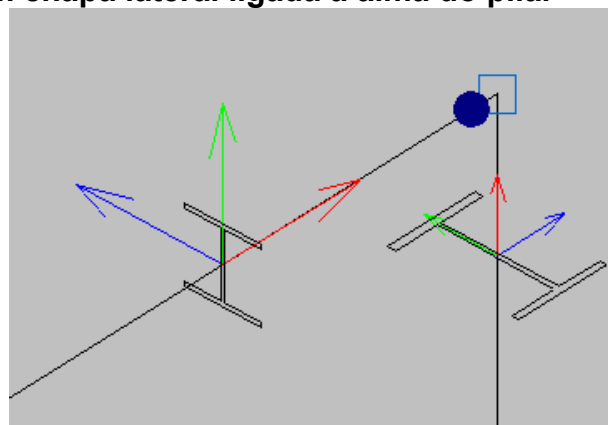
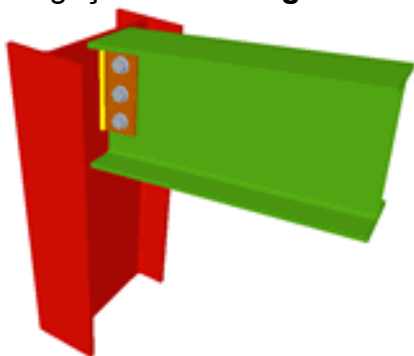
27. Ligação Pilar (contínuo) – Viga articulada com chapa lateral



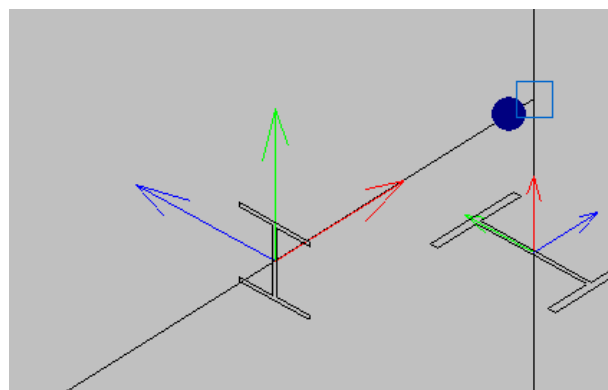
28. Ligação Pilar (contínuo) – Viga articulada com chapa lateral e uma viga ortogonal articulada com chapa lateral



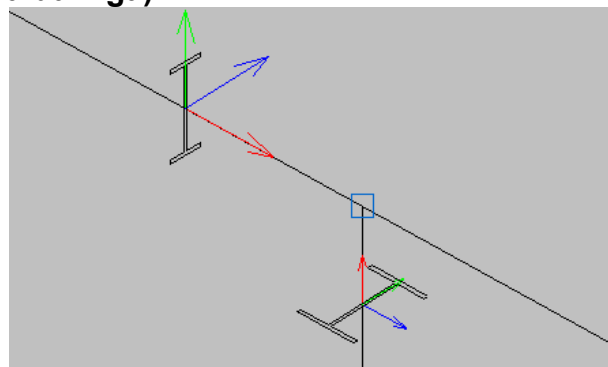
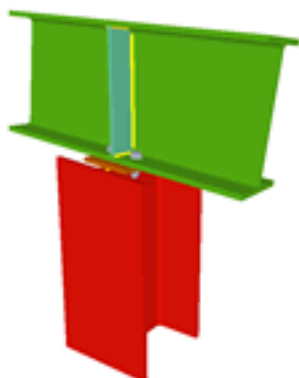
29. Ligação Pilar – Viga articulada com chapa lateral ligada a alma do pilar



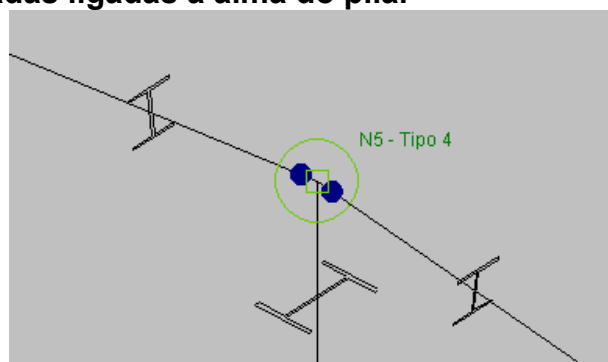
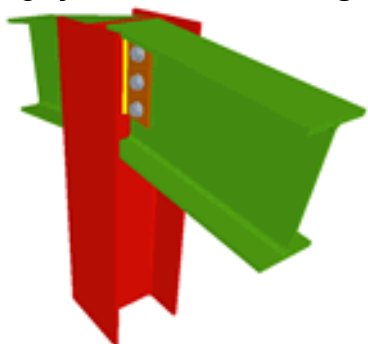
30. Ligação Pilar (contínuo) – Viga articulada com chapa lateral ligada a alma do pilar



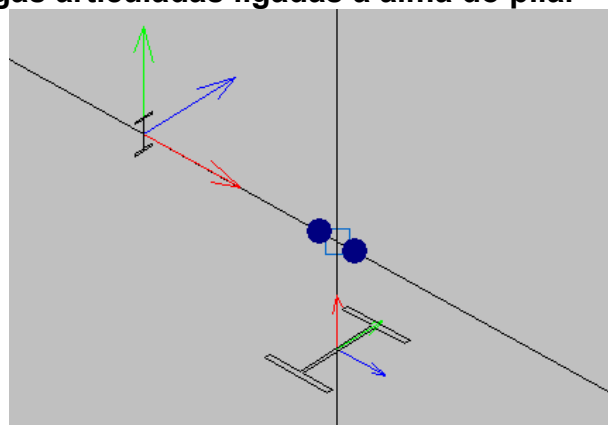
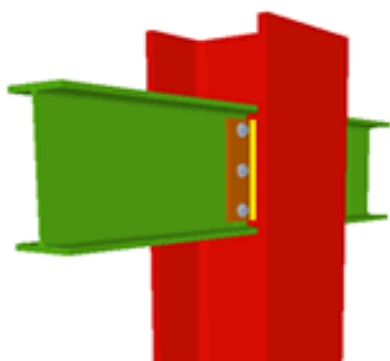
31. Ligação Pilar – Viga apoiada sobre pilar com chapa frontal articulada (alma do pilar perpendicular à alma da viga)



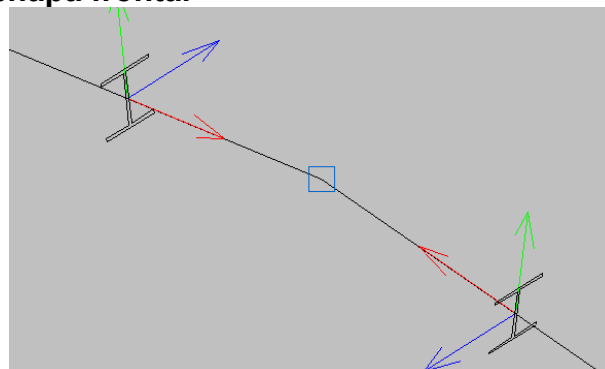
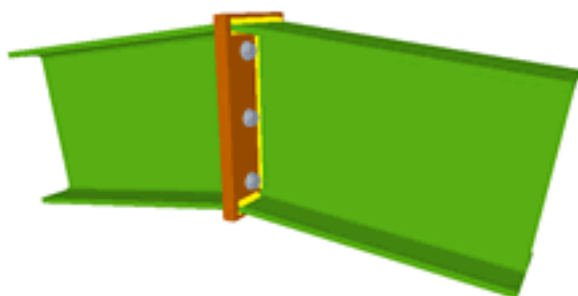
32. Ligação Pilar – Duas vigas articuladas ligadas à alma do pilar



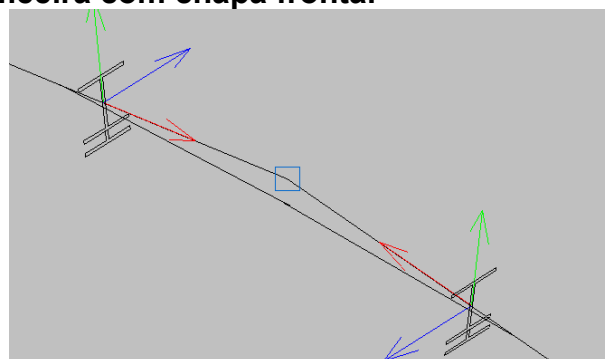
33. Ligação Pilar (contínuo) – Duas vigas articuladas ligadas à alma do pilar



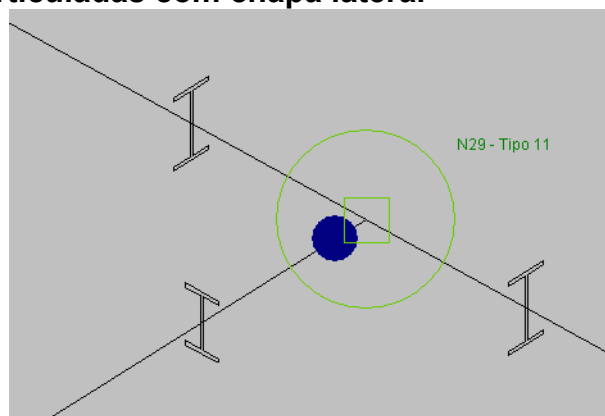
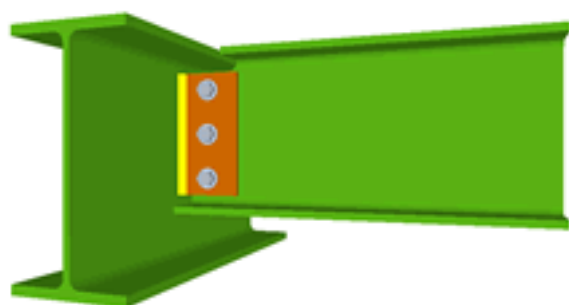
34. Ligação Vigas em cumeeira com chapa frontal



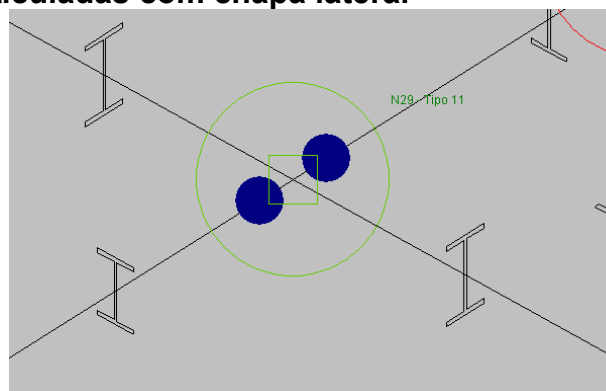
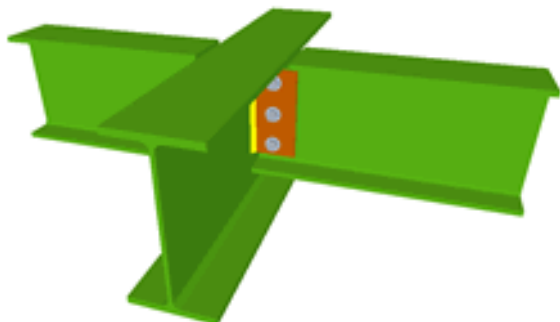
35. Ligação Vigas com mísula em cumeeira com chapa frontal



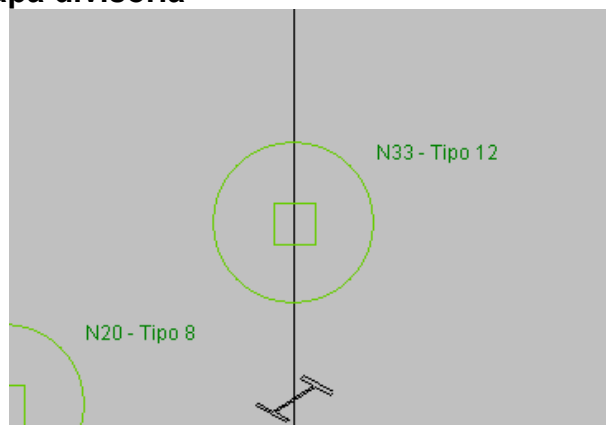
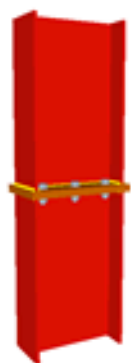
36. Ligação Encontro de duas vigas articuladas com chapa lateral



37. Ligação Encontro de três vigas articuladas com chapa lateral



38. Ligação Prolongação reta com chapa divisória



Causas pelas quais não se dimensiona uma ligação

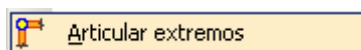
Se o programa não dimensiona uma ligação que aparentemente esteja implementada, pode ser devido a alguma das seguintes circunstâncias:

- **Engastamento de um perfil na alma de outro:**

Caso exista um perfil engastado na alma de outro, não será possível resolver a ligação.

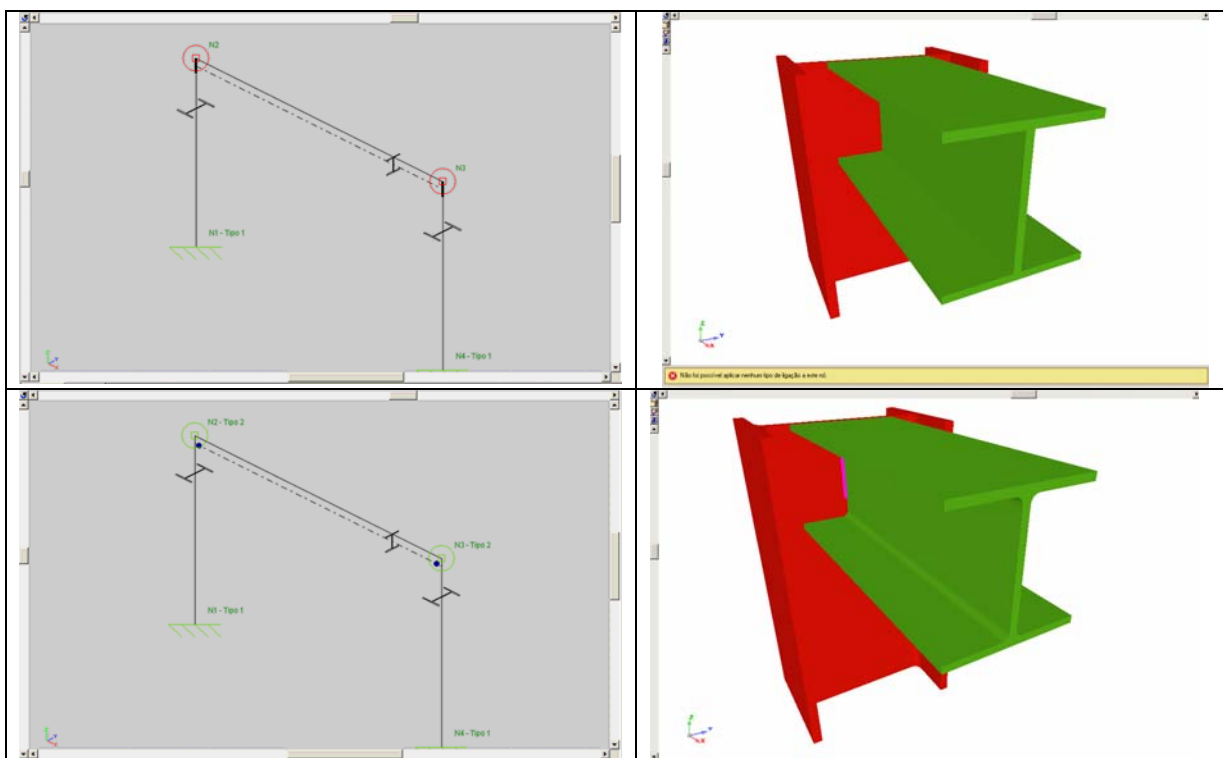
Para resolver este tipo de ligação será necessário articular o extremo da barra conectada a alma de outro perfil.

Solução: Utilize o comando *Articular Extremos*



nas barras

para resolver esta tipologia.

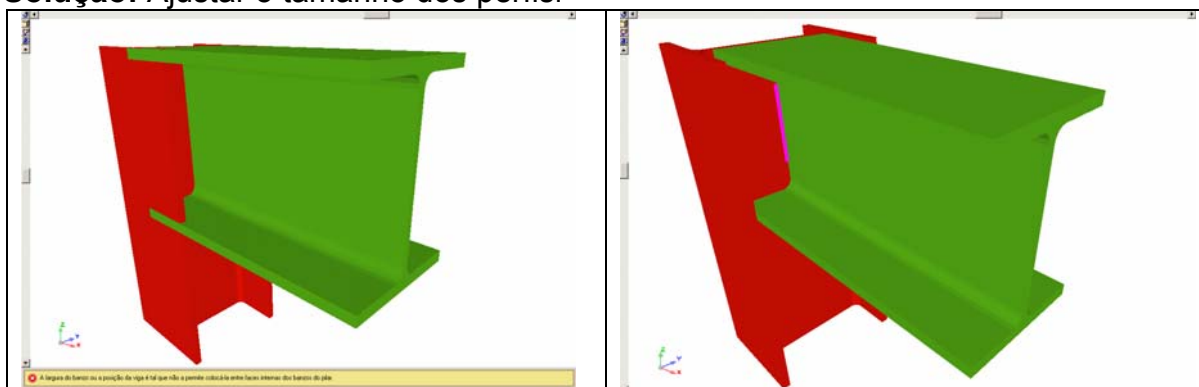


- **Interferência entre perfis**

Se as abas do perfil que vão se unir à alma deste último estiverem causando interferência, a ligação não será dimensionada.

Já que nesta versão do Metálicas 3D (2009.1.g) não está implementada o corte de barras.

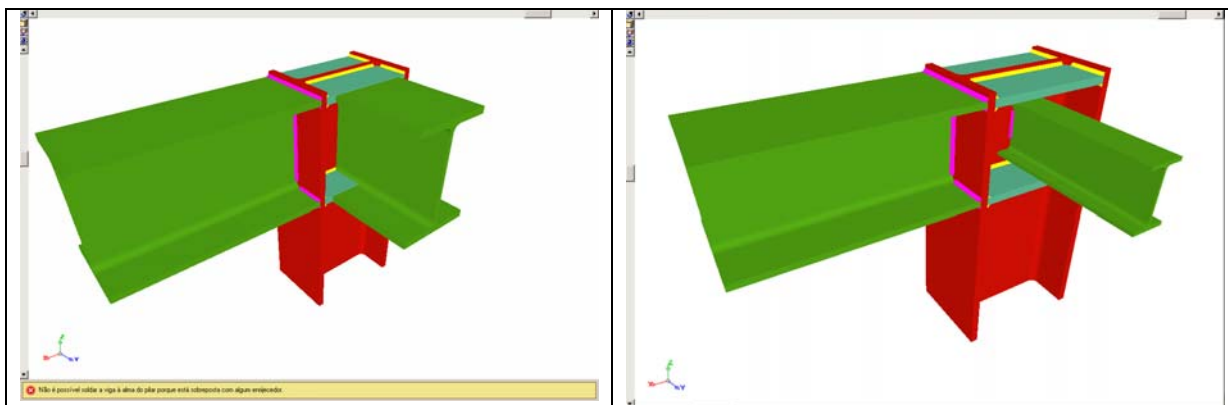
Solução: Ajustar o tamanho dos perfis.



- **Interferência entre perfis e enrijecedores**

Acontece quando um perfil se une à alma de outro e ocorre uma intersecção entre o perfil e o enrijecedor colocado pelo programa para garantir o engastamento no plano ortogonal.

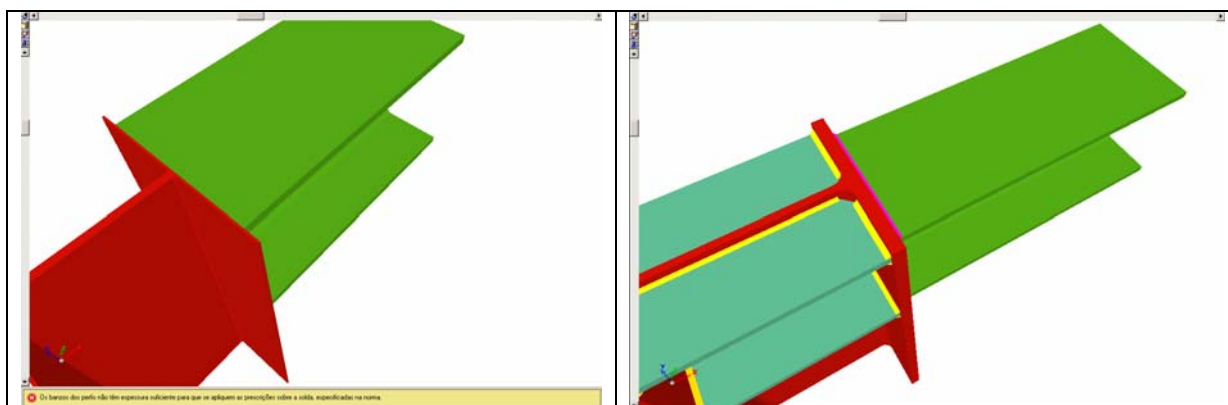
Solução: Ajustar o tamanho dos perfis.



- **Espessura da peça**

Ocorre quando a espessura do cordão de solda for 0.7 vezes maior que a espessura da peça que une.

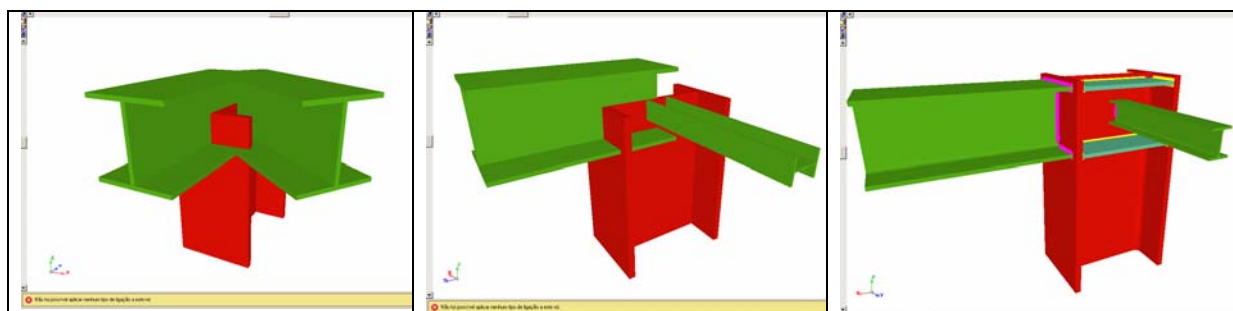
Solução: Utilizar perfis que obedeçam este parâmetro.



- **Ortogonalidade**

Ocorre quando as almas dos perfis não se encontram no mesmo plano ou não sejam perpendiculares entre si.

Solução: Para que o dimensionamento ocorra será necessário obedecer este critério.



- **Ângulo**

O ângulo das faces a serem soldadas deve ser maior ou igual a 60° caso contrário a ligação não será dimensionada.

Solução: Para que a ligação seja dimensionada é necessário obedecer estes critérios.

