

Tema: Dimensionamento Estruturas Aço

DIMENSIONAMENTO DE VIGAS MISTAS ESBELTAS

Arthur De Carli ¹

Zacarias Martin Chamberlain Pravia ²

Resumo

As vigas mistas esbeltas proporcionam alternativas eficientes e econômicas nas estruturas de pontes mistas aço-concreto. Constituídas por um perfil de aço de seção I monossimétrico e, acima, uma capa de concreto ligada à mesa superior por conectores de cisalhamento, o elemento misto fornece grande resistência à flexão, fator preponderante para estruturas com grandes vãos e elevadas ações móveis e permanentes. O dimensionamento é realizado para dois estágios: dimensionamento da viga de aço para ações referentes à execução e lançamento do concreto, e dimensionamento do conjunto aço concreto para ações permanentes e acidentais. O principal problema em vigas mistas esbeltas são as instabilidades ocasionadas pela grande altura da alma e pelo elevado vão, para a flambagem na alma são inseridos enrijecedores transversais e longitudinais, e para a flambagem lateral com torção são criadas restrições laterais ao longo do vão. Estudos por elementos finitos auxiliam enormemente na compatibilização dos enrijecedores com a estrutura global, possibilitando, com auxílio das normas nacionais e internacionais, otimizar a estrutura de modo a obter uma distribuição de restrições e enrijecedores que possibilitem comportamento adequado da estrutura frente às elevadas cargas atuantes.

Palavras-chave: Vigas esbeltas mistas aço concreto; Pontes.

DESIGN OF SLENDER COMPOSITE BEAMS

Abstract

The slender composite beams provides efficient and economical alternatives to the structures of steel-concrete composite bridges. Made of a section of steel profile I mono symmetrical and, above, a concrete cover attached to the upper flange by shear connectors, the mixed element provides great flexural strength, preponderant factor for structures with large spans and high mobile and permanent actions. The design is performed for two stages: design of steel beam for actions related to the execution and launch of concrete, and design of concrete steel set for permanent and accidental actions. The main problem in slender composite beams are the instabilities caused by the great height of the web and the vain, for buckling in the web are inserted transverse and longitudinal stiffeners, and for the lateral buckling torsion side constraints are created along the vain. Studies finite element assist greatly in aligning the stiffeners with the overall structure, making it possible, with the help of national and international standards, optimize the structure in order to obtain a distribution restrictions and stiffeners that allow proper behavior of the front structure of the high loads acting.

Keywords: Slender composite beams steel concrete; Bridges.

¹ Engenharia Civil – Universidade de Passo Fundo, Engenheiro civil, Carazinho, Rio Grande do Sul, Brasil.

² D.Sc. Engenharia Civil, Professor titular do Programa Pós graduação Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, Rio Grande do Sul, Brasil.

1. INTRODUÇÃO

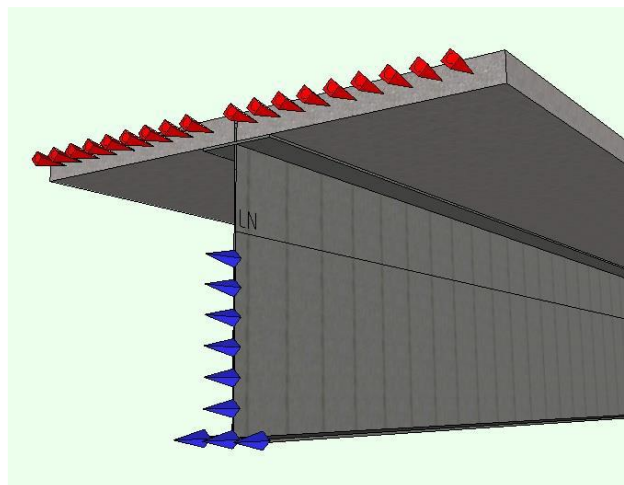
O processo de dimensionamento de vigas mistas esbeltas, neste artigo, contempla análises ao momento fletor, ao cortante e, como foco principal, ao uso de enrijecedores transversais e longitudinais.

O cálculo do momento fletor resistente se dá para duas situações: antes da cura do concreto e após a cura do concreto. A primeira situação ocorre durante a obra, e leva em consideração as ações causadas pela execução e moldagem do concreto, ou seja, apenas a viga de aço será o elemento estrutural ativo. Na segunda situação o concreto já está curado e, portanto, o elemento misto aço-concreto já está solidário e resistindo às ações permanentes e acidentais.

O processo de dimensionamento da viga de aço (1ª situação) para o momento fletor no estado-limite último consiste em avaliar três estados limites: Escoamento da mesa tracionada (EMT), Flambagem Lateral com Torção (FLT) e Flambagem Local da Mesa (FLM). Como o elemento considerado é esbelto, a flambagem na alma, principal problema em vigas esbeltas, está considerada nos dois últimos estados limites, caracterizados por serem instabilidades global e local, respectivamente, através do *fator de redução de momento fletor*, que é embasado nas relações geométricas e mecânicas da peça e do material.

O dimensionamento da viga mista (2ª situação) é realizado a partir das tensões de tração e compressão atuantes no aço e no concreto, respectivamente. Essa mudança no processo de dimensionamento ocorre pelo aumento de rigidez proporcionado pelo concreto, que restringe as instabilidades locais e globais comuns nas vigas de aço, como FLM e FLT. Por outro lado, esse aumento de rigidez acresce a possibilidade de flambagem na alma, o que será discutido no decorrer deste artigo.

Figura 1: Distribuição de tensões na viga mista



Para o esforço cortante, como preconiza ABNT NBR 8800/2008, o dimensionamento é realizado levando em conta apenas o perfil de aço e, portanto, a resistência ao cortante é a mesma antes e após a moldagem do concreto. O uso de enrijecedores transversais e longitudinais aumentam o cortante resistente na medida que, após integrados à viga de aço, agem como chapas cruciformes que auxiliam na transmissão da carga para os apoios. Além disso, os enrijecedores são imprescindíveis para a estabilidade geométrica da viga de aço.

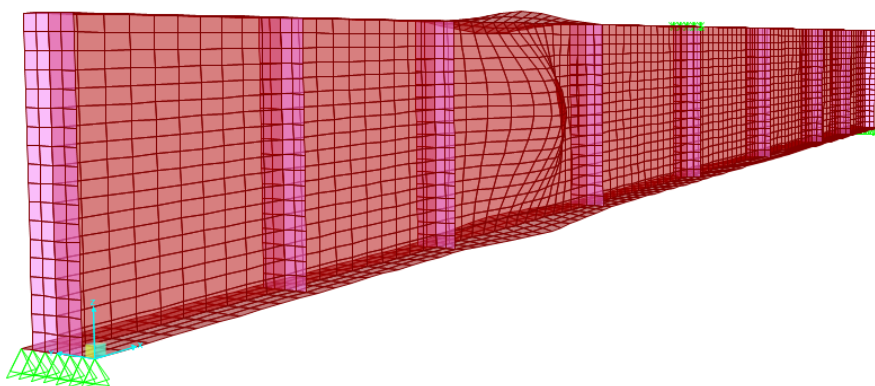
1.1. Flambagem local da alma

O principal problema, e que possui o foco principal do artigo, é a Flambagem Local da Alma. Para vigas mistas esbeltas não há um cálculo específico para o dimensionamento por FLA, justamente por já considerar que o elemento irá flambar, por isso a obrigatoriedade dos enrijecedores. Entretanto, há um coeficiente redutor de momento fletor (k_{pg}) que obrigatoriamente tira o dimensionamento da fase elástica, diminuindo, em parte, a instabilidade na alma.

De acordo com Sáles (2011, p. 59)

As almas dos perfis metálicos são assumidas como chapas engastadas em suas bordas e submetidas a tensões contidas no seu plano, com variação linear ao longo da altura, tracionando e comprimindo metades alternadas da altura da chapa.

Figura 2: Flambagem Local da Alma



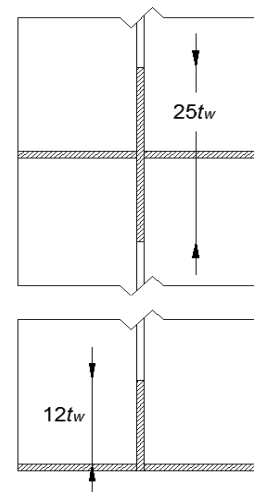
1.2. Enrijecedores Transversais

Os enrijecedores devem ser verificados como chapas projetadas em seções cruciformes, para flambagem local, compressão na mesa inferior e força axial resistente de cálculo, também deve ser verificado o estado-limite para esmagamento local, porém apenas nos casos que a extremidade do enrijecedor está ajustada para contato com a mesa.

A ABNT NBR 8800:2008 estipula as parcelas de comprimento da alma para o dimensionamento dos enrijecedores como barras (colunas) comprimidas, que é $12t_w$, quando posicionados na extremidade, e $25t_w$, quando estiverem na seção interna. A carga considerada como atuante é a de esforço cortante no ponto do enrijecedor, portanto, obtendo uma força axial resistente de projeto maior que o esforço cortante pontual, o enrijecedor está dimensionado corretamente.

A norma brasileira também possibilita interromper a continuidade do enrijecedor entre a mesa tracionada e a alma para valores, da distância

Figura 3: Seções cruciformes



entre soldas, de $4t_w$ e $6t_w$. Há também uma especificação para valor mínimo de momento de inércia para o enrijecedor com contribuição da alma, que é:

$$a t_w j \quad (1)$$

Onde:

$$j \quad \text{é igual a } [2,5/(a/h)^2] - 2 \geq 0,5$$

Para definir o espaçamento, entre eixos, dos enrijecedores, pode ser utilizado o método de elementos finitos, verificando o comportamento quanto à estabilidade global. Caso haja enrijecedores longitudinais, a distância entre eixos não pode ultrapassar $1,5 h$ (altura da alma).

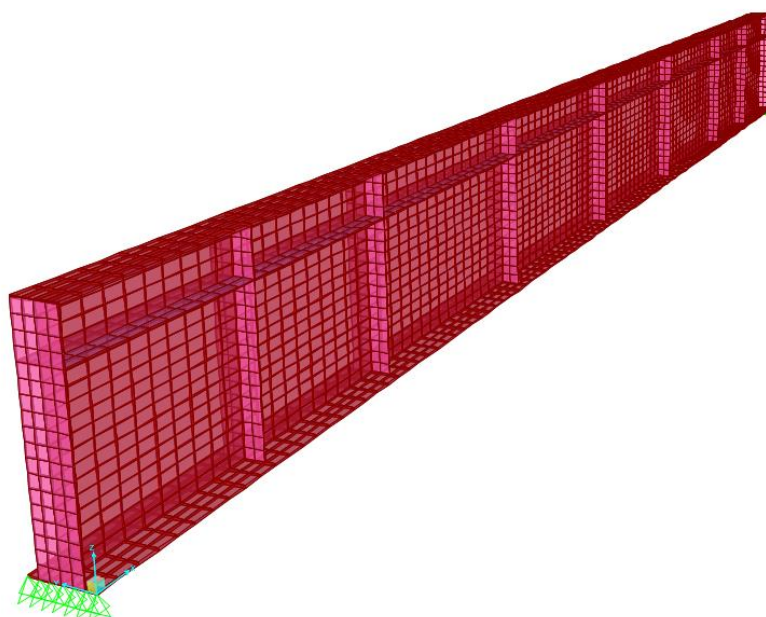
1.3. Enrijecedores Longitudinais

Enrijecedores longitudinais são usados em perfis soldados, principalmente em vigas de pontes. Eles não são tão efetivos como os transversais. Para seu cálculo devem ser cumpridos dois requisitos:

- a) Um momento de inércia adequado para assegurar adequada rigidez para criar contenção ou linha nodal ao longo dele;
- b) Uma área adequada para carregar uma carga axial de compressão que faça que ele interaja com alma, processo idêntico aos enrijecedores transversais.

Os enrijecedores longitudinais são recomendados, de acordo com o EUROCODE 3 e a AASHTO, para vigas com esbeltez maior que 150, limitando para no máximo 300.

Figura 4: Enrijecedores Transversais e Longitudinais



2. MATERIAIS E MÉTODOS

A ABNT NBR 8800/2008 contém o processo de dimensionamento de vigas de aço esbeltas e de vigas mistas não esbeltas, porém, o método de cálculo é o mesmo que o preconizado pelas normas internacionais AISC 360:10 e EUROCODE 3, que permitem vigas mistas esbeltas. Portanto, e obedecendo aos critérios impostos pelas normas internacionais, como inclusão de enrijecedores longitudinais e transversais, e da norma brasileira, com inclusão de enrijecedores transversais às vigas de aço esbeltas, o procedimento presente na ABNT NBR 8800/2008 foi estendido, pelos autores, para vigas mistas esbeltas.

A compatibilização dos enrijecedores foi realizado com auxílio de análises não lineares pelo método dos elementos finitos, através do software SAP2000 v16.0.0. Dessa maneira, fica evidenciado o comportamento da estrutura global e de instabilidades locais perante acréscimos e decréscimos de restrições, possibilitando definir espaçamentos e posicionamentos dos enrijecedores transversais e longitudinais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Dimensionamento à flexão das vigas de aço

O dimensionamento da viga de aço é realizado levando em consideração as cargas referentes aos serviços de execução, incluindo a carga de moldagem do concreto.

A classificação da esbeltez é dada pela relação entre a altura da alma e sua espessura.

$$\lambda = h/t_w \quad (2)$$

Para ser classificada como esbelta, a seção deve possuir esbeltez maior que:

$$5,70\sqrt{E/f_y} \quad (3)$$

Porém, não pode exceder 260 nem:

$$11,7\sqrt{\frac{E}{f_y}} \text{ para } a/h \leq 1,5 \quad (4)$$

$$\frac{0,42E}{f_y} \text{ para } a/h > 1,5 \quad (5)$$

onde:

a é a distância entre eixos dos enrijecedores transversais.

Além de obedecer aos limites de esbeltez do Anexo H da ABNT NBR 8800/2008, também deve respeitar as relações geométricas impostas nesse mesmo anexo.

O dimensionamento para o momento fletor resistente para estado-limite último se dá pelo menor valor dentre três considerações: escoamento da mesa tracionada (EMT), flambagem

lateral com torção (FLT) e flambagem local da mesa (FLM). Para os últimos dois estados-limites, FLT e FLM, há a consideração do fator de redução de momento fletor (k_{pg}), responsável por não submeter o cálculo à fase elástica, que é dado por:

$$k_{pg} = 1 - \frac{a_r}{1200 + 300a_r} \left(\frac{h_c}{t_w} - 5,70 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \right) \leq 1,0 \quad (6)$$

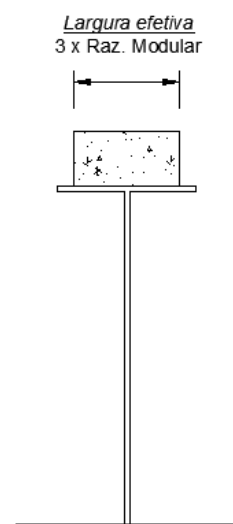
onde:

a_r é igual a relação entre a área da alma e da mesa comprimida, sendo que a seção não pode ter a relação com valor superior a 10.

3.2. Dimensionamento à flexão das vigas mistas

Para seções I esbeltas, o dimensionamento do elemento já misto, ou seja, após a cura do concreto, consiste em obter tensões resistentes de compressão e tração superiores às atuantes. Por se tratar de dois materiais diferentes, com características mecânicas opostas, a seção utilizada para o cálculo deve ser transformada para uma seção de igual módulo de elasticidade. Para isso, deve-se encontrar a razão modular, que é a relação dos módulos de elasticidade dos materiais. A este valor é recomendável pela ABNT NBR 8800:2008 multiplicar pelo coeficiente 3, em razão dos efeitos de longa duração no concreto. Portanto, primeiramente define-se a largura efetiva pela qual o concreto irá contribuir na resistência, em seguida divide-se pelo valor triplo da razão modular, finalizando, assim, a geometria da seção transformada. Fluxogramas e maiores detalhes sobre o dimensionamento de vigas esbeltas de aço e mistas podem ser consultadas em DE CARLI, CHAMBERLAIN(2016).

Figura 5: Seção mista transformada



De posse das propriedades geométricas e dos esforços atuantes, é realizada a verificação do elemento. Primeiramente, calcula-se a tensão de compressão atuante no concreto:

$$\sigma_{cd} = \frac{M_{sd}}{[\alpha_E(W_{tr})_s]} \quad (7)$$

Para determinar a tensão de tração no aço, determina-se a interação na viga mista: parcial ou completa. Segundo a ABNT 8800:2008, há dois fatores que definem o tipo de interação: relação das mesas da viga de aço e o comprimento do vão no trecho de momento positivo (L_e).

Portanto, a interação será:

- Completa, quando $L_e > 25$ m e mesas de áreas iguais;
- Parcial, quando $L_e \leq 25$ m e mesas de áreas iguais;
- Completa, quando $L_e > 20$ m e mesas de áreas diferentes;
- Parcial, quando $L_e \leq 20$ m e mesas de áreas diferentes.

Assim, a tensão de tração atuante no aço, quando interação completa, é:

$$\sigma_{td} = \frac{M_{sd}}{(W_{tr})_i} \quad (8)$$

O cálculo para interação parcial é o mesmo, apenas alterando $(W_{tr})_i$ para W_{ef} .

$$W_{ef} = W_a + \sqrt{\frac{\Sigma Q_{Rd}}{F_{hd}}} [(W_{tr})_i - W_a] \quad (9)$$

onde:

- $(W_{tr})_i$ é o módulo de resistência elástico inferior da seção mista
- $(W_{tr})_s$ é o módulo de resistência elástico superior da seção mista
- W_{ef} é o módulo de resistência elástico efetivo inferior da seção mista
- W_a é o módulo de resistência elástico inferior do perfil de aço
- M_{sd} é momento fletor solicitante de cálculo

Por fim, as tensões atuantes devem ser comparadas com as tensões resistentes de cálculo, de compressão do concreto, e de tração do aço.

$$\sigma_{cd} < f_{cd} \quad (10)$$

$$\sigma_{td} < f_{yd} \quad (11)$$

3.3. Dimensionamento ao cortante

A força cortante resistente de cálculo de vigas mistas de alma cheia deve ser determinada considerando apenas a resistência do perfil de aço.

Ou seja:

$$V_{Sd} \leq V_{Rd} \quad (12)$$

Inicialmente, devem ser calculados os parâmetros de esbeltez, mesma metodologia utilizada para momento fletor resistente.

$$\lambda = \frac{h}{t_w} \quad (13)$$

$$\lambda_p = 1,10 \sqrt{\left(\frac{K_v E}{f_y}\right)} \quad (14)$$

$$\lambda_r = 1,37 \sqrt{\left(\frac{K_v E}{f_y}\right)} \quad (15)$$

onde:

$$k_v = \begin{cases} 5,0 & \text{para almas sem enrijecedores transversais, para } \frac{a}{h} > 3 \text{ ou para } \frac{a}{h} > \left[\frac{260}{(h/t_w)} \right]^2 \\ 5 + \frac{5}{(a/h)^2} & \text{para todos os outros casos.} \end{cases}$$

Com os parâmetros de esbeltez determina-se a força cortante resistente de cálculo:

Para $\lambda \leq \lambda_p$

$$V_{Rd} = \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}} \quad (16)$$

Para $\lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r$

$$V_{Rd} = \frac{\lambda_p}{\lambda} \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}} \quad (17)$$

Para $\lambda > \lambda_r$

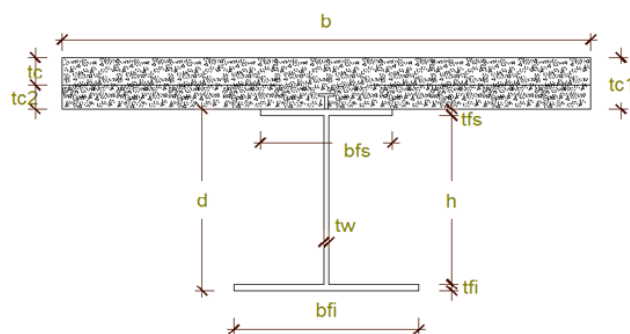
$$V_{Rd} = 1,24 \left(\frac{\lambda_p}{\lambda} \right)^2 \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}} \quad (18)$$

3.4. Compatibilização dos enrijecedores

A compatibilização consiste em determinar o melhor posicionamento dos enrijecedores transversais e longitudinais na alma da viga de aço.

Os estudos foram realizados para um vão de 20 metros, considerando a seguinte seção:

Figura 6: Seção mista considerada



Largura (influência) concreto (b):	300 cm	OK!
Espessura do Concreto efetivo (tc):	30 cm	
Espessura total de Concreto (tc1):	30 cm	
Espessura da nervura (tc2):	0 cm	
Altura do Perfil (d):	2040 mm	
Altura da Alma (h):	2000 mm	
Largura da Mesa Superior (bfs):	400 mm	
Largura da Mesa inferior (bfi):	600 mm	
Espessura da Alma (tw):	12 mm	
Espessura da Mesa superior (tfs):	20 mm	
Espessura da Mesa inferior (tfi):	20 mm	

A discretização na alma possui, entre eixos, 20 cm no sentido longitudinal da viga e 11,22 cm ao longo da altura. Na mesa inferior e superior 10 cm no sentido da largura e 20 cm longitudinal.

3.4.1. Enrijecedores transversais

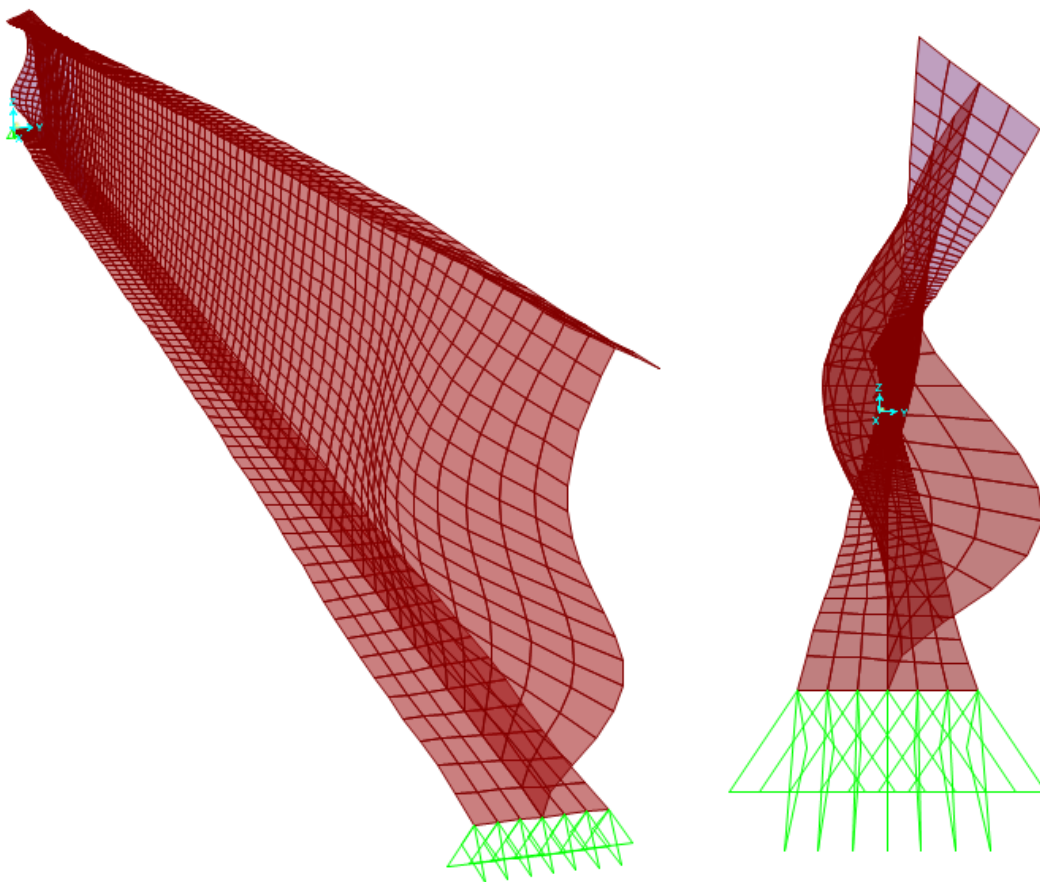
Os enrijecedores transversais, obrigatórios em vigas mistas esbeltas, são inseridos normalmente em um lado da viga, neste caso serão inseridos nos dois lado.

As principais funções dos enrijecedores transversais são:

- Garantir a estabilidade geométrica da viga de aço;
- Restringir as flambagens locais da alma (FLA); e
- Acrescer resistência ao esforço cortante.

No caso deste estudo, realizado através do método de elementos finitos, por análises não lineares, observou-se a importância da obrigatoriedade dos enrijecedores em seções esbeltas. Observando a figura abaixo, percebe-se a enorme instabilidade geométrica ocorrida apenas com o peso próprio da viga, ainda não mista.

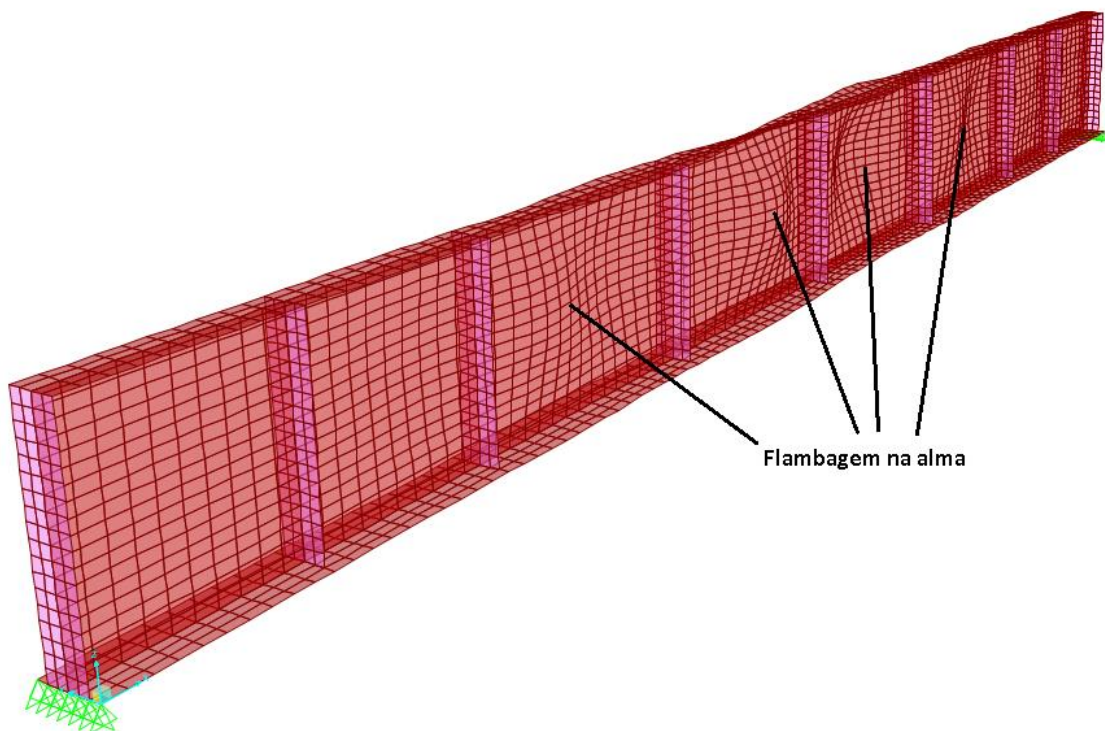
Figura 7: Instabilidade geométrica



Com a inclusão dos enrijecedores transversais, a estabilidade geométrica foi restaurada, entretanto, ocorre flambagem local da alma.

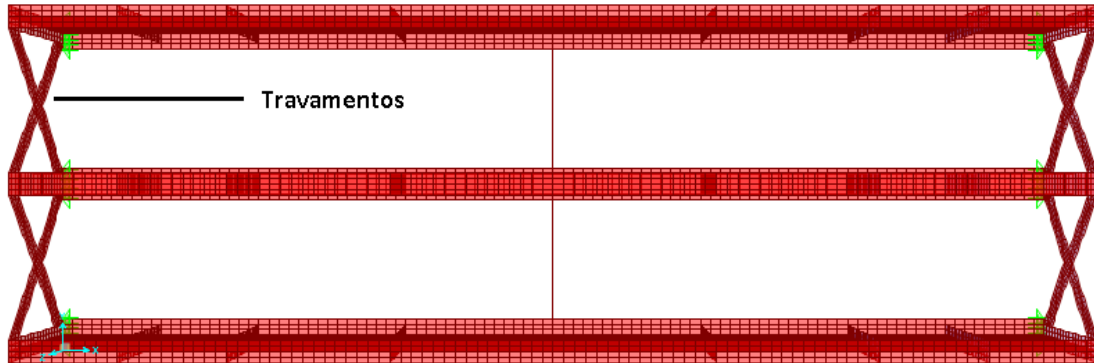
O espaçamento entre enrijecedores foi fixado em: 2m, 2m, 3m, 3m, 3m, 3m, 2m e 2m. O espaçamento máximo foi fixado em três metros, obedecendo o limite imposto pelas normas internacionais de $1,5 h$ (altura da alma). Posteriormente, serão incluídos mais enrijecedores em locais com excesso de instabilidades.

Figura 8: Flambagem local da alma



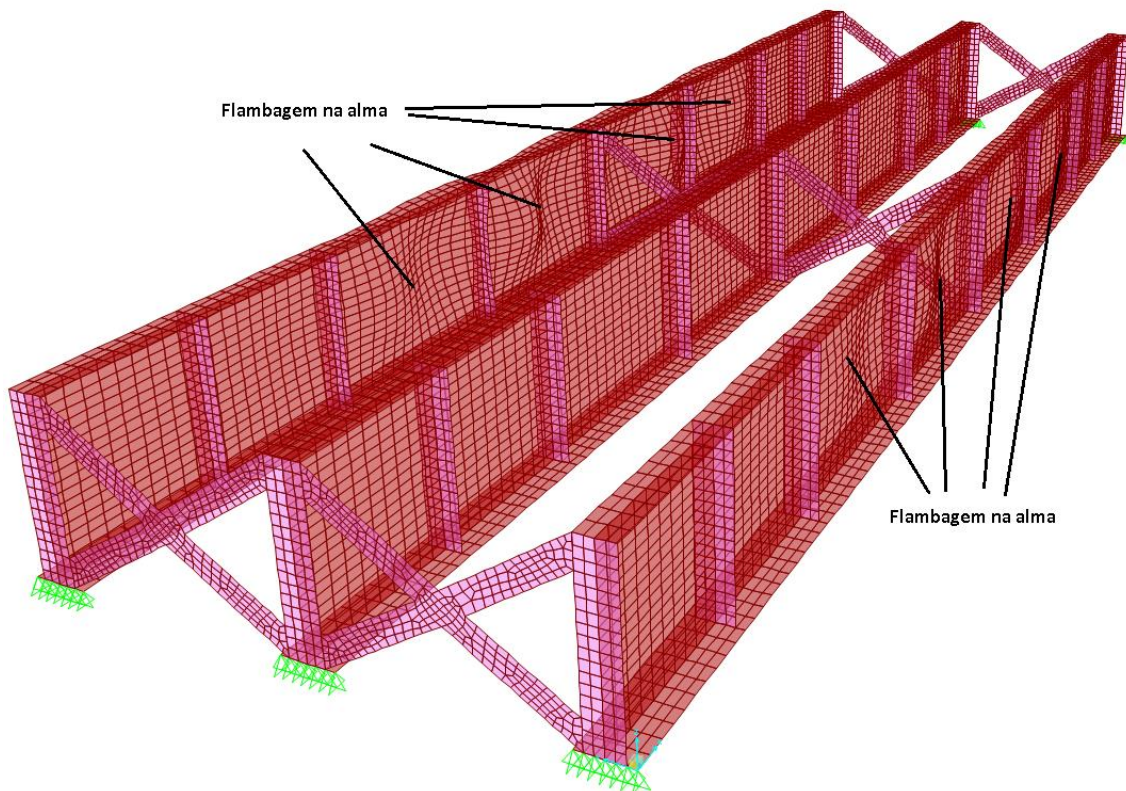
Como o intuito deste elemento estrutural é para pontes, serão incluídas mais duas vigas, cada uma distante três metros da subsequente. E, como forma de restringir uma possível Flambagem Lateral por Torção (FLT), serão inseridos três travamentos, sendo dois nos apoios e um no centro diminuindo, assim, o comprimento destravado, fator de principal influência na torção em vigas de aço.

Figura 9: Sistema de vigas, elemento não misto



Após a modelagem (Figura 10), observa-se, como esperado, ainda as instabilidades na alma.

Figura 10: Flambagem local da alma



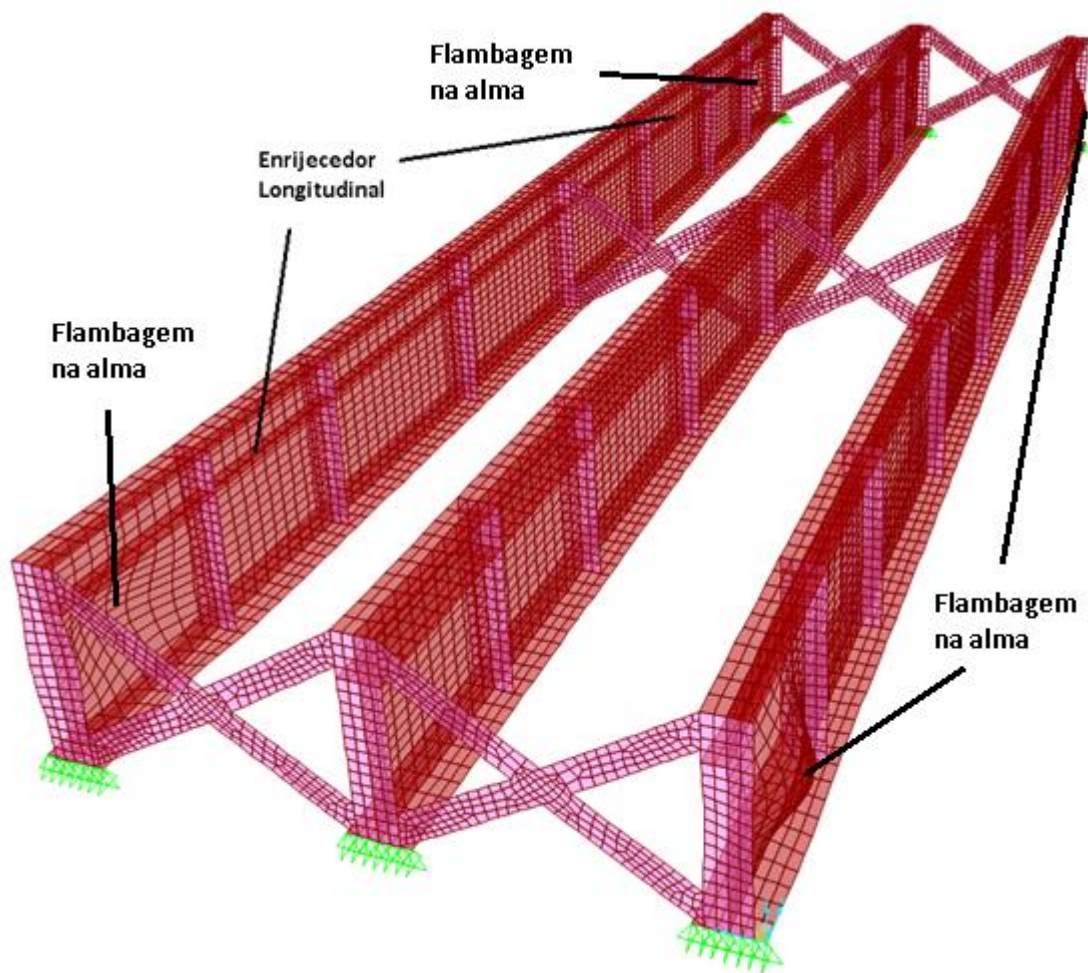
A instabilidade local da mesa, não ocorrida até o momento, é, juntamente com a lateral por torção, restringida após o elemento se tornar misto, isso se deve pelo grande aumento de rigidez que o concreto, ligado à viga de aço por conectores de cisalhamento, fornece ao elemento estrutural.

3.4.2. Enrijecedores longitudinais

Apesar de não ter tanta eficiência quanto os enrijecedores transversais, os longitudinais preenchem o espaço vazio que normalmente, como na figura 8 e 10, ocorre a flambagem da alma. A decisão mais importante a definir é qual a posição do enrijecedor longitudinal, e para isso basta analisar onde há tensão de compressão, pois as flambagens somente ocorrem em elementos comprimidos.

Portanto, a posição onde os enrijecedores longitudinais serão inseridos é acima da linha neutra, considerando, claro, que a viga é biapoiada.

Figura 11: Enrijecedores longitudinais

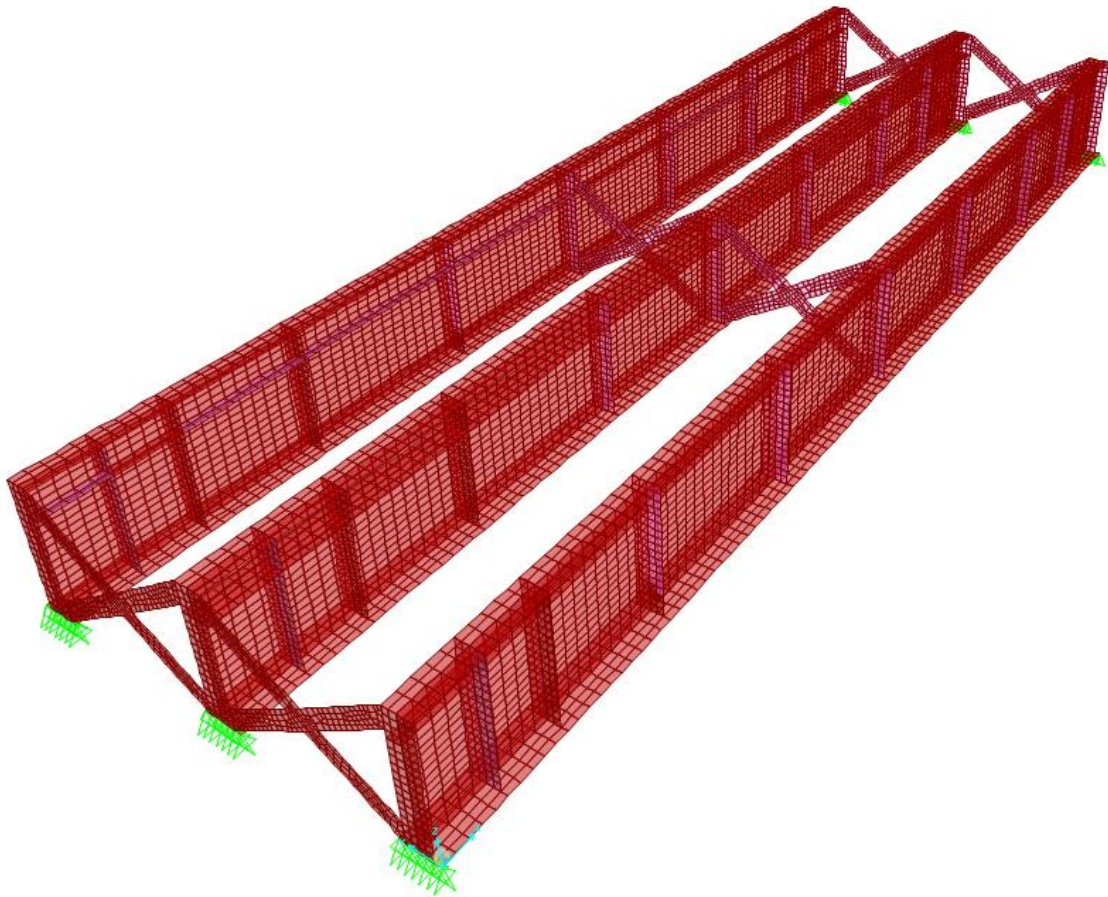


Como destacado na figura 11, a flambagem na alma no centro da viga foi restringida, porém, a instabilidade na alma continua ocorrendo, mas agora próximo ao apoio, local onde há maior esforço cortante.

Inserindo enrijecedores transversais nos pontos de instabilidades, chegou-se a estrutura compatibilizada final da situação anterior a moldagem do concreto. A carga foi aplicada e,

conforme a figura 12, não há instabilidade presente na alma, na mesa superior e nem torção lateral.

Figura 12: Compatibilização final do elemento não misto

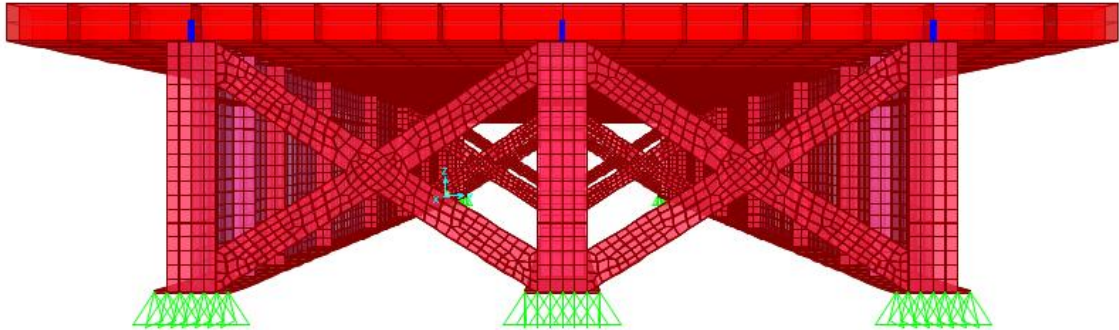


Analisando os casos já modelados, pode-se observar a importância do equilíbrio de restrições, levando em consideração, claro, os valores dos esforços ao longo da viga. A última modelagem deixou claro que esse equilíbrio não corresponde a igualdade de restrições e sim a proporcionalidade das restrições perante os esforços.

3.5. Compatibilização da viga mista

Como explanado anteriormente, quando o elemento se tornar misto a flambagem local na mesa cessará, e então será possível observar como atua a alma, já que se torna o único elemento a sofrer instabilidade local.

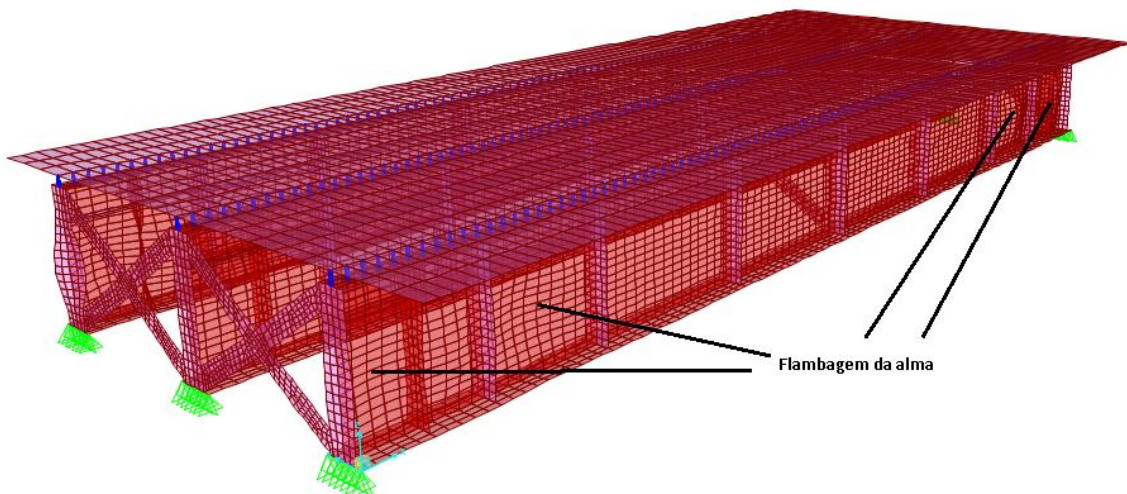
Figura 13: Vigas mistas esbeltas



A modelagem dos conectores de cisalhamento foi realizada considerando uma barra rígida de seção T, o elemento foi implantando a cada 20 cm. A modelagem foi feita de maneira a ultrapassar a disposição exata, e assim concentrar as análises nas flambagens da alma.

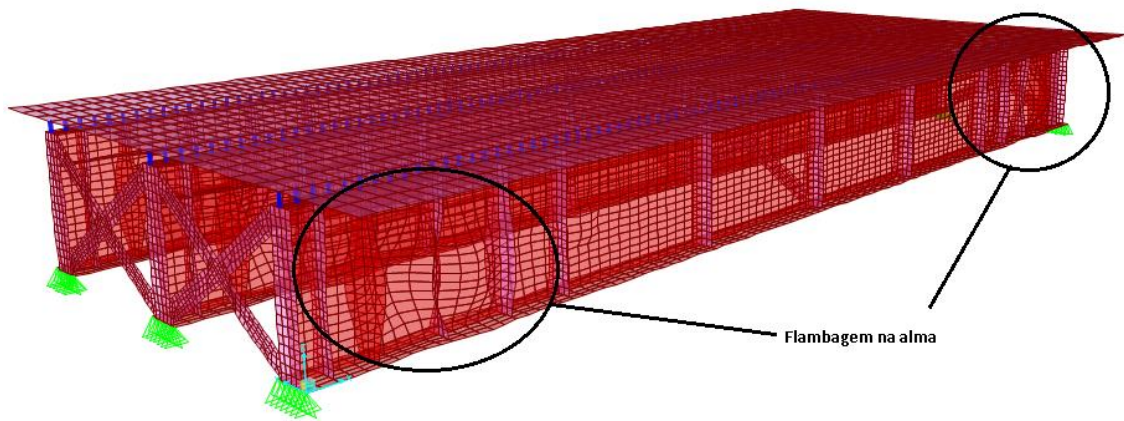
Com a aplicação de toda a carga, agora no elemento misto, observou-se total restrição das instabilidades na mesa superior e no sistema global por torção. Entretanto, como destacado na figura 14, houve flambagem local da alma próximo aos apoios. No espaçamento central não há ocorrência de flambagem, isso se deve por ser o ponto de menor esforço cortante.

Figura 14: Flambagem local na alma



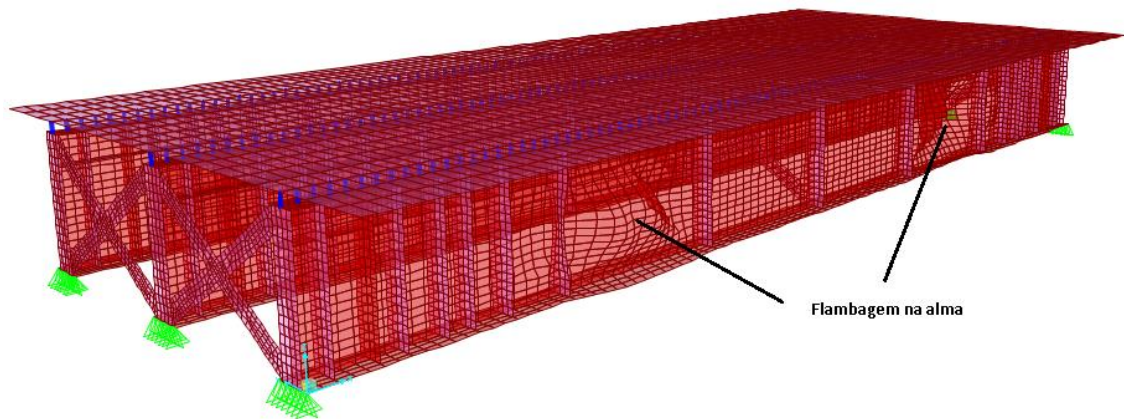
Com a adição de mais enrijecedores próximo aos apoios observou-se ainda a ocorrência de flambagem na alma, e novamente próximo aos apoios, como ilustrado na figura 15.

Figura 15: Flambagem local na alma



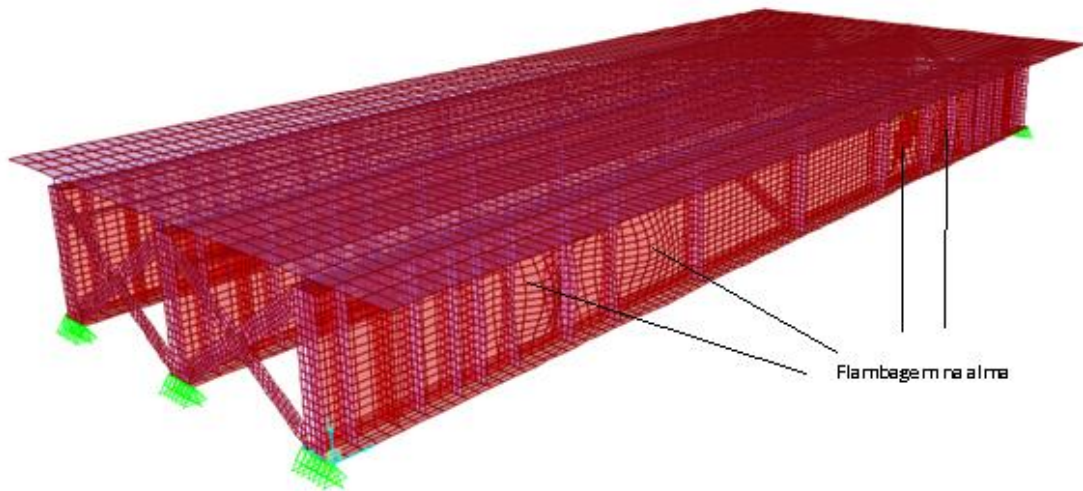
Inserindo mais quatro enrijecedores transversais observa-se apenas instabilidades nos espaçamentos intermediários, como destacado na figura 16.

Figura 16: Flambagem local na alma



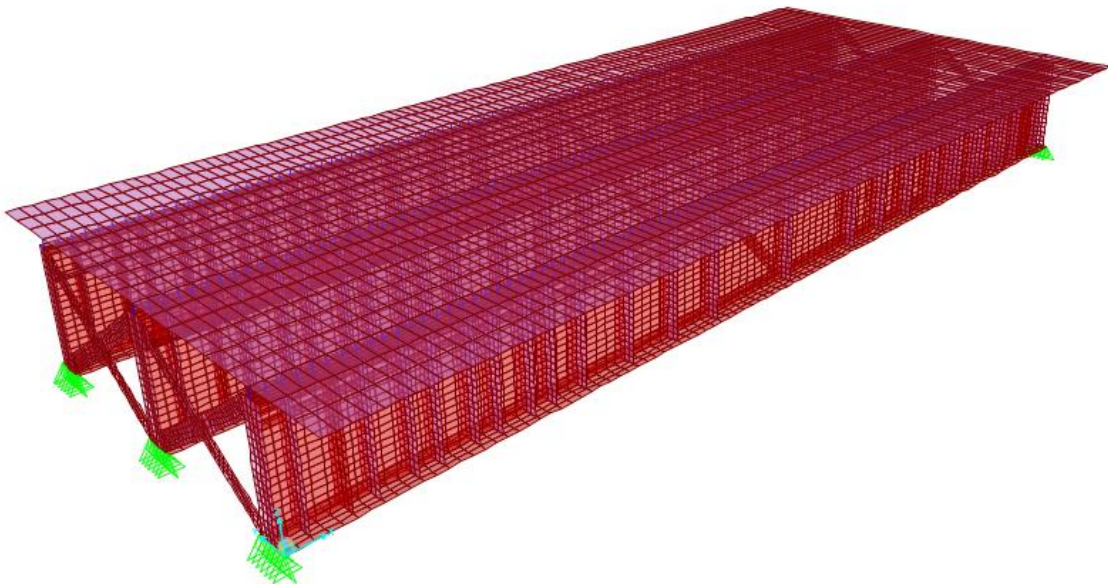
O processo permanece o mesmo, observando as instabilidades e inserindo enrijecedores, tal qual a figura 17.

Figura 17: Flambagem local na alma



Por fim, a espessura dos enrijecedores transversais, longitudinais e da alma foi aumentada de 12 cm para 16 cm, tornando a estrutura mista finalizada.

Figura 18: Compatibilização das vigas mistas concluída



4. CONCLUSÃO

Os fenômenos de instabilidades locais são o maior problema no dimensionamento de vigas mistas esbeltas. Por mais que os cálculos de momento fletor resistente, cortante resistente, verificação de tensões e resistência dos enrijecedores estejam corretos, é altamente recomendável a análise do sistema global pelo método de elementos finitos, mais especificamente através de análises não lineares, onde é possível observar os reais efeitos das distribuições de enrijecedores e travamentos.

Ficou muito evidenciado através das análises a importância do equilíbrio de restrições, ou seja, uma correta distribuição de enrijecedores e travamentos de modo a não sobrecarregar elementos menos rígidos, também ficou muito claro o posicionamento dos enrijecedores longitudinais, que devem ser fixados acima da linha neutra, onde há tensões de compressão.

Corroborando com a tese de equilíbrio de restrições, está o fato de que as instabilidades alteravam de localidade com a variação da rigidez lateral. Ficando claro também que o equilíbrio não diz respeito à igualdade, e sim a proporcionalidade das restrições com os esforços.

Como forma de estudo extensivo, há análise de simplificação do sistema de travamentos e enrijecedores, para então buscar um dimensionamento com o menor custo possível, trabalhando na alternância das seções, e não apenas na análise das instabilidades. Dessa forma, pode-se obter a real estrutura para atender as solicitações impostas nas rodovias.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS, 2012, Washington. AASHTO LRFD Bridges: Design Specifications. Washington: AASHTO, 2012. 1661
- AN AMERICAN NATIONAL STANDARD. AISC 360: Specification for Structural Steel Buildings. Chicago, 2010. 553 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. 2 ed. Rio de Janeiro, 2008. 237 p.
- DE CARLI, Arthur. Análise e Dimensionamento de Vigas Esbeltas de Aço e Mistas. 2015. 96 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2015.
- DE CARLI, A., CHAMBERLAIN PRAVIA, Z.M., Dimensionamento de vigas esbeltas mistas para obras de arte rodoviárias, Anais do IX Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas, Rio de Janeiro, 2016
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDISATION. EUROCODE 3: Design of Steel Structures. Brussels: Cen, 1993. 104 p.
- SÁLES, José Jairo de. ELEMENTOS FLETIDOS. Elementos de Estruturas de Aço: CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO DE ACORDO COM AS NORMAS ABNT NBR 8800.2008 E NBR 14762.2009, São Carlos, p.54-74, 2011. Disponível em: <http://aeasc.com.br/site/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=19&Itemid=11>. Acesso em: 25 maio 2016.