

## **Estratégia de otimização do perfil metálico de vigas mistas**

### **Optimization strategy for the steel profile of composite beams**

DOI:10.34117/bjdv8n6-272

Recebimento dos originais: 21/04/2022

Aceitação para publicação: 31/05/2022

#### **Tarcísio Gomes Parente Neto**

Acadêmico do curso de Engenharia Civil pela Faculdade Luciano Feijão

Instituição: Faculdade Luciano Feijão

Endereço: R. José Lopes Ponte, 400, Dom Expedito, Sobral - CE, CEP: 62050-215

E-mail: [tarcisiogparente@gmail.com](mailto:tarcisiogparente@gmail.com)

#### **Ésio Magalhães Feitosa Lima**

Mestre pela Faculdade Luciano Feijão

Instituição: Faculdade Luciano Feijão

Endereço: R. José Lopes Ponte, 400, Dom Expedito, Sobral - CE, CEP: 62050-215

E-mail: [esioeng@gmail.com](mailto:esioeng@gmail.com)

#### **Francisco Rosendo Sobrinho**

Instituição: Faculdade Luciano Feijão

Endereço: R. José Lopes Ponte, 400, Dom Expedito, Sobral - CE, CEP: 62050-215

E-mail: [frs\\_rosendo@hotmail.com](mailto:frs_rosendo@hotmail.com)

#### **Mariana Medeiros Ximenes**

Instituição: Faculdade Luciano Feijão

Endereço: R. José Lopes Ponte, 400, Dom Expedito, Sobral - CE, CEP: 62050-215

E-mail: [xm.mariana@gmail.com](mailto:xm.mariana@gmail.com)

#### **Saulo Passos Ramos**

Instituição: Faculdade Luciano Feijão

Endereço: R. José Lopes Ponte, 400, Dom Expedito, Sobral - CE, CEP: 62050-215

E-mail: [saulo@lf.edu.br](mailto:saulo@lf.edu.br)

#### **Rogeanne Moraes Ribeiro**

Instituição: Faculdade Luciano Feijão

Endereço: R. José Lopes Ponte, 400, Dom Expedito, Sobral - CE, CEP: 62050-215

E-mail: [rogeanemoraes@yahoo.com.br](mailto:rogeanemoraes@yahoo.com.br)

#### **Priscilla Frota Barcelos**

Instituição: Faculdade Luciano Feijão

Endereço: R. José Lopes Ponte, 400, Dom Expedito, Sobral - CE, CEP: 62050-215

E-mail: [priscilllafbarcelos@gmail.com](mailto:priscilllafbarcelos@gmail.com)

## RESUMO

As seções de vigas mistas estão sendo bastante utilizadas na construção civil, pois existem diversas vantagens a sua aplicação, como rapidez na execução, maior qualidade, maior controle, melhor resistência, facilidade de integração com outros sistemas e conforto. O estudo possui abordagem quantitativa, utilizando ferramenta do Excel, no qual foram estabelecidas funções objetivas, restrições, dados de entrada e de saída, referências necessárias para o correto procedimento de otimização. Entre os resultados encontrados, a condição para ocorrer otimização do perfil metálico se torna possível, pois com a aplicação dos dados encontrados no *Solver* é possível atingir o limite estabelecidos na NBR 8800:2008.

**Palavras-chave:** otimização da área de aço, vigas mistas, perfil metálico.

## ABSTRACT

Mixed beam sections are being widely used in civil construction, as there are several advantages to their application, such as speed in execution, higher quality, greater control, better resistance, ease of integration with other systems and comfort. The study has a quantitative approach, using an Excel tool, in which objective functions, restrictions, input and output data, necessary references for the correct optimization procedure were established. Among the results found, the condition for optimization of the metallic profile becomes possible, because with the application of the data found in Solver it is possible to reach the limit established in NBR 8800:2008.

**Keywords:** steel area optimization, mixed beams, metallic profile.

## 1 INTRODUÇÃO

A procura de projetos e construções com baixo custo e confiável, faz com que os engenheiros busquem um melhor engajamento de dimensionamento e análise na obra. A esse respeito, o crescimento da construção sobre estruturas mistas vem crescendo gradativamente no mercado para o melhor desempenho dos construtores. Diante disso, designa-se sistema misto aço-concreto aquele no qual um perfil de aço (laminado, soldado ou formado a frio) trabalha em conjunto com o concreto ou com a armadura presente no mesmo, formando assim uma viga, pilar ou laje mista.

Para o correto procedimento dessa aplicação, exige conhecimento em diversos fatores, como em *software*. Com o crescimento e aplicação dos dispositivos e mecânica computacional, facilitou bastante para soluções de impasses da análise estrutural, como os processos de otimização, sendo assim aplicável para estruturas mistas. Evidentemente, buscando alternativas possíveis e aprováveis para correta otimização, respeitando as condições de segurança.

Por esse âmbito, o bom desempenho do aço, quando submetido à tração, e do concreto, quando submetido à compressão, propõe uma grande amplificação das

estruturas mistas, desvendando diversas vantagens em analogia a estruturas de concreto armado como, redução do peso próprio, volume da estrutura, possibilidade a dispensa de fôrmas e escoramentos, menor tempo de execução, aumento da precisão dimensional da construção. Com isso, para o dimensionamento de vigas mistas não existem requisitos, leva em consideração os critérios de experiência do projetista. Diante disso, nota-se que o cálculo estrutural não é otimizado, podendo ocorrer esse fato, com os elementos estruturais dentro dos limites propostos pela norma e com dimensionamento adequado. Logo, o objetivo desse trabalho é permitido.

O objetivo do estudo é analisar o estudo de otimização do perfil metálico de vigas mistas, como também a racionalização dos custos aplicados indevidamente.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

A utilização de vigas mistas de aço e concreto se amparam nas propriedades deste dois elementos; do concreto que resiste esforços de compressão, e do aço que consegue suportar tensões de tração. Contrariando a significação do termo elementos mistos, as vigas tendem a trabalhar de forma isolada, com a função de suportar a laje. Tendo em vista estudos dentro deste campo de abordagem da construção civil é possível atribuir de forma positiva um elemento misto que consiga propriedades resistentes, eficiente e com menor custo.

Segundo Bellei, Pinho e Pinho (2008), as vigas mistas são uma alternativa importante que deve ser empregada nas edificações onde o tipo de laje adotado é adequado para utilização como parte resistente da seção da viga. Por esse âmbito, as vigas mistas são conciliadas por perfil metálico, podendo ser, laminado, isolado e dobrado, correlacionado com as lajes variando entre treliçada, maciça, *steel deck* entre outras. Essa ligação só é permitida pelo os conectores mecânicos.

Quando não embutido na laje de concreto, o perfil de aço se localiza imediatamente abaixo da face inferior da laje, seja ela de face plana ou com forma de aço incorporada (ALVA, 2000). A viga mais comum na construção civil é a viga-T. As vigas mistas biapoçadas demonstra maior benefício quando levamos em consideração a exploração da habilidade de cada material sobre a resistência. Quando submetidos a esforço de peso próprio, os elementos que compõe a peça mista exercem a função de suporte. Por tanto, possuindo momentos positivos na viga. Mas devesse-se ter em mente que vigas contínuas exercem um momento negativo, dessa forma diminuem a eficiência do elemento estrutural.

A NBR 8800 contesta a viga mista, um elemento composto por perfil de aço que apoia uma laje de concreto que está ligada a conectores de cisalhamento, possuindo como objetivo que o concreto trabalhe em compressão e o aço em tração (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008). O conector mais comum em estruturas mistas é o *Stud Bolt*, entretanto possui diversos tipos, mostrado na Figura 10.

A aplicação dos conectores é paralela ao esforço cortante das vigas mistas. Logo, a demanda dos conectores no meio do vão é baixa, em contra partida a solicitação desses conectores perto dos apoios; necessita-se colocar maiores quantidades nas extremidades do vão. Na diligência que o conector vai assumindo o limite de resistência, o esforço atuante vai transferindo-se para os demais conectores.

É possível a ruptura dos conectores, principalmente dos flexíveis do tipo dúctil, fazendo assim que a peça “avise” quando irá se corromper. A figura 11 mostra esse procedimento da ruptura com os conectores flexíveis.

## 2.1 VIGAS MISTAS BIAPOIADAS

De acordo com a NBR 8800 as vigas mistas biapoiadas são aquelas em que as ligações nos apoios podem ser consideradas como rótulas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008). Como também a mesma expressa, que para inspeção e dimensionamento das vigas biapoiadas precisa conter o método elástico simplificado e o método plástico.

Ainda sobre a NBR 8800 é dito que para os cálculos de vigas mistas dadas por classes de seções, tendo como base a relação altura/espessura da alma, tem algumas restrições, como:

- seções compactas  $\left( \frac{h}{t_w} \leq 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \right)$  (1)

- seções semi-compactas  $\left( 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \leq \left( \frac{h}{t_w} \right) \leq 7,5 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \right)$  (2)

Segundo Machado (2012) as vigas mistas biapoiadas estão sujeitas apenas a momentos fletores positivos, por consequência:

- Faz com que uma parte muito pequena da alma do perfil seja comprimida, como existe o travamento entre a mesa superior com a laje; a resistência da viga não é limitada pela flambagem.
- A solicitação de esforços na alma é menor e tem a possibilidade de execução de furos para passagens de dutos.

- Os esforços de flexão são bem determinados, tornando a execução mais simples e o dimensionamento mais rápido.
- A fissuração do concreto é menor.

As vigas mistas biapoiadas possuem a mesa superior engastada na laje de concreto, sendo assim não ocorre a flambagem lateral com torção (FLT) e a flambagem local da mesa (FLM), por tanto, as interações que podem ocorrer é a interação parcial e total.

## 2.2 COMPORTAMENTO ESTRUTURAL

A análise estrutural tem como função demonstrar os resultados provenientes de esforços de uma estrutura, observando o estado limite da peça. Entretanto, para a análise desse caso é necessário o conhecimento das interações que podem ocorrer, desta forma o grau de interação das vigas mistas pode variar, no qual essa relação está associada ao deslizamento relativo entre os elementos que compõem o elemento estrutural misto.

Segundo Malite (1990) pode ocorrer algum deslizamento relativo, mesmo no caso de conexão completa, porém o termo interação completa é utilizado, pois, entende-se que este deslizamento relativo pode ser desprezado. Nesse sentido, a interação total acontece quando as tensões elaboradas no decorrer da interface da estrutura mista são capazes de impedir o deslizamento na superfície, conseqüentemente o elemento trabalha como um só, ou seja, não ocorre descontinuidade no diagrama de deformação.

Não possuindo a interação total, sobrevém um deslizamento relativo, que no caso é a interação parcial, ou seja, intercorre quando o grau de interação está entre os limites de intervalo. A interação nula ocorre quando a laje de concreto está apenas apoiada sobre a viga de aço, surgindo tensões cortantes devido a força de atrito entre os elementos, ou melhor, é quando não possui interação entre as peças estruturais; ocorrendo o trabalho isolado de cada elemento. Essa força é tão pequena que o torna desprezável, desta forma nula.

Todavia precisa levar em consideração no processo de projeto das estruturas mistas o grau de conexão que tem como conceito uma relação entre o somatório dos esforços estruturais de cada conector e a força de cisalhamento atuante, no qual essa força é proveniente da interação total.

De acordo com Queiroz, Pimenta e Mata (2001), o comportamento misto é

desenvolvido quando dois elementos estruturais são ligados de tal forma, que se tornam um único elemento. A esse respeito, os elementos estruturais aço e concreto para ser considerado misto é preciso que ambos atuem como um único elemento.

A esse respeito, a soma da resistência de todos os conectores cisalhantes deverá ser maior do que as tensões exercidas na viga. Caso contrário, é considerada interação parcial, pois estará entre os limites de intervalo.

Outro aspecto importante entre a interação aço e concreto são os conectores que possuem grande importância para o comportamento estrutural da peça, pois com a correta aplicação do conector evita o deslizamento na superfície, proporcionando um melhor desempenho da peça. Logo é necessária uma correta conexão entre os elementos, pois a deformação tem que ser em um único elemento. Caso contrário, a deformação será em cada elemento, sendo assim não é considerado um elemento misto. A figura 13 mostra uma viga bi apoiada e uma laje de concreto, onde a deformação é isolada e em conjunto.

### 2.3 INTERAÇÃO PARCIAL

A interação entre a superfície dos elementos que compõe é relacionada em função da quantidade e do tipo de conectores. A esse respeito, esses conectores têm como função suportar os esforços de cisalhamento produzidos a partir da interface, sendo assim impedindo por completo ou parcialmente os deslocamentos longitudinais e impedir a separação vertical entre os materiais.

Entretanto a interação parcial ocorre quando as tensões longitudinais da interface são incapazes de resistir a força cortante entre a laje e o perfil metálico. Dessa maneira ocorre a deformação dos conectores. Por consequência, proporcionando um deslocamento.

Partindo do pressuposto da cinemática de Newmark, Siess e Viest (1951) existe a possibilidade de encontrar os valores para o deslocamento relativo na interface dos materiais de uma viga mista de forma bastante simples, a partir de formulações trigonométricas. A Figura 15 mostra os deslocamentos propostos por Newmark, Siess e Viest (1951), de uma seção mista em uma interação parcial.

A presunção é ligada nas ideias de Euler-Bernoulli, no qual as seções planas continuam planas e perpendiculares a um eixo de referência após a atuação de forças que submetem a deformação da peça.

“Na interação parcial percebe-se um deslocamento entre a viga e o perfil metálico, por consequência possuindo uma descontinuidade no diagrama de deformidade, sendo

assim ocorrea ruptura da ligação. A resistencia ao momento fletor e a rigidez da viga é inferior ao obtido pela interação completa” (ALVA, 2000, p. 34).

A interação total ocorre quando as tensões ocorridas ao longo da interface do elementomisto, no qual essas forças são, de atrito, ligações químicas e mecânicas, no qual essas tensõesevitam o deslizamento na interface, sendo assim a peça trabalha como um único elemento.No tocante a esse tipo de interação, é assinalado por possuir uma ‘ligação perfeita’ entre o perfil metálico e concreto, não possuindo deslocamentos na direção longitudinal e transversal. Para um elemento ser considerado com uma interação total é necessário a utilização de um número adequado de conectores.Em relação ao momento fletor de uma viga biapoiada com interação total é um dos exemplos mais práticos e eficaz para demonstrar a situação de elementos estruturais submetidos a momentos fletores positivos.

#### 2.4 LIGAÇÕES MISTAS

A presença de barras de aço nos apoios da viga, faz com que aumente a rigidez e resistência da peça de absorver esforços cisalhantes, como também equivale a continuidade daviga na região da ligação.A área de aço é o elemento que resiste ao esforço de tração da ligação mista na parte superior da viga, já a parte inferior da viga é responsável pela submissão de esforços de compressão, com isso formando um binário de força.

Logo, diversas soluções foram encontradas na literatura, como a utilização de chapas para preenchimento na região da mesa inferior, ou por transferência de força por contato entrea mesa inferior e o pilar ou viga. Como também, a exploração das cantoneiras da alma, a partirda adição de uma cantoneira parafusada à mesa inferior, deste modo aumentando a resistência da peça, por consequência evitando a flambagem lateral da mesa e aumentando o braço de alavanca. O uso da cantoneira parafusada na alma contém um crescimento da resistência ao momento fletor. Leon (2001) afirma que a ligação de resistência parcial mencionada é economicamente interessante, no que foi mencionada a respeito tanto à fabricação, quanto à montagem.

Se ocorresse o uso de ligações sem continuidade total ao sistema, ficaria não usual a chapas espessas, sendo assim ocorrendo a redução do peso da estrutura. Por consequência tornando-se a estrutura mais viável e econômica.

## 2.5 DIMENSIONAMENTO DE VIGAS MISTAS

As vigas mistas têm como definição, elementos formados por concreto e aço, no qual existem a interação entre ambos os materiais, que são utilizados de maneira a explorar as características de cada um. A esse respeito, essa definição engloba o conceito de concreto armado, todavia, as estruturas mistas são aquelas onde se faz uso de perfis estruturais metálicos interagindo com o concreto por meio de ligação mecânica entre os dois materiais (MALITRE, 1990).

Esse tipo de interação é de grande importância para dimensionar cada material e seus esforços que estão sujeitos. No caso desse trabalho será analisada tanto interação total como interação parcial.

A NBR 8800:2008 cita que as vigas biapoiadas são aquelas em que as ligações nos apoios podem ser consideradas como rótulas, ou seja, despreza-se a armadura da laje de concreto no dimensionamento da viga (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008). Algumas considerações deverão ser verificadas antes do dimensionamento segundo a NBR 8800:2008, são elas:

Com a aplicação dessas considerações iniciais, pode-se iniciar o processo de dimensionamento da estrutura. Esses requisitos são essenciais para o dimensionamento das vigas mistas, pois é a partir dela que essas estruturas conseguem ficar estáveis e para receber esforços que atuam sobre ela.

## 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O trabalho possui abordagem quantitativa. Para Mattar (2001), a pesquisa quantitativa busca a validação das hipóteses mediante a utilização de dados estruturados, estatísticos, com análise de um grande número de casos representativos, recomendando um curso final da ação. O caráter da pesquisa é experimental, pois é aplicada nos cálculos algumas variáveis para medir um resultado. A pesquisa experimental consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto (GIL, 2007).

Para a mensuração dos cálculos foi utilizado o Excel 2016, especificamente a ferramenta Solver a fim de verificar se as restrições estão de acordo com os demais dados estabelecidos. A metodologia aplicada durante a solução foi a GRG não linear.

O trabalho possui origem primária de dados pela NBR 8800:2008, como também dados padrões construtivos, no qual esses elementos obtidos foram organizados com o



intuito de aplicar a otimização do perfil metálico (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008). As variáveis utilizadas no trabalho foram: a função objetivo, as restrições tanto para interação total como para a parcial, dados de entrada e dados de saída. Todos esses dados foram extraídos da NBR 8800:2008, para manter a autenticidade da pesquisa ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008). Por esse âmbito, o trabalho busca a otimização da área de aço, a partir da função objetivo.

Entretanto, em primeiro plano os valores das restrições estabelecidas pela NBR 8800:2008 é o indício do trabalho, valores nos quais são essenciais para veracidade do mesmo. Como também a função objetivo, esses dois processos (restrições e a função problema) são ideais para começar o processo de otimização. A esse respeito, com os dados de entrada (dados dos materiais, laje, perfil, vão, pinos, Msd) e os dados de saídas (fórmulas para verificação) obteremos resultados para fazer o estudo da veracidade sobre as restrições estabelecidas

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a NBR 8800:2008, se a obra não for escorada é necessário verificar de forma isolada se a viga de aço é capaz de suportar as ações das etapas da construção. Fazendo analogia sobre esse trecho, o trabalho apresentado vai ser representado sem escoramento.

Sendo assim, a viga é necessária adotar alguns requisitos para o correto procedimento da obra. Que são representadas por:

- a) VERIFICAÇÃO DA FLAMBAGEM LATERAL DA ALMA (FLA):

$$\left( \frac{M}{I_y} \right) \leq 3,76 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (6)$$

- b) VERIFICAÇÃO DA FLAMBAGEM LATERAL DA MESA (FLM):

$$\frac{M}{I_y} \leq \lambda_p = 0,38 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \lambda = \frac{b_f^2 t_f^3}{I_y} \quad (7)$$

c) VERIFICAÇÃO DO MOMENTO RESISTENTE DO PERFIL DE AÇO ISOLADO:

$$M_{rd} = \frac{M_{pl}}{1,1} \quad (8)$$

Onde  $M_{pl}$  é:

$$M_{pl} = Z \times f_y = [b f \times t f (d - t f) + \frac{t_w (d - 2 t f)^2}{4}] \times f_y \quad (9)$$

$Z$  é o modulo de Resistência Plástico.

#### 4.1 PARÂMETROS PARA A PLASTIFICAÇÃO NA SEÇÃO DE CONCRETO

Para possuir conhecimentos sobre os parâmetros ideais para a correta plastificação do concreto, é de grande importância saber o significado do termo “plastificação”. Que tem como conceito a redistribuição dos esforços de momentos fletores. No qual essa redistribuição ocorre por meio da criação de rótula plástica nos apoios, por consequência ocasionando uma redistribuição de esforços, transferindo uma parcela dos momentos negativos para os momentos positivos.

Em relação aos conectores esse termo é ideal, pois a distribuição de esforços para os demais conectores próximos é importante para que não ocorra o rompimento de alguns conectores.

Como nesse trabalho a construção não é escorada, o perfil de aço deve resistir isolado o concreto fresco, peso da forma e a sobrecarga da construção. Logo, deve-se analisar o perfil quanto a flambagem local da mesa e da alma, flambagem lateral com torção, plastificação da seção pela ação do momento fletor, escoamento e flambagem por cisalhamento (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008).

A seção O.2.3.1.1.1 da NBR 8800:2008 apresenta os requisitos para que ocorra a plastificação na seção de concreto. As condições são apresentadas abaixo.

$$\Sigma Q_{rd} \geq A_a \times f_{yd} \quad (10)$$

$$0,85 \times f_{cd} \times b \times t_c \geq A_a \times f_{yd} \quad (11)$$

Entretanto, a imagem em que a linha neutra plastifica na laje, ocorre a possibilidade de calcular o momento resistente da viga mista, utilizando a equação de equilíbrio na seção. Os métodos para o cálculo são esses:

$$C_{cd} = 0,85 \times f_{cd} \times b \times a \quad (12)$$

$$a = \left( \frac{T_{ad}}{0,85 \times f_{cd} \times b} \right) \leq t_c \quad (13)$$

$$T_{ad} = \left( \frac{A_a \times f_y}{1,1} \right) \quad (14)$$

Logo, a expressão do momento resistente para a viga mista é:

$$M_{rd} = \beta_{vm} \times T_{ad} (d_1 + hf + t_c - \frac{a}{2}) \quad (15)$$

Onde:

$\beta_{vm}$  - Usado para vigas biapoiadas é igual a 1

$hf$  - É a espessura da pré-laje pré-moldada de concreto ou a altura das nervuras da laje com fôrma de aço incorporada (se não houver pré-laje ou fôrma de aço incorporada,  $hf$  é igual a 0).

No dimensionamento da viga não é considerado a contribuição da resistência da laje de concreto, levando em consideração apenas a área do perfil de aço e área de armaduras longitudinais existente. A esse respeito, o cálculo da resistência é realizado a

partir das normas da NBR 8800:2008. De acordo com as restrições estabelecidas, caso elas não forem atendidas, o dimensionamento deverá ser feito utilizando as propriedades elásticas da seção.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para comparação de uma viga mista otimizada com uma viga mista não otimizada, foi considerado um momento solicitante aleatório de 382500 N.m e um vão aleatório de 8,82m. Para a viga não otimizada foi considerado um perfil com base na experiência empírica do projetista para atender a esta situação, que é o W 530 x 66,0.

Apresentadas as restrições estabelecidas para a otimização do perfil metálico em vigas mistas é possível que ocorra esse processo, pois é a partir dessas restrições que será possível analisar se a racionalização da área de aço vai ser aprovado ou não pelas normas estabelecidas pela NBR 8800.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi alcançado, uma vez que o perfil metálico da viga mista foi otimizado reduzindo os custos finais e atendendo as restrições. O levantamento e a análise de dados para a confecção deste trabalho foram positivos e contribuiu para o conhecimento do dimensionamento de vigas mistas com interação total e parcial.

A interação parcial teve uma área otimizada menor do que a interação total. Já a quantidade de pinos na interação total é superior do que na interação parcial. Essa constatação está de acordo com as normas descritas pela NBR 8800:2008.

No entanto, ocorreram algumas limitações na pesquisa, possuem diversas maneiras para o procedimento de otimização das estruturas mistas, sendo algumas que modifica a resistência do material, como o intuito da pesquisa é manter as restrições da norma, sem afetar o produto, a melhor escolha foi a racionalização da área de aço. Com isso, limitado na otimização do perfil metálico.

Conclui-se que o processo de otimização quando utilizado corretamente reduz efetivamente os gastos finais do projeto. Sugere-se então que este procedimento deveria ser abordado por todos os engenheiros que prezam um bom serviço. A resposta do *Solver* mostrou as dimensões do perfil otimizado, porém as dimensões encontradas em algumas situações, não são confeccionadas pelas siderúrgicas, e isso fez com que fosse utilizado um perfil com área de aço levemente superior.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800 – Projeto de estruturas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro, 2008.

BELLEI, I. H; PINHO, F. O; PINHO, M. O. **Edifícios de múltiplos andares em aço**. 2 ed. São Paulo: Pini, 2008.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2007.

LEON, R. T. Uso de Estruturas Metálicas na Construção Civil, Design of PR Composite Connections. **IV Seminário Internacional**, I CICOM, O, São Paulo, SP, Brasil, 2001.

MACHADO, R. T. Análise da Viabilidade Econômica do Projeto Estrutural de Edifícios de Múltiplos Andares com Estrutura de Aço. 297 f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

MALITE, M. Sobre o cálculo de vigas mistas aço-concreto: ênfase em edifícios. 1990. 144p. **Dissertação** (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1990.

NEWMARK, N. M; SIESS, C. P; VIEST, I. M. Test and analysis of composite beam with incomplete interaction. **Proc Soc Exp Stress Anal**, v. 9 p. 75-92, 1951.

QUEIROZ, G; PIMENTA, R. J; MATA, L. A. C. **Elementos das Estruturas Mistas Aço-Concreto**. Belo Horizonte: Editora O Lutador, 2001. 336 p.