

**INSTITUTO ENSINAR BRASIL
CENTRO UNIVERSITÁRIO DOCTUM DE TEÓFILO OTONI**

**ALEX DE OLIVEIRA GOMES
AMANDA MARTINS COSTA
ARLINDO FILHO PEREIRA FRANCA**

**ESTUDO DA APLICABILIDADE DAS ESTRUTURAS MISTAS DE AÇO E
CONCRETO EM EDIFÍCIO COMERCIAL DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS EM
TEÓFILO OTONI - MG**

TEÓFILO OTONI

2019

**ALEX DE OLIVEIRA GOMES
AMANDA MARTINS COSTA
ARLINDO FILHO PEREIRA FRANCA**

CENTRO UNIVERSITÁRIO DOCTUM DE TEÓFILO OTONI

**ESTUDO DA APLICABILIDADE DAS ESTRUTURAS MISTAS DE AÇO E
CONCRETO EM EDIFÍCIO COMERCIAL DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS EM
TEÓFILO OTONI - MG**

**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
do Centro Universitário Doctum de Teófilo
Otoni, como requisito parcial à obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.**

**Área de Concentração: Estrutura de Aço e
Concreto.**

Orientador: Prof. MSc Glaucimar Dutra

TEÓFILO OTONI

2019

ESTUDO DA APLICABILIDADE DAS ESTRUTURAS MISTAS DE AÇO E CONCRETO EM EDIFÍCIO COMERCIAL DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS EM TEÓFILO OTONI - MG

Alex de Oliveira Gomes

Centro Universitário Doctum, Teófilo Otoni- MG, Brasil, aalexgomes1994@gmail.com

Amanda Martins Costa

Centro Universitário Doctum, Teófilo Otoni- MG, Brasil, Amanda-Martins_@hotmail.com

Arlindo Filho Pereira Franca

Centro Universitário Doctum, Teófilo Otoni- MG, Brasil, arlindoegc@gmail.com

RESUMO

Este trabalho aborda a aplicação da estrutura mista de aço e concreto, em um edifício comercial de múltiplos pavimentos com estrutura de aço, existente na cidade de Teófilo Otoni - MG. Através da locação dos elementos estruturais, do pré-dimensionamento das lajes Steel Deck, vigas mistas e pilares mistos, foi feito um estudo comparativo no qual são contemplados aspectos como dimensões da seção transversal, consumo de aço, consumo de concreto. Os resultados comparativos apontam que a utilização de pilares mistos totalmente revestido leva a substancial redução do consumo de aço, mas não a redução do peso total da estrutura, para as estruturas mistas de aço e concreto quando comparadas com a estrutura de aço. Recomenda a realização do dimensionamento da estrutura, pois os valores obtidos nesse trabalho foram pré-dimensionados.

PALAVRA CHAVE: Estrutura de aço. Estrutura mista de aço e concreto. Lajes Steel Deck. Vigas mistas. Pilares mistos. Consumo de aço. Consumo de concreto.

ABSTRACT

This work deals with the application of the mixed steel and concrete structure in a multi - storey steel structure commercial building, existing in the city of Teófilo Otoni - MG. Through the location of the structural elements, the pre-dimensioning of the Steel Deck slabs, mixed beams and mixed columns, a comparative study was carried out in which aspects such as cross-sectional dimensions, steel consumption, concrete consumption are considered. Comparative results indicate that the use of fully coated mixed columns leads to a substantial reduction in steel consumption, but not a reduction in the total weight of the structure, for mixed steel and concrete structures when compared to the steel structure. It is recommended to perform the sizing of the structure, because the values obtained in this work were pre-dimensioned, ie the values found were estimated.

KEYWORDS: Steel structure. Mixed structure of steel and concrete. Steel Deck Slabs. Mixed beams. Mixed Pillars. Consumption of steel. Consumption of concrete.

1 INTRODUÇÃO

Nota-se que atualmente a busca por informações, tecnologia e por inovações é cada vez maior em todos os mercados. Na construção civil não é diferente, esse mercado vem buscando alternativas construtivas que visam trazer um maior desempenho da obra, maior segurança, menor prazo de execução e principalmente economia. No Brasil predomina ainda a cultura de obras em sistema estrutural de concreto armado, provado ser um sistema eficiente e consagrado, mostrando que a combinação do concreto e de barras de aço, além de proporcionar resistência apresenta soluções arquitetônicas interessantes e principalmente, à grande abundância da matéria prima presente no país.

Entretanto, se faz necessário que tenha opções construtivas diferentes e modernas no mercado, de modo que, possa escolher o tipo de sistema estrutural que melhor atende e que trará mais benefícios tanto para o empreendimento, como para o empreendedor. E para tal escolha é necessário fazer um comparativo entre os sistemas estruturais existentes e analisar vantagens construtivas e também econômicas.

Visto que cada tipo de sistema estrutural possui características distintas, soluções mistas começaram a ser empregadas a fim de aproveitar o melhor oferecido por cada sistema estrutural. As estruturas mistas são formadas pela associação de perfis de aço e concreto estruturais, de modo que estes trabalhem em conjunto para resistir aos esforços solicitantes. Esse sistema é consagrado em outros países, à utilização de sistemas mistos amplia consideravelmente a gama de soluções estruturais e vem sendo muito aplicado no Brasil. Com a atualização feita pela NBR 8800 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008), os elementos (vigas, lajes e pilares) passaram a ser abordados com maior ênfase. Com isso o interesse sobre o referido sistema cresceu, bem como os estudos relacionados ao assunto.

Este estudo visa à aplicabilidade da estrutura mista de aço e concreto em um edifício de múltiplos pavimentos em Teófilo Otoni – MG. O objetivo desse estudo é aplicar em uma estrutura de aço já existente, a estrutura mista de aço e concreto realizando sua concepção e comparação entre as duas estruturas em relação às disposições dos elementos estruturais e o peso da estrutura. Portanto a pesquisa é classificada como um estudo de caso, em que realiza um estudo em um edifício existente em estrutura de aço em Teófilo Otoni.

1.1 Sistemas Estruturais

As estruturas são conjuntos de armações que forma o esqueleto de uma obra, responsáveis por dar sustentação para que a obra permaneça no lugar, sem sofrer instabilidade e ruptura. Capazes de absorver as cargas emitidas pela construção e distribuí-las ao solo (GONÇALVES, 2015).

Devido ao grande êxodo da população rural para os centros urbanos, ocasionando assim uma aglomeração populacional. Surgiu a necessidade de inovar e aplicar nas construções de edifícios, novos materiais, formas e técnicas, para atender mais rapidamente a ocupação dos habitantes. A partir daí, surgiram novos métodos construtivos e novas tecnologias, e os sistemas estruturais alcançaram um alto patamar de desenvolvimento.

Existem diversos fatores importantes a serem considerados na escolha de uma estrutura adequada para uma construção, que torna uma questão não simples. Tais como, conciliar o sistema com a funcionalidade do edifício, escolher materiais, arranjar os elementos de forma eficiente é de grande relevância para oferecer estruturas mais racionais e econômicas (ALVA, 2000).

Encontra-se diversos tipos de estruturas, onde as mais utilizadas atualmente são: em concreto, em aço e em elementos mistos de aço e concreto. A cultura de utilização de estruturas de concreto armado ainda é predominante no Brasil, mesmo atualmente. As estruturas dos edifícios de múltiplos pavimentos são, em maior parte, de concreto armado ou

protendido, moldadas no local ou até mesmo moldadas fora do canteiro (pré-fabricadas) (S. JÚNIOR, 2015).

Entretanto, com a tendência do setor construtivo em expandir o nível de industrialização, estudos verificaram a viabilidade do aço, bem como os benefícios que este material atribuiria ao sistema como um todo. Recentemente no Brasil, este material passou a ser utilizado nas estruturas de edifícios, desde então atravessa um período de grande expansão, no entanto a sua utilização ainda se dá em menor frequência que o concreto (INABA, 2015).

Considerando que o aço e o concreto são os dois materiais estruturais mais utilizados na construção civil, possuem características distintas que, por sua vez, podem proporcionar benefícios ao edifício em conjunto, outro sistema estrutural passou a fazer parte da lista dos existentes: o sistema estrutural misto em aço e concreto. Devido esse sistema conseguir explorar as vantagens de cada material (aço e concreto) e direcioná-las em um único elemento. As estruturas mistas vêm ganhando espaço no mercado brasileiro de construção civil, apresentando-se como uma competitiva solução estrutural para o futuro próximo das construções.

1.1.1 Estruturas de Concreto

O concreto é um dos materiais mais utilizado para realização das construções civis. O desenvolvimento desse material veio mediante a civilização humana até chegar à sua forma básica, de uma mistura de aglomerantes (cimento), agregado miúdo (areia), agregado graúdo (pedra ou brita) e água, que são atualmente os mais utilizados para a construção dos mais diversos tipos de estrutura (GONÇALVES, 2015). Pode obter uma esquematização do concreto como:

$$\text{Concreto} = \text{cimento} + \text{areia} + \text{pedra} + \text{água}.$$

A pasta formada pelo cimento e água atua envolvendo os grãos dos agregados, enchendo os vazios entre eles e unindo esses grãos, formando uma massa compacta e trabalhável. Depois de misturado, obtém um concreto fresco, material de consistência mais ou menos plástica que permite a sua moldagem em fôrmas. Ao longo do tempo, o concreto endurece em virtude de reações químicas entre o cimento e a água (hidratação do cimento), assim aumentando sua resistência (JÚNIOR, 2015).

A grande utilização do concreto deu-se, e ainda se dá por suas diversas características presentes, tais como: elevada resistência mecânica, baixo custo, adequabilidade de formas e sua resistência. A resistência do concreto está associada com o passar do tempo, propriedade esta que o diferencia dos demais materiais de construção. O concreto possui uma propriedade marcante que é a sua elevada resistência aos esforços de compressão, já a sua resistência aos esforços de tração é baixa, correspondendo à cerca de 10% da resistência à compressão (S. JÚNIOR, 2015).

Diante disso, optou-se como solução, utilizar juntamente com o concreto, barras de aço (material este, eficiente aos esforços de tração), De modo que esse conjunto de barras de aço forma a armadura, que preenchidas pelo concreto da origemem ao chamado “Concreto Armado”, que torna uma combinação muito eficaz e difundido nos amplos tipos de obras (KAEFER, 1998), como mostra a figura 1.



Figura 1. Estrutura em concreto armado (South, 2016).

O amplo uso do sistema estrutural de concreto armado no Brasil, é devido à diversas vantagens pontuais que este sistema apresenta, tais como: obtenção de uma elevada resistência à compressão; Resiste aos esforços de tração, devido sua armação, durabilidade - a resistência do concreto aumenta com o tempo, adaptação a qualquer tipo de fôrma, manutenção e conservação praticamente nulas, resistência ao fogo, impermeabilidade, resistência aos desgastes mecânicos (choques, vibrações), facilidade de execução (fácil emprego e manuseio); em muitos casos os agregados podem ser obtidos no próprio local da obra e não exige mão de obra especializada.

Apesar de tantas vantagens fazendo com que o concreto armado seja hegemônico no Brasil. Esse composto apresenta também algumas desvantagens sendo elas: No meio ambiental, em uma construção com estrutura em concreto armado pode gerar muitos resíduos e lixo; Sua estrutura tem um elevado peso próprio; Possui dificuldades na execução de reformas e adaptações, tornando-se muito das vezes trabalhosa e/ou inviável com custo elevado; Não possui isolamento térmico e acústico, sendo assim um bom condutor de calor e sonoridade; Necessidade de fôrmas e escoras.

A despeito do uso do concreto como material de construção estar consolidado no país, verifica-se que há constante busca e difusão das informações concernente à utilização de outros sistemas construtivos, como é o caso das estruturas metálicas e as estruturas mistas, que serão destacadas nos próximos itens.

1.1.2 Estruturas Metálicas

Estruturas em aço transmitem beleza, leveza, flexibilidade e rapidez, atributos que fazem do aço uma das opções atrativas para o uso na construção civil, pois têm possibilitado aos arquitetos, engenheiros e construtores, soluções arrojadas, eficientes e de alta qualidade. Mediante a sua capacidade na linguagem estética de expressão marcante como pode ser analisado na figura 2.



Figura 2. Estrutura metálica - Peace Bridge – Georgia (Alberto, 2017).

Os aços utilizados na construção civil, os chamados aços estruturais, são aqueles que, devido à suas propriedades de resistência, ductilidade, entre outras, são adequados para a utilização em elementos que suportam cargas. São apresentados nas normas de dimensionamento NBR 8800, AISC/LRFD e AISI/LRFD e são classificados em diversos tipos. As propriedades mecânicas definem o comportamento do aço quando sujeito a esforços mecânicos e determinam a capacidade do material de resistir e transmitir os esforços aplicados sem que haja ruptura ou deformação excessiva (TEOBALDO, 2004).

Os principais requisitos para os aços destinados à aplicação estrutural são: elevada tensão de escoamento, elevada tenacidade, boa soldabilidade, homogeneidade micro estrutural, susceptibilidade de corte por chama sem endurecimento e boa trabalhabilidade em operações tais como corte furação e dobramento, sem que se originem fissuras ou outros defeitos (CBCA, 2014).

No Brasil, as estruturas em aço são muito empregadas em galpões industriais, plataformas petrolíferas, edificações comerciais baixas (como centro de compras, revendedoras de veículos etc), ginásios de esportes, construções para eventos, espetáculos e torres para transmissão de energia elétrica e telecomunicações. No entanto, seu uso ainda é relativamente pequeno nas pontes e muito reduzido em edifícios altos residenciais, comerciais e públicos.

1.1.3 Estruturas Mistas (Perfil de Aço-Concreto)

É possível utilizar os dois materiais estruturais mais empregados na construção civil e uma mesma estrutura, sendo está aço-concreto, essa utilização conjunta pode se dar na forma de estruturas híbridas ou estruturas mistas.

As estruturas mistas de aço e concreto são formadas pela associação de perfis de aço com o concreto estrutural - Figura 3, de modo que trabalhem conjuntamente para resistir aos esforços solicitantes. Neste modelo estrutural, a interação entre os dois materiais é fator determinante para que se constitua estrutura mista. Desta forma é extremamente importante que exista uma deformação conjunta entre eles (ALVA; MALITE, 2005).



Figura 3. Estrutura mista de aço/concreto (Santos, 2017).

O princípio das estruturas mistas de aço-concreto está na sua capacidade de destinar os esforços específicos para cada material, aproveitando suas propriedades. Aplicadas de maneira correta, torna-se uma estrutura eficiente, pois permite que cada elemento seja solicitado de acordo com suas propriedades específicas, garantindo resistência mecânica, estabilidade, rigidez, resistência à fissuração e a deslocamentos excessivos (CHAVES, 2009).

1.1.3.1 Vigas Mistas

O primeiro sistema de viga mista aconteceu na década de 1920, onde a viga era formada por perfil I metálico todo coberto por concreto, entretanto ao passar esse sistema mostrou-se ineficiente para cargas móveis, a partir de 1930 inúmeros estudos foram realizados para que esse sistema se adequasse a esta condição. Assim formando uma nova viga mista que contém seu perfil exposto, ligada por conectores à laje de concreto (MACHADO, 1998). Ou seja, a viga mista de aço e concreto podem ser entendidos como sendo o resultado da associação de uma viga de aço solidarizado a laje de concreto ou mesmo a laje mista, figura 4.

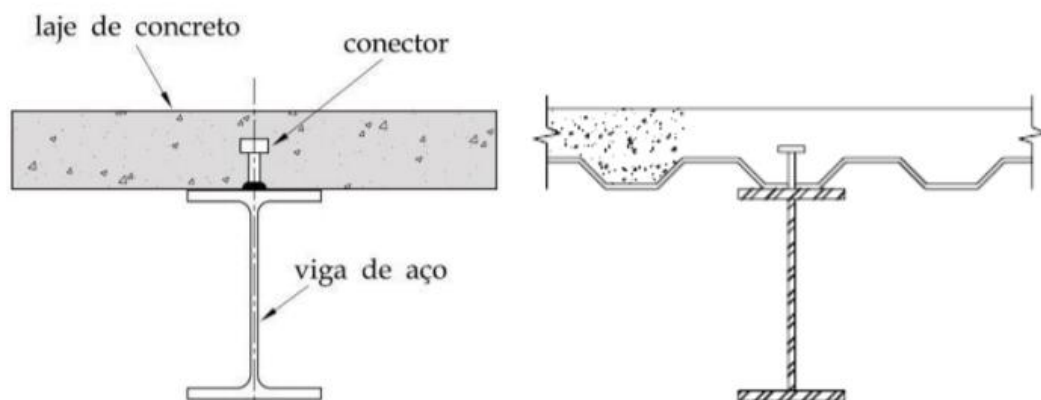


Figura 4. Vigas Mistas (Tatiana, 2018).

Uma das vantagens apresentadas no uso de vigas mistas é o acréscimo de resistência e de rigidez da viga em comparação com os perfis equivalentes em aço, o que possibilita, por consequência, a redução da altura e peso dos elementos estruturais (DAVID et al., 2005).

1.1.3.2 Pilares Mistos

Os pilares mistos de aço e concreto são elementos estruturais com seção transversal formada por um ou mais perfis de aço estrutural passível de revestimento ou preenchimento de concreto que trabalhando em conjunto e podem ser definidos como sendo elementos que são sujeitos predominantemente à compressão, seja ela simples ou composta (TOLEDO, 2009).

Desse modo, os pilares mistos variam-se conforme a disposição do concreto em relação ao seu perfil de aço podendo ser classificados em três tipos de estruturas: Pilar misto totalmente revestido, parcialmente revestido e preenchido – Figura 6.

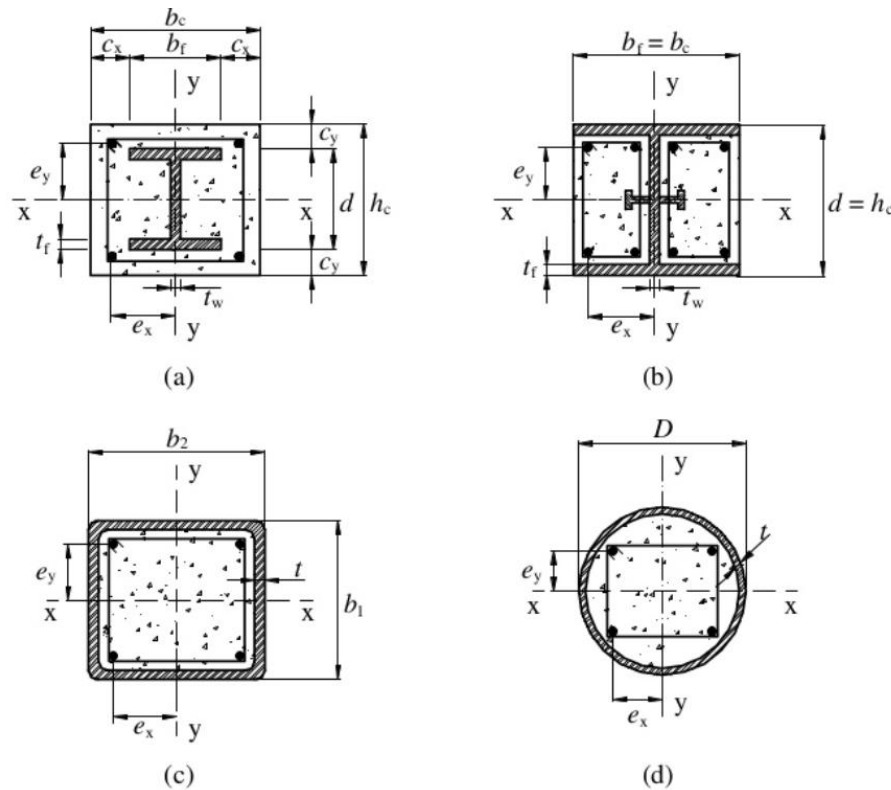


Figura 6. Pilares mistos: (a) Totalmente revestidos; (b) Parcialmente revestidos; (c) e (d) Preenchidos; Fonte (NBR 8800:2008).

Segundo a NBR 8800 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008), a seção transversal dos pilares mistos totalmente e/ou parcialmente revestido com concreto devem possuir perfil de aço I ou H soldado ou laminado e o pilar com seção transversal preenchido com concreto devem possuir perfil de aço tubular retangular ou circular.

Os pilares com a seção transversais totalmente revestidos têm o aço completamente preenchido pelo concreto (figura 6. a), já os parcialmente revestidos são preenchidos com concreto somente a região entre as mesas e a alma (figura 6. b) e os preenchidos tem o meio do perfil e o meio da armadura transversal (estribos) ocupado pelo concreto (figura 6. c e 6. d).

1.1.3.3 Lajes Mistas

A laje mista é um elemento que se utiliza de fôrmas permanentes nervuradas de aço (steel deck) sobre as quais é depositado o concreto. Estes dois materiais são travados entre si por meio de reentrâncias na fôrma de aço, conhecidas como “mossas”, que garantem um comportamento solidário dos dois materiais. Na fase construtiva, além de atuar como fôrma

para o concreto, o steel deck funciona como plataforma de trabalho para os operários, já que o material apresenta rigidez e resistência à flexão significativa para tal. Após a cura do concreto os dois materiais se solidarizam, formando um sistema misto onde o steel deck atua como armadura positiva da laje (SÁLES, 1995). Podem-se analisar na Figura 5 os componentes dessa laje.

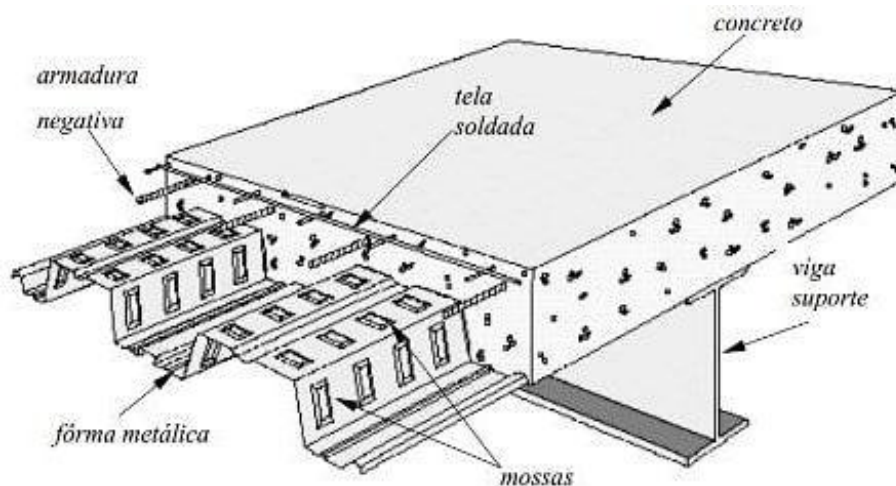


Figura 5. Laje Mista (Campos, 2001).

O steel deck Metform possui dois modelos, a MF75, com 820 mm de largura útil, indicada para empreendimentos industriais e laje com necessidade de resistência a cargas elevadas e tem como outro modelo a MF 50, com 915 mm de largura útil, utilizado para edificações urbanas tais como hotéis, hospitais, escritórios, edifícios, garagens etc. (METFROM, 2015).

Com um sistema construtivo de alta eficiência o Steel Deck Metform destaca algumas vantagens para a construção, sendo elas: alta qualidade de acabamento da laje; dispensa escoramentos e reduz os gastos com desperdício de material; facilidade de instalação e maior rapidez construtiva; facilidade de instalação e maior rapidez construtiva; apresenta facilidade para a passagem de dutos das diversas instalações, favorecendo também a fixação de forros (METFROM, 2015).

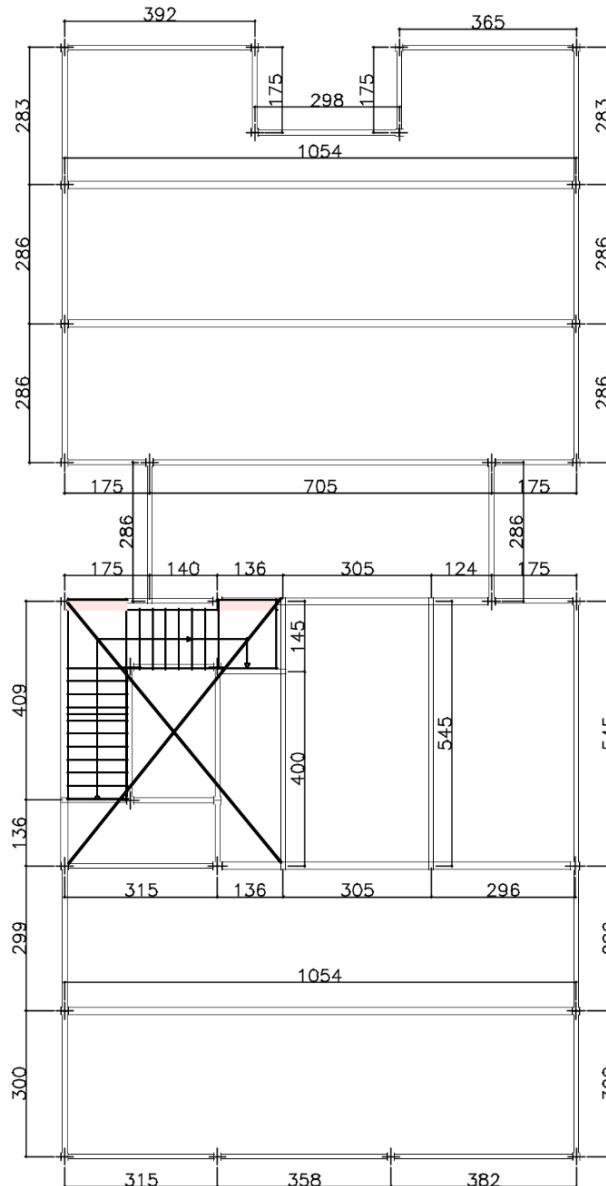
2 METODOLOGIA

Este presente trabalho foi realizado um estudo de caso, que permitiu, através de um edifício com estrutura em aço já existente, a realização do pré-dimensionamento dos seus elementos estruturais (laje Steel Deck, Vigas e Pilares) para uma estrutura mista de aço e concreto, visando à possibilidade da aplicação desse sistema estrutural misto aço-concreto na região. Proporcionando uma maior familiaridade desse fenômeno estrutural misto, que ainda é pouco conhecido, com o intuito de explorar a aplicação desse método estrutural construtivo (misto aço-concreto) não muito usual nas construções do município de Teófilo Otoni - MG.

2.1. Edifício de Estudo

A análise comparativa e de aplicação realizada neste trabalho foi baseada no edifício de uso misto, comercial e residencial, localizado na Rua Teodorico Torino no Centro da cidade de Teófilo Otoni. O edifício foi projetado em estrutura de aço com 4 andares e área total construída de 1040,40 m².

A escolha dessa edificação foi baseada na característica da região, na qual nos últimos anos têm empregado bastante, em construções de edifícios de múltiplos andares, estruturas em aço. Apesar do custo das construções em aço ser um dos fatores que ainda inviabiliza a execução de muitos projetos no Brasil, a cidade de Teófilo Otoni se destaca por edifícios e projetos com emprego dessa estrutura, em que se torna viável quando a mesma é estudada em todos os aspectos de sua construção. A figura 7 mostra o projeto Estrutural do edifício escolhido.



PROJETO ESTRUTURAL EM AÇO

Figura 7. Projeto Estrutural em Aço (Autores, 2019).

O edifício de estudo foi projetado como um sistema de pórticos, no qual faz o uso de pilares e vigas com ligações rígidas, sem o uso de contraventamentos. Para tal, foram previsto o uso de perfis I laminados com aço ASTM A-36, conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Perfis de aço empregados no edifício de estudo. Fonte: Autor (2019).

Perfil de aço	Comprimento (m)	Peso (kg)
W 150 x 22,5	310,2	7062
W 200 x 46,1	40,5	1963
W 150 x 29,8	74,0	2236
W 200 x 35,9	11,5	413
W 200 x 41,7	12,5	525
HP 250 x 62,0	4,5	281
Total:		12380

Em relação às estruturas em concreto armado aplicados no edifício, tem-se as escadas, as lajes e a fundação, nas quais fizeram o uso de concreto C20, onde a resistência característica do concreto à compressão é igual a 20 MPa, e de aços para as armaduras CA-50 e CA-60, em que a resistência característica do aço ao escoamento é igual a 500 MPa e 600 MPa, respectivamente. As escadas foram projetadas em formato U. Utilizou-se o sistema convencional de lajes do tipo vigota pré-fabricada e lajota (bloco cerâmico) com altura total igual a 13 cm. A fundação foi prevista com o uso de sapata e de vigas baldrame. Na Tabela 2 é apresentado o tipo, bitola, comprimento e peso de aço para armadura utilizado no edifício em questão.

Tabela 2. Tipo e peso de aço para armadura para estrutura de concreto armado utilizado no edifício de estudo, Fonte: Autor (2019).

Tipo de Aço	Bitola (mm)	Comprimento total (m)	Peso (kg)
CA-50	6,3	36,2	10
	8,0	1652,5	714
	10,0	1201,6	830
	12,5	451,7	487
	16,0	189,8	328
	20,0	37,6	102
CA-60	4,2	227,8	27
	5,0	1482,8	308
Total:			2379

A partir do edifício de estudo, foi concebido uma estrutura mista composta por pilares mistos revestidos, vigas mistas e lajes com Steel Deck. Mantiveram-se as dimensões em planta e elevação figura 7 (ver subitem 2.1).

2.2 Concepção da Estrutura Mista de Aço-Concreto

Para o projeto da estrutura mista de aço-concreto manteve-se alguns pilares e vigas do projeto do edifício de estudo na mesma posição, pensando no melhor aproveitamento da laje Steel Deck, entretanto, devido ao vão máximo estabelecido por fabricantes dessa laje, foi necessária a adição de vigas intermediárias ou vigas secundárias.

As considerações sobre as lajes Steel Deck estão condicionadas com a disposição das vigas secundárias, principalmente para evitar o custo com escoramento. Portanto, para

simplificar os cálculos, adotaram-se fôrmas de aço com a menor espessura possível, ou seja, 0,80 mm, e a seguinte ordem de critério em busca do menor custo, de acordo com Fakury et al (2016):

- Menor comprimento total de vigas secundárias, independentemente dos perfis a serem utilizados nessas vigas;
- Menor peso próprio da laje, que praticamente corresponde ao seu peso de concreto.

Destaca-se que essas ou outras considerações utilizou-se o catálogo técnico para lajes Steel Deck da fabricante Metform.

Segundo Fakury et al (2016), o vão teórico das lajes mistas com a colocação de vigas secundárias na direção do menor e maior vão é dada pelas Equações (1) e (2), respectivamente.

$$L_F = \frac{L_y}{n + 1} \quad (1)$$

$$L_F = \frac{L_x}{n + 1} \quad (2)$$

Onde:

L_F : vão teórico da laje Steel Deck;

L_y : vão maior do piso;

L_x : vão menor do piso;

n : número de vigas secundárias.

As vigas mistas são compostas por perfis I de aço laminado simétricos em relação ao eixo que passa pela linha média da alma. Para que esse perfil de aço atenda aos requisitos da NBR 8800 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008), de modo que alma do perfil não seja esbelta, devem satisfazer a condição dada pela Equação (3) a seguir:

$$\frac{h}{t_w} \leq 5,70 \sqrt{\frac{E_a}{f_y}} \quad (3)$$

Em que:

h : altura da alma do perfil I;

t_w : espessura da alma do perfil I;

E_a : módulo de elasticidade do aço dado como 200 GPa;

f_y : resistência ao escoamento do aço.

No caso dos pilares mistos revestidos, o perfil de aço não deve sofrer flambagem local, portanto, os cobrimentos de concreto nas duas direções c_x e c_y , devem ser suficientes para impedir esse fenômeno, em que:

$$c_x \geq \begin{cases} b_f/6 \\ 40 \text{ mm} \end{cases} \quad (4)$$

$$c_y \geq \begin{cases} b_f/6 \\ 40 \text{ mm} \end{cases} \quad (5)$$

Onde b_f é a largura da mesa.

Além disso, a seção transversal dos pilares mistos deve ser invariável ao longo do comprimento do pilar e possuir dupla simetria; e, ainda, possuir razão entre altura (h_c) e

largura (b_c) situadas entre 0,2 e 5,0 (Fakury et al, 2016). Há ainda, que ser verificado os cobrimentos do perfil de aço:

$$c_x \leq 0,4 b_f \quad (6)$$

$$c_y \leq d \quad (7)$$

Em que d é a altura do perfil de aço.

Em relação às armaduras longitudinais, os pilares mistos devem possuir área de armadura mínima de 0,3% da área de concreto e diâmetro mínimo de 10 mm respeitando o máximo de 1/8 da menor dimensão do pilar. Em cada vértice da seção deve haver pelo menos uma barra de armadura longitudinal. No caso da armadura transversal, deve ser colocada ao longo de todo o pilar com diâmetro mínimo de 5 mm ou de 1/5 do diâmetro da armadura longitudinal. O espaçamento das armaduras deve seguir os procedimentos da NBR 6118 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014).

Na Tabela 3 é apresentado o resumo do pré-dimensionamento da altura (H) de lajes e vigas mistas em função do vão L. Para os pilares mistos, a seção transversal deve ser definida pelo cálculo da área de influência. Deve-se lembrar que a seção transversal e/ou o perfil deve obedecer às condições citadas acima.

Tabela 3. Resumo do pré-dimensionamento de laje e vigas mistas, Fonte: Adaptado de Cabral et al (2016).

Elemento Estrutural	Altura (H)
Laje Steel Deck	L/20
Viga de alma cheia (biapoiada)	L/25

2.3. Propriedade dos Materiais

Para o pré-dimensionamento do projeto da estrutura mista de aço-concreto manteve-se o aço ASTM-A36 utilizado no projeto do edifício de estudo, seguindo os parâmetros do anexo A da NBR 8800 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008). O ASTM-A36 é um aço para aplicação em componentes estruturais onde são bem definidas suas propriedades físicas para permitirem sua utilização em projetos que exijam dobramento e boa soldabilidade. Quando fabricados em chapas de aço possuem resistência intermediária. Suas principais aplicações são: Pontes, locomotivas, estruturas de máquinas, galpões, edifícios as estruturas metálicas em geral (GERDAU 2013).

O concreto utilizado no edifício de estrutura de aço estudado foi o C20 direcionado mais para a parte da fundação da estrutura, entretanto como na estrutura mista o concreto está exposto a um ambiente agressivo, a classificação de ambiente agressivo da cidade de Teófilo Otoni – MG é de ordem 2 conforme a NBR 6118 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014) analisando as tabelas 6.1, 7.1 e a 7.2, da referida norma. Com isso, de acordo com a classificação de agressividade da cidade analisado é recomendado o uso de um concreto \geq C25. Portanto para o pré-dimensionamento do edifício em estrutura mista de aço-concreto foi adotado o concreto C25.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção trata da apresentação dos resultados obtidos no pré-dimensionamento da laje Steel Deck, perfis de vigas e pilares mistos de aço e concreto, além da análise das disposições dos elementos estruturais e o peso estrutural, que estão expressos em tabelas, gráficos e projetos de locação. Permitindo uma comparação entra a estrutura de aço já existente e a estrutura

mista aço-concreto de maneira que determina o método estrutural mais eficiente em uma construção de múltiplos pavimentos.

3.1. Locação dos Elementos Mistos

Na figura 8 é apresentado dois projetos de locação estrutural referentes a estrutura em aço (Figura 8.a) e a estrutura mista de aço-concreto (Figura 8.b). A primeira é o objeto de estudo, no qual foi baseada para realizar a locação da estrutura mista.

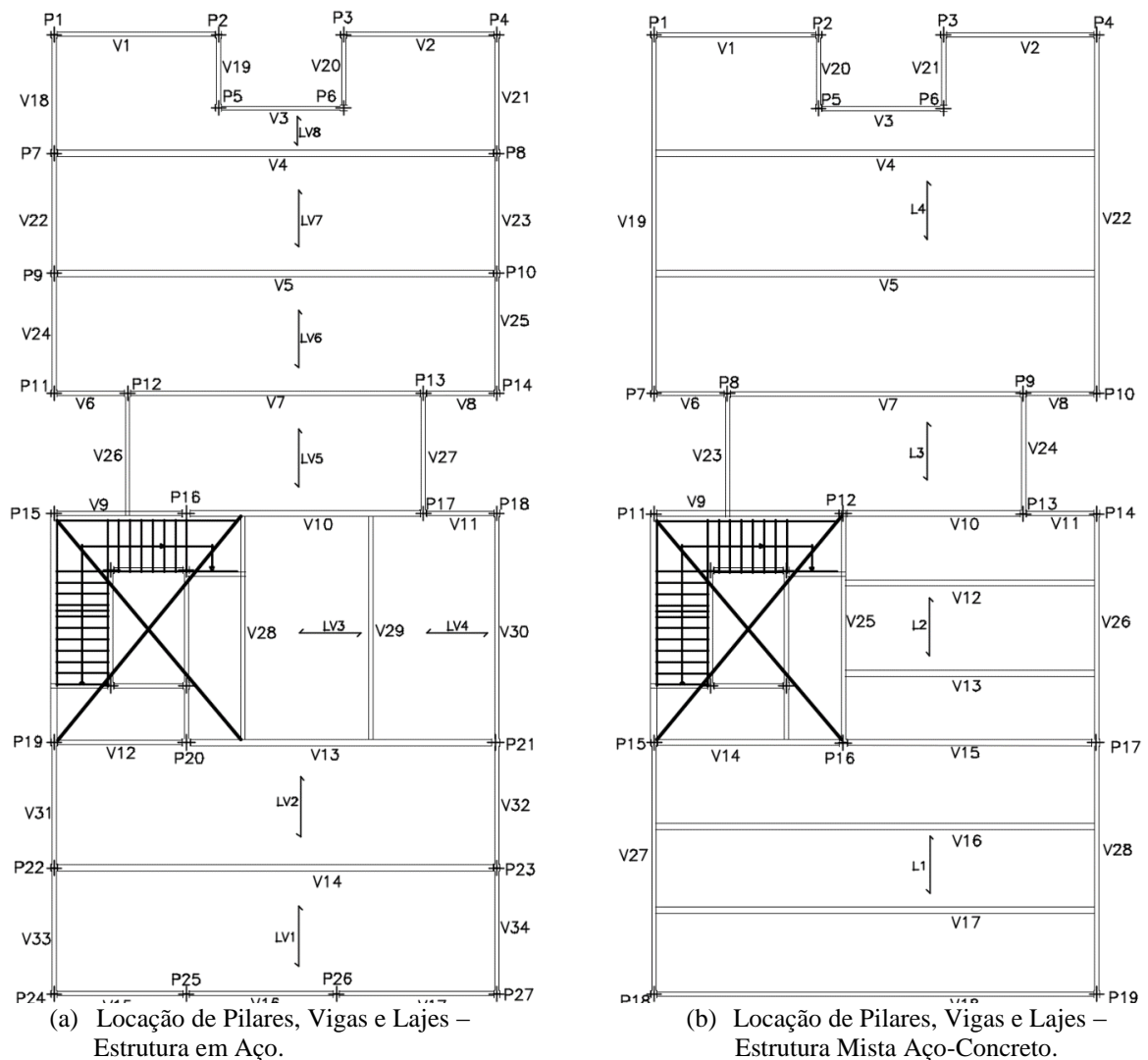
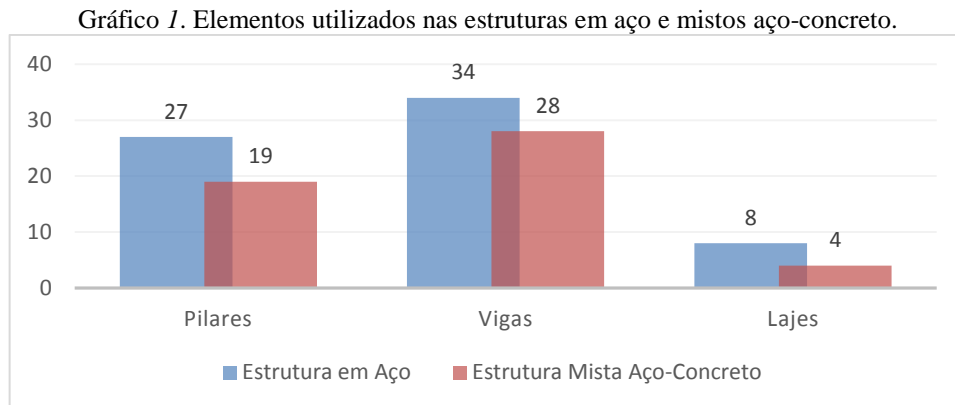


Figura 8. Projeto de locação de estrutura em aço e estrutura misto aço-concreto, (Autores, 2019).

Para determinar a locação dos elementos mistos foi levado em consideração as propriedades do aço e sua capacidade em conseguir ser empregado em vãos maiores em relação as estruturas de concreto. Muitos construtores não possuem confiança em explorar essa capacidade que o aço oferece, pelo fato de serem estruturas extremamente esbeltas (estruturas que apresentam resistência aos esforços de flambagem) ou também por não possuírem um conhecimento técnico em seu dimensionamento. Pode-se observar na (figura 8.a) o objeto de estudo com estrutura em aço, não foi totalmente empregado uma das vantagens que a estrutura de aço consiste em vencer grande distâncias livres entre pilares, possibilitando a redução dos elementos estruturais.

Como pode ser observado na (figura 8.b), a locação da estrutura mista possibilitou uma redução dos elementos estruturais mistos, sendo eles pilares (P), Vigas (V) e lajes (L), devido a associação de perfis de aço com o concreto, que constituem uma solução com maior vãos, maior rigidez à estrutura, além de proporcionar uma maior resistência ao fogo.

Assim, o gráfico 1 apresenta os resultados dos elementos estruturais (Pilares, Vigas e Lajes) utilizados na locação estrutural referentes a estrutura de aço e a estrutura mista aço-concreto.



Fonte: Autores (2019).

Desse modo, observam-se pela Figura 8 que os pilares da estrutura mista de aço-concreto foram reduzidos em relação à estrutura em aço em aproximadamente 30%, as vigas foram reduzidas em 18% e as lajes em 50%. Deve-se considerar que a estrutura possui 4 pavimentos e que a redução desses elementos estruturais contribui para diminuir o peso próprio de toda a estrutura como também afeta no custo da construção.

3.2. Pré-dimensionamento da Laje Steel Deck

Para determinar a adição necessária das vigas secundárias, para fins do pré-dimensionamento da laje Steel Deck, obtendo o vão teórico das lajes, utilizou-se as Equações 1 e 2 (ver subitem 2.2), com a colocação de vigas secundárias na direção do menor e maior vão da laje, respectivamente. Para simplificar os cálculos, adotaram-se fôrmas de aço com menor espessura possível, ou seja, 0,80 mm, seguindo a ordem de critério em busca do menor custo, de acordo com Fakury et al (2016) (ver subitem 2.2). Portanto, usando a tabela 12.1 “Cargas e vão máximos das lajes mistas com fôrma MF-50”, do livro “Dimensionamento de elementos estruturais de aço e misto de aço e concreto”, de Fakury et al. (2016), e analisando a menor espessura de fôrma e a menor altura total da laje, ou seja, 110 mm, possível a ser adotada, obteve os resultados apresentados na tabela 5.

Tabela 5. Pré-dimensionamento da laje, Fonte: Autor (2019).

Laje	Área (m ²)	Quantidade de viga secundaria	Altura total (mm)	Espessura da fôrma (mm)	Peso próprio da laje (kn/m ²)	Armadura
L1	252,68	2	110	0,80	6,89	3,8φx3,8φ
L2	161,29	2	110	0,80	6,89	3,8φx3,8φ
L3	80,63	-	110	0,80	6,89	3,8φx3,8φ
L4	339,85	2	110	0,80	6,89	3,8φx3,8φ

Portanto, com a tabela 5, a análise com as vigas secundárias na direção do menor e maior vão pode ser finalizada, utilizando como critério de definição do viga que considera o menor comprimento total das vigas secundárias adicionadas ao piso, com uma carga $\geq 3 \text{ Kn/m}^2$, espessura da fôrma 0,80 mm e uma altura total da laje de 110 mm. Nesse critério, teve como as seguintes soluções:

- Solução com duas vigas adicionadas na direção do maior vão, para a laje L1;
- Solução com duas vigas adicionadas na direção do maior vão, para a laje L2;
- Solução sem necessidade de adicionar viga secundaria, com a viga principal na direção do maior vão, para a laje L3;
- Solução com duas vigas adicionadas na direção do maior vão, para a laje L4.

3.3. Pré-dimensionamento da Viga Mista

Para o pré-dimensionamento da viga mista, utilizou-se os parâmetros da Tabela 3 (ver subitem 2.2), no qual depende exclusivamente do vão da viga (L). Além disso, a escolha do perfil foi condicionada pelos perfis empregados no projeto de estrutura de aço em estudo, sendo o perfil I laminado. Portanto, usando a tabela do apêndice A.4 do livro “Dimensionamento de elementos estruturais de aço e misto de aço e concreto”, de Fakury et al. (2016), e analisando a esbeltez da alma do perfil (h/t_w), para que não ocorra flambagem, obteve os resultados apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. pré-dimensionamento da altura (H) e a verificação da esbeltez, Fonte: Autor (2019).

Vigas	Vão (m)	L/25 (mm)	Perfil de aço	H	Tw	h/tw (mm)
V1	3,92	156	W150x24, 0	139	6,6	21,06
V2	3,65	146	W150x13, 0	138	4,3	32,09
V3	2,98	119,20	W150x13, 0	138	4,3	32,09
V4, V5, V16, V17, V18	10,54	420	W460x52, 0	428	7,6	56,31
V6, V8, V11	1,75	70	W150x13, 0	138	4,3	32,09
V7	1,05	282	W310x21, 0	292	5,1	57,25
V9	4,51	180	W200x15, 0	190	4,3	44,18
V10	4,29	171,2	W200x15, 0	190	4,3	44,18
V12, V13, V15	6,01	240	W250x17, 9	240	4,8	50
V14	4,51	179,6	W200x15, 0	190	4,3	44,18
V19, V22	8,55	342	W360x32, 9	332	5,8	57,24
V20, V21	1,75	70	W150x13, 0	138	4,3	32,09
V23, V24	2,86	114,4	W150x13, 0	138	4,3	32,09
V25, V26	5,45	218	W250x17, 9	240	4,8	50
V27, V28	5,99	278,4	W310x21, 0	292	5,1	57,25

Como pode ser observado na Tabela 6 todas as vigas atendem ao critério de esbeltez ($h/t_w \leq 161$) para que não ocorra flambagem local na alma do perfil. As vigas primarias (V19, V22, V27e V28), aquelas que recebem vigas secundarias (ver Figura 7.b), reduzem a ocorrência de flambagem lateral por torção devido a presença das contenções laterais como a interação viga-laje e as vigas secundarias, permitindo o emprego em vão tão elevados. Entretanto, deve ser investigado sua resistência final e seu modo de instabilidade, não apenas

para as primárias, mas também para as vigas secundárias, como forma de garantir a eficiência correta dos perfis nas vigas.

3.4. Pré-dimensionamento do Pilar Misto

O pré-dimensionamento dos pilares mistos consistiu no método da área de influência, no qual se estima uma área que exercer uma ação ou carga ao pilar, delimitada para o projeto de estrutura mista conforme a Figura 8. Nesse processo, a carga axial de compressão solicitante de cálculo (N_{Sd}) é determinada pela multiplicação da área de influência, pela carga prevista ou uma carga estipulada do pavimento, pelo número de pavimentos acima do pilar analisado e por coeficientes de posição e segurança. A carga deve levar em conta as ações permanentes e ações variáveis do pavimento, nos edifícios de múltiplos andares usuais, essa carga pode ser adotada como 12 kN/m², segundo Giongo (1996), que identificou esses valores como limites médios de observações técnicas em projetos edifícios múltiplos. O coeficiente de posição e segurança, estabelecidos segundo Bacarji (1993), a majora o valor da carga, sendo utilizado valores iguais a 1,8, para pilares de centro ou interno, 2,2, para pilares de borda ou extremidade, e 2,5, para pilar de canto.

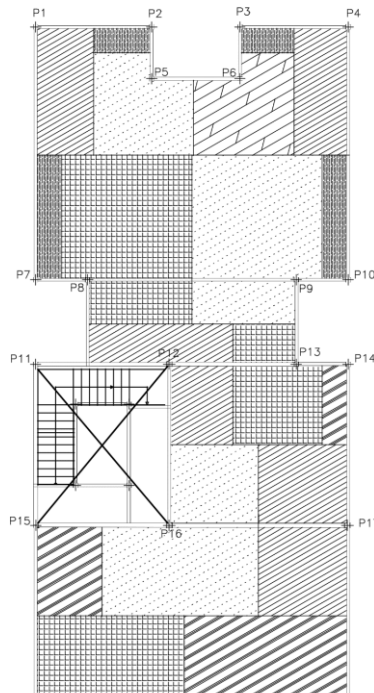


Figura 8. Processo para determinar a Área de Influência, (Autores, 2019).

Para obter a área do perfil de aço, primeiramente considerou que a força axial de compressão resistente de cálculo (N_{Rd}) era igual a força axial de compressão solicitante de cálculo (N_{Sd}), obtida pela área de influência, de acordo com a Equação (8), onde o fator de redução (χ) foi adotado com 1,0, para fins de pré-dimensionamento, e assim a força axial resistente de cálculo do pilar misto à plastificação total ($N_{pl,Rd}$) se tornou igual a N_{Sd} . Dessa forma, a área de aço (A_a) pode ser estabelecida, levando em conta o fator de contribuição do aço (δ) na estrutura mista igual a 0,5, conforme a Equação (9). Dessa forma, pode-se determinar pela tabela do apêndice A.4 do livro “Dimensionamento de elementos estruturais de aço e misto de aço e concreto”, de Fakury et al. (2016), o perfil I laminado para o pilar misto.

$$N_{Sd} = N_{Rd} = \chi \cdot N_{pl,Rd} \rightarrow N_{Sd} = N_{pl,Rd} \quad (8)$$

$$A_a = \frac{\delta \cdot N_{pl,Rd}}{f_{yd}} \quad (9)$$

As dimensões do concreto da seção mista foi estimada considerando o perfil adotada e a relação de cobrimentos da seção em concreto armado c_x e c_y , Equações (X) e (Y) (ver subitem 2.2), nas direções x e y da seção, respectivamente, podendo dessa forma, determinar a altura (h_c) e a largura (b_c) da seção de concreto, de acordo com as Equações (10) e (11). Logo, a área da seção do pilar misto ($A_{pilar\ misto}$) é dada pela Equação (12).

$$h_c = d + 2 \cdot c_y \quad (10)$$

$$b_c = b_f + 2 \cdot c_x \quad (11)$$

$$A_{pilar\ misto} = h_c \cdot b_c \quad (12)$$

Onde d é a altura total do perfil e b_f é a largura da mesa do perfil.

Assim, a Tabela 7 apresenta os resultados das áreas da seção dos pilares mistos, juntamente com a área de influência, a carga N_{Sd} e a área de aço estimado, além do perfil de aço adotado para a seção, o consumo de concreto e o peso do perfil de aço.

Tabela 7. Pré-dimensionamento do pilar misto, Fonte: Autor (2019).

Pilares	Tipo de Pilar	Área de influência (m ²)	N _{Sd} (kN)	A _a (cm ²)	Perfil de aço adotado	Peso do aço (Kg)	Área da seção mista (cm ²)	Consumo do concreto (m ³)
P1	Canto	8,38	754,20	16,59	W150x13,0	39,0	410,40	0,099
P2	Canto	1,71	153,90	3,39	W150x13,0	39,0	410,40	0,099
P3	Canto	1,59	143,10	3,15	W150x13,0	39,0	410,40	0,099
P4	Canto	7,80	702,00	15,44	W150x13,0	39,0	410,40	0,099
P5	Canto	14,74	1326,60	29,19	W150x24,0	72,0	436,80	0,101
P6	Canto	14,17	1275,30	28,06	W150x22,5	67,5	538,24	0,127
P7, P10	Canto	3,74	336,60	7,41	W150x13,0	39,0	410,40	0,099
P8, P9	Borda	25,10	1987,92	43,73	W150x37,1	111,3	526,28	0,130
P11	Canto	6,14	552,60	12,16	W150x13,0	39,0	410,40	0,099
P12	Borda	19,54	1547,57	34,05	W200x26,6	79,8	611,31	0,144
P13	Borda	12,54	993,17	21,85	W150x18,0	54,0	424,06	0,100
P14	Canto	2,38	214,20	4,71	W150x13,0	39,0	410,40	0,099
P15	Borda	12,87	1019,30	22,42	W150x18,0	54,0	424,06	0,100
P16	Borda	30,08	2382,34	52,41	W200x41,7	125,1	701,10	0,162
P17	Borda	17,18	1360,66	29,93	W150x24,0	72,0	436,80	0,101
P18, 19	Canto	15,75	1417,50	31,19	W150x24,0	72,0	436,80	0,101

Observa-se pela Tabela 7 que ao incorporar o concreto no perfil de aço a área da seção se eleva significativamente, promovendo o aumento do peso próprio da peça. Entretanto, o concreto permite aumentar a resistência do pilar ao fogo e a flambagem (curvatura lateral de elementos comprimidos), reduzindo a esbeltez da peça, tornando-a mais robusta. Além disso, o pilar misto agrega o melhor do comportamento dos dois materiais aço e concreto, promovendo maior resistência aos esforços combinados de compressão e flexão.

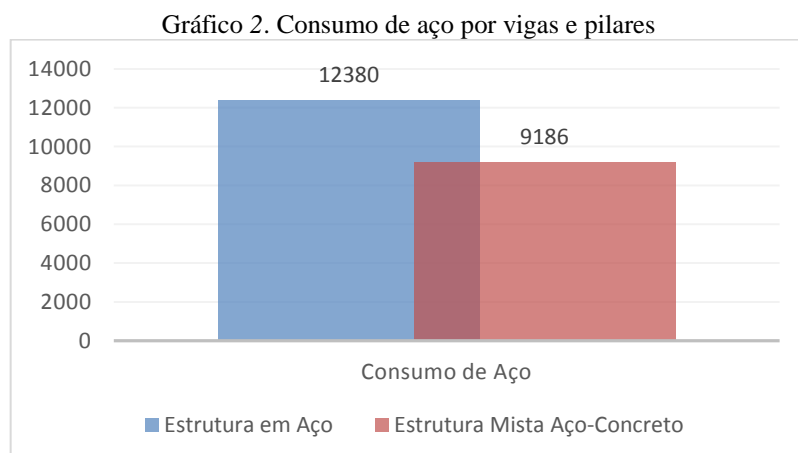
3.5. Consumo de Aço

Para determinar o consumo de aço nas vigas e pilares da estrutura mista aço-concreto, foi considerado os perfis adotados do pré-dimensionado misto tabela 6 (ver subitem 3.3) e tabela 7 (ver subitem 3.4) respectivamente. Dessa forma, pode-se determinar pela tabela do apêndice A.4 do livro “Dimensionamento de elementos estruturais de aço e misto de aço e concreto”, de Fakury et al. (2016), a massa de cada perfil adotado, de modo que, multiplicando essa massa pelo comprimento das vigas e/ou pilares correspondente ao seu perfil, obteve o peso total do consumo de aço de cada perfil, sendo apresentados na tabela 8.

Tabela 8. Consumo de aço da estrutura mista aço-concreto. Fonte: Autor (2019).

Perfil de aço	Comprimento (m)	Peso (kg)
W150x13, 0	117,1	1522
W150x18, 0	24	432
W150x22, 5	12	270
W150x24, 0	39,92	958
W150x37, 1	24	890
W200x15, 0	13,31	200
W200x26, 6	12	319
W200x41, 7	12	500
W250x17, 9	28,93	518
W310x21, 0	13,03	274
W360x32, 9	17,1	563
W460x52, 0	52,7	2740
Total:		9186

Observa-se na tabela 8, que o somatório do peso total do consumo do aço dos perfis mistos de aço-concreto é menor que o somatório total do consumo do aço do edifício estudado em perfis de aço tabela 1 (ver subitem 2.1). A redução do consumo de aço, foi decorrente da redução das dimensões dos elementos metálicos, devido à incorporação do concreto que preenche o espaço entre as mesas, resultando em uma diminuição significativa de 3194 kg/pavimento, que representa 26% de redução de aço, podendo ser visto no gráfico 2.



Fonte: Autores (2019).

Nos pilares mistos totalmente revestidos por concreto, a uma necessidade de incorporar barras de armadura para garantir a integridade do concreto durante a solicitação do pilar. Para determinar o consumo de aço dessa armadura, primeiramente considerou o sistema Steel deck adotado, com fôrma MF-50 composto por uma chapa metálica trapezoidal, revestido com uma malha de ferro de 3,8 mm e uma massa de 1,21 kg/m², conforme a tabela 12.3 do livro “Dimensionamento de elementos estruturais de aço e misto de aço e concreto”, de Fakury et al. (2016).

O comprimento das barras mistas com diâmetros de $\phi 5$ e $\phi 10$ mm, foi estimada considerando a altura (h_c), largura (b_c) e os cobrimentos (c_x) e (c_y), de cada pilar e sua ancoragem, de acordo com as Equações (14) e (15) respectivamente.

$$\text{comp. } \phi 5 = [(h_c - 2 \cdot c_y)^2 + (b_c - 2c_x)^2 + 2 \cdot \text{ganchos}] \cdot Qnt. P \quad (14)$$

$$\text{comp. } \phi 10 = (\text{pé direto} + \text{ancoragem}) \cdot P \quad (15)$$

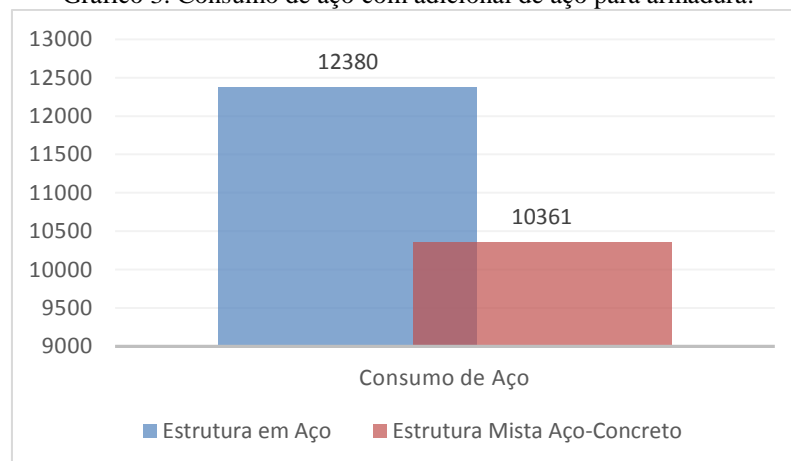
Assim a tabela 9, apresenta os resultados do comprimento das barras de armadura, juntamente com o consumo total do aço da armadura.

Tabela 9. Tipo e peso de aço para armadura para estrutura de mista aço-concreto pré-dimensionada, Fonte: Autor (2019).

Diâmetro	Aço	Massa (kg/m ²)	Área (m ²)	Comprimento (m)	Peso(kg)
$\phi 3,8 \times \phi 3,8$	CA-60	1,21	903,17	–	1093
$\phi 5$	CA-60	0,154	–	292,656	45
$\phi 10$	CA-50	0,62	–	60,42	37
				Total	1175

Mesmo considerando o consumo adicional de aço para armaduras longitudinais o uso dos pilares e vigas mistas ainda representa um consumo total de aço inferior aos pilares e vigas de aço isolados, cerca de 2019 kg/pavimento, que representa 16% de redução de aço, podendo ser visto no gráfico 3.

Gráfico 3. Consumo de aço com adicional de aço para armadura.



Fonte: Autores (2019).

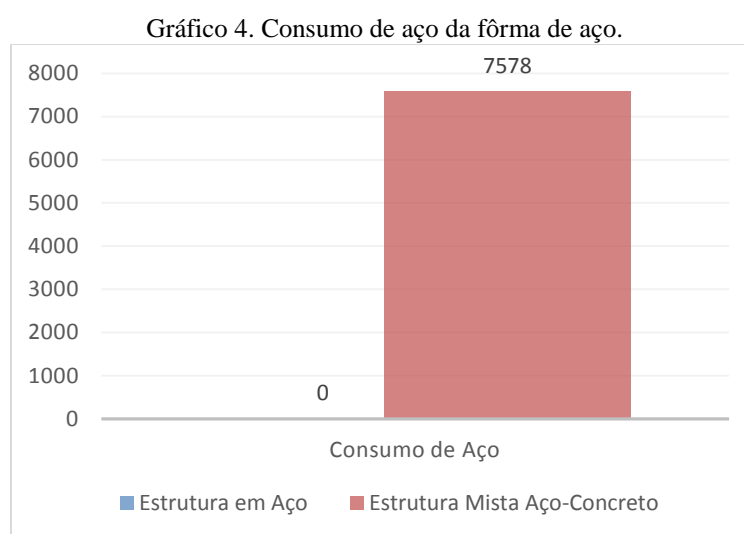
A partir do dimensionamento dos elementos de aço, foi possível extrair dados referentes ao consumo da fôrma da laje, sendo MF-50 sua geometria adotada. As dimensões e massas da MF-50 são apresentadas na tabela 12.6 do livro “Dimensionamento de elementos estruturais de aço e misto de aço e concreto”, de Fakury et al. (2016), onde a espessura

nominal é igual a soma da espessura da chapa com as das camadas de galvanização. Assim, a tabela 10 apresenta os resultados obtidos do consumo de aço da fôrma.

Tabela 10. Tipo e peso de fôrma de aço mista aço-concreto, Fonte: Autor (2019).

Fôrma	Espessura da chapa (mm)	Área da laje (m ²)	Massa (kg/m ²)	Peso (kg)
MF-50	0,76	903,17	8,39	7578
Total				7578

Percebe-se na tabela 10, um consumo de aço total de 7578kg/pavimento, entretendo na estrutura de aço do edifício de estudo não utiliza formas de aço, pois sua laje foi de vigota. Com teve como resultados de 100% maior o consumo de aço de fôrmas da estrutura mista em relação a estrutura de aço, podendo ser analisado no gráfico 4.



Fonte: Autores (2019).

3.6. Consumo do Concreto

Para calcular o consumo total do concreto (m³) da estrutura mista foi considerado o consumo de concreto nas vigas e pilares da tabela 8 (ver subitem 3.5), em relação ao valor do consumo do concreto da Fôrma de 110mm da laje Steel Deck conforme tabela 12.3 do livro “Dimensionamento de elementos estruturais de aço e misto de aço e concreto”, de Fakury et al. (2016)”, multiplicando o valor encontrado pela área total da laje.

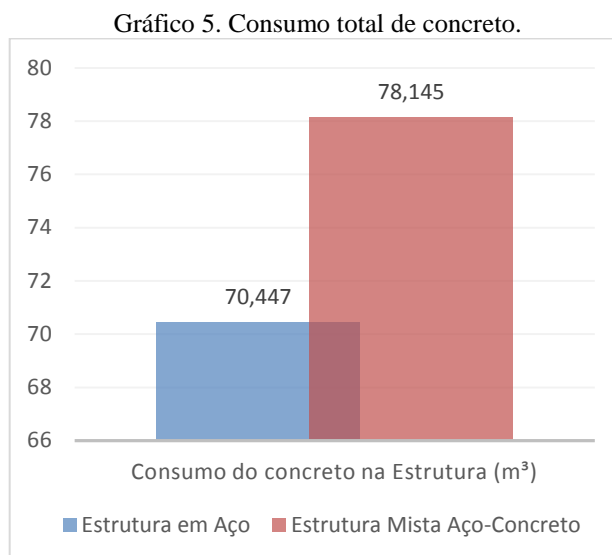
Entretanto, como a estrutura de aço não recebe concreto no seu perfil, foi contabilizado o consumo de concreto somente da laje, onde foi adotado o consumo das vigotas de 0,078m³, utilizado pela projeto do edifício estudado, de modo que, multiplicando esse valor pela área da laje encontra se o valor referente a área total do consumo do concreto.

Como não foi obtido acesso da contabilização da fundação do projeto de estudo, foi desprezado o consumo de concreto da fundação de ambas, na tabela 11 pode-se observar os resultados obtidos da estrutura mista aço-concreto e a estrutura de aço.

Tabela 11. Consumo de concreto, Fonte: Autor (2019).

	Pilares e Vigas (m ³)	Laje Steel Deck (m ³ /m ²)	Área da Laje (m ²)	Laje da Vigota (m ³)	Consumo do concreto (m ³)
Estrutura Mista	1,376	0,085	903,17	-	78,145
Estrutura de Aço	-	-	903,17	0,078	70,447

Observa-se na tabela 11 que, o consumo de concreto na estrutura mista aço-concreto é maior que o consumo de concreto na estrutura de aço, no entanto em comparação aos equivalentes em concreto armado os pilares mistos tornam-se mais dúctil e esbelto, ou seja, os pilares mistos aço-concreto proporciona maior rigidez a estrutura e resistência a flambagem, sendo comparados aos pilares puramente metálicos.



Fonte: Autores (2019).

Analisando os resultados obtidos no gráfico 5, percebe-se que a estrutura mista de Aço-Concreto tem uma diferença de 7,698m³ maior do que a da estrutura de aço, aproximadamente 10% a mais do valor obtido. No entanto, essa diferença não foi muito significativa levando em consideração que na estrutura mista aço-concreto foi contabilizado o consumo de concreto de 78,15m³ das vigas pilares e laje e na estrutura de aço contabilizou 70,45 m³ de consumo somente da laje.

4 CONCLUSÃO

Este artigo apresentou um pré- dimensionamento de uma estrutura de aço já existente para uma estrutura mista de aço e concreto. Através dos resultados obtidos, foi possível realizar análises comparativas e identificar vantagens e desvantagens em relação ao consumo de aço, ao consumo do concreto e ao peso dos sistemas estruturais abordados.

Conforme os resultados comparativos entre a estrutura de aço com a estrutura mista aço e concreto, a utilização de pilares mistos totalmente revestidos leva a substancial redução do consumo de aço, uma diferença inferior a 26%, essa redução se deu devido à redução dos elementos estruturais com a locação da estrutura mista. Analisando o peso total do aço das duas estruturas, incluindo o peso da armadura da estrutura mista, percebe-se que a estrutura mista de aço e concreto, conseguiu uma redução de aproximadamente 16% desse consumo, mas não conseguiu a redução do peso total da estrutura devida ao peso da fôrma de aço da laje steel deck.

Os resultados comparativos ao consumo de concreto da estrutura mista aço-concreto, apontou um diferença superior a 10% em relação à estrutura de aço. No entanto em comparação aos equivalentes em concreto armado os pilares mistos tornam-se mais vantajoso devido ao baixo custo do concreto, por proporcionar proteção contra corrosão e proteção contra incêndio, sendo comparados aos pilares puramente metálicos.

Através da locação dos elementos estruturais da estrutura em estudo, pode-se observar que havia muito pilar próximo a outro pilar, com isso pode-se verificar que, muitos construtores não possuem confiança em explorar a capacidade que o aço oferece em vencer grandes vão, ou também por não possuírem um conhecimento técnico em seu dimensionamento.

Com este artigo pode-se criar uma formulação, ou seja, um roteiro que possa ser seguido para fazer o pré-dimensionamento de uma estrutura mista e colaborou para o melhor entendimento desse fenômeno estrutural. Assim ampliando a possibilidade da utilização dessa estrutura na região de Teófilo Otoni – MG.

Como sugestões para trabalhos futuros, recomendam-se os seguintes temas: Dimensionamento da estrutura mista de aço e concreto e a Verificação da aplicação e do conhecimento das construtoras em relação da estrutura de aço no município de Teófilo Otoni - MG.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- PFEIL, MICHELE, AND PFEIL. WALTER – **ESTRUTURAS DE AÇO: DIMENSIONAMENTO PRÁTICO DE ACORDO COM A NBR 8800:2008**. 8 ED. RIO DE JANEIRO: DIAGRAMA AÇÃO – PRODUÇÃO EDITORA LTDA, 2009. P357
- RICARDO FAKURY,; ANA LYDIA, R.C. SILVA,; RODRIGO, G. CALDAS (2017). **DIMENSIONAMENTO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE AÇO E MISTOS DE AÇO E CONCRETO**. P379-398,420,438-445,454-457,483-486.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – (ABNT). **NBR 8800: PROJETO DE ESTRUTURAS DE AÇO E DE ESTRUTURAS MISTAS DE AÇO E CONCRETO DE EDIFÍCIOS**. RIO DE JANEIRO. 2008
- ENGEL, HEINO – **SISTEMAS DE ESTRUTURAS** (2014) - 1. Ed. SÃO PAULO: EDITORA GUSTAVO, P351.
- ALVA, GERSON MOACYR SISNIEGAS. (2000). **SOBRE O PROJETO DE EDIFÍCIOS EM ESTRUTURAMISTA AÇO-CONCRETO**. P324.
- SOUZA JUNIOR,- **ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO** – (2015) P8. DISPONÍVEL EM: <[HTTP://WWW.TOOLUIZREGO.SEED.PR.GOV.BR/REDEESCOLA/ESCOLAS/27/2790/30ARQUIVOS/FILE/DISCIPLINAS%20CONTEUDOS/QUIMICA%20INORGANICA/CARLOS3SEMCONCRETO.PDF](http://www.tooluizrego.seed.pr.gov.br/redeescola/ESCOLAS/27/2790/30ARQUIVOS/FILE/DISCIPLINAS%20CONTEUDOS/QUIMICA%20INORGANICA/CARLOS3SEMCONCRETO.PDF)> ACESSO EM: 02 SET. 2019.
- ALBUQUERQUE, B. G. - **ESTUDO DE PATOLOGIAS E SUAS CAUSAS NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO DE OBRAS DE EDIFICAÇÕES**. - (2015). P174. RIO DE JANEIRO. DISPONÍVEL EM: <[HTTP://MONOGRAFIAS.POLI.UFRJ.BR/MONOGRAFICAS/MONOPOLII0014879.PDF](http://monografias.poli.ufrj.br/monograficas/monopolii0014879.pdf)>. ACESSO EM :1 SET 2019.
- INABA, R. **CONSTRUÇÕES METÁLICAS >O USO DO AÇO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**. DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://METALICA.COM.BR/CONSTRUCOES-METALICAS-O-USO-DO-ACO-NA-CONSTRUCAO-CIVIL-4/](https://metalica.com.br/construcoes-metalicas-o-uso-do-aco-na-construcao-civil-4/)>. ACESSO EM 1 SET. 2019.
- ALTMANN, (2016) - **VANTAGENS DO PISO DE CONCRETO ARMADO** - DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://WWW.MASTERPLATE.COM.BR/PISO-CONCRETO-ARMADO](https://www.masterplate.com.br/piso-concreto-armado)> ACESSO EM 2 SET. 2019.
- ALBERTO, (2017) **O USO DO AÇO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**. DISPONÍVEL EM <[HTTPS://DALIGA.COM.BR/CONSTRUCOES-METALICAS-O-USO-DOA-ACO-NA-CONSTRUCAO-CIVIL](https://daliga.com.br/construcoes-metalicas-o-uso-do-aco-na-construcao-civil)> ACESSO EM 3 SET. 2019
- TEOBALDO, (2004) **OS PRINCIPAIS AÇOS CARBONOS UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL**. DISPONÍVEL EM: <[HTTP://WWW.CREA-SC.ORG.BR/PORTAL/ARQUIVOSSGC/A%3%A7OS%20CARBONO%20CONSTRU%3%A7%3%A3O%20CIVIL.PDF](http://www.crea-sc.org.br/porta/arquivoSSGC/A%3%A7OS%20CARBONO%20CONSTRU%3%A7%3%A3O%20CIVIL.PDF)> ACESSO EM 3 SET. 2019.
- CBCA (2014) **CONSTRUÇÃO EM AÇO**. DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://CBCA-ACOBASIL.ORG.BR/SITE/CONSTRUCAO-EM-ACOS-ESTRUTURAIS](https://coba-acobrasil.org.br/site/construcao-em-acos-estruturais)> ACESSO EM 3 SET. 2019.
- ALVA, G.M.S; MALITE, M. **COMPORTAMENTO ESTRUTURAL E DIMENSIONAMENTO DE ELEMENTOS MISTOS AÇO-CONCRETO**. CADERNOS DE ENGENHARIA DE ESTRUTURAS. SÃO CARLOS,2005. P51-84.

- SANTOS (2017) **ESTRUTURAS MISTAS DE CONCRETO E AÇO PRÓS E CONTRA**. DISPONIVEL EM> <[HTTPS://CIMENTOITAMBE.COM.BR/ESTRUTURAS-MISTAS-CONCRETO-ACO/](https://cimentoitambe.com.br/estruturas-mistas-concreto-aco/)> ACESSO EM 3 SET 2019.
- TATIANA (2018) **O DIMENSIONAMENTO OTIMIZADO DAS VIGAS DE AÇO E CONCRETO**. DISPONIVEL EM: <[HTTPS://WWW.REPOSITORIO.UFOP.BR/BITSTREAM/123456789/9908/1DISSERTA%C3%87%C3%83%ODIMENSIONAMENTOOTIMIZADOVIGAS.PDF](https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/9908/1/DISSERTA%C3%87%C3%83%ODIMENSIONAMENTOOTIMIZADOVIGAS.PDF)> ACESSO EM: 3 SET. 2019
- CAMPOS (2015) **EFEITO DA CONTINUIDADE NO COMPORTAMENTO E NA RESISTÊNCIA DE LAJES MISTAS COM FÔRMA DE AÇO INCORPORADA**. DISPONIVEL EM: <[HTTP://POS.DEES.UFMG.BR/DEFESAS/87M.PDF](http://pos.dees.ufmg.br/defesas/87m.pdf)> ACESSO EM 4 SET. 2019
- METFORM, (2015) **STEEL DECK A SOLUÇÃO DEFINITIVA EM LAJES**. DISPONIVEL EM: <[HTTP://WWW.METFORM.COM.BR/WORDPRESS/WP-CONTENT/UPLOADS/2015/STEELDECKMEFORM.PDF](http://www.metform.com.br/wordpress/wp-content/uploads/2015/steeldeckmetform.pdf)> ACESSO EM 3 SET. 2019
- VASCONCELLOS, A. L. CARACTERIZAÇÃO DAS CONSTRUÇÕES MISTAS AÇO/CONCRETO. REVISTA BIMESTRAL CONSTRUÇÃO METÁLICA, ABCEM, SÃO PAULO, N.73, P. 21-25, 2006.
- QUEIROZ, GILSON; PIMENTA, R.J.; MARTINS, A.G. **MANUAL DE CONSTRUÇÃO EM AÇO: ESTRUTURAS MISTAS** VOL 1. 2.ED. RIO DE JANEIRO: [S.N.], 2012. 68 P.
- LIMA, I. D. C. **ALTERNATIVAS DE SISTEMAS DE LAJES PARA EDIFÍCIO EM AÇO: ESTUDO COMPARATIVO**. SÃO CARLOS. 122P. DISSERTAÇÃO (MESTRADO) – UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS, 2009.
- OLIVEIRA, D.R. **DESENVOLVIMENTO DO PROJETO ARQUITETÔNICO EM ESTRUTURAS DE AÇO**. 2004 DISSERTAÇÃO (ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL) - UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, BELO HORIZONTE, 2004. 51 P.
- NARDIN, S.; TOLEDO, G. N.; SOUZA, A. S. C. **VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE PILARES MISTOS PARCIALMENTE REVESTIDOS EM EDIFÍCIOS DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS: ESTUDO DE CASO**. IN: CONSTRUMETAL 2010 – CONGRESSO LATINO-AMERICANO DA CONSTRUÇÃO METÁLICA, 2010, SÃO PAULO, ANAIS... SÃO PAULO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS, 2010, Nº 8.
- DIAS, L. A. M. **ESTRUTURAS DE AÇO. CONCEITO, TÉCNICAS E LINGUAGEM**. SÃO PAULO, ED. ZIGURATE, 2002.
- FABRIZZI, M. A. **CONTRIBUIÇÃO PARA O PROJETO E DIMENSIONAMENTO DE EDIFÍCIOS DE MÚLTIPLOS ANDARES COM ELEMENTOS ESTRUTURAIS MISTOS AÇO – CONCRETO**. DISSERTAÇÃO (MESTRADO EM ENGENHARIA DE ESTRUTURAS) - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, SÃO CARLOS, 2007.
- CHAVES, I. A. **VIGA MISTA DE AÇO E CONCRETO CONSTITUÍDA POR PERFIL FORMADO A FRIO PREENCHIDO**. DISSERTAÇÃO (MESTRADO EM ENGENHARIA DE ESTRUTURAS) - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, SÃO CARLOS, 2009.