FACULDADE CAPIXABA DA SERRA - MULTIVIX SERRA
ENGENHARIA CIVIL

ARIEL FREITAS CORRÊA
LUÍS ANDRÉ VON JESS DAUZACKER

ESTRUTURAS MISTAS - AÇO CONCRETO: VANTAGENS DA UTILIZAÇÃO

SERRA
2015

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca da Faculdade Capixaba da Serra - Multivix. Serra, ES.)

C824e

CORRÊA, Ariel Freitas.
Estruturas mistas – aço concreto: vantagens da utilização / Ariel Freitas Corrêa, Luís André Von Jess Dauzacker. – Serra: Faculdade Capixaba da Serra, 2015.

65 fls.

Orientador: Ronaldo Trapiá Garcia

Trabalho de conclusão de curso (Curso Engenharia de Civil) – Faculdade Capixaba da Serra. 2015.

1. Construção civil. 2. Aço - Estruturas. 3. Sustentabilidade. I. DAUZACKER, Luís André Von Jess. II. GARCIA, Ronaldo Trapiá. III. Faculdade Capixaba da Serra. IV. Título.

CDD:691

ARIEL FREITAS CORRÊA
LUÍS ANDRÉ VON JESS DAUZACKER

ESTRUTURAS MISTAS - AÇO CONCRETO: VANTAGENS DA UTILIZAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao programa de graduação em Engenharia Civil da Faculdade Capixaba da Serra – Multivix Serra, como requisito parcial para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil.
Orientador: Profº. Me. Ronaldo Trapiá Garcia

SERRA
2015

ARIEL FREITAS CORRÊA
LUÍS ANDRÉ VON JESS DAUZACKER

ESTRUTURAS MISTAS - AÇO CONCRETO: VANTAGENS DA UTILIZAÇÃO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Programa de Graduação em Engenharia Civil da Faculdade Capixaba da Serra – Multivix Serra, como requisito parcial para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em 09 e novembro de 2015

EXAMINADOR

Profº. Me. Ronaldo Trapiá Garcia
Faculdade Capixaba da Serra – Multivix Serra
Orientador

Dedicamos este trabalho a nossas famílias, pelo amor, compreensão e companheirismo e a nós mesmo, pelo esforço e dedicação.

Agradecemos aos professores que positivamente nos influenciaram nesta jornada, aos nossos amigos pelo companheirismo, e aos nossos familiares pela paciência.

Lutar e lutar, até que leões virem cordeiros.
(Hobin Hood, 1300)

RESUMO

A busca por soluções estruturais que apresentem bom desempenho, aliado aos benefícios construtivos e custo, é uma preocupação entre os construtores, assim sendo, o presente trabalho buscou apresentar e difundir os benefícios do uso de estruturas mistas em aço concreto, trazendo à luz questões pouco abordadas e gerando um material de consulta confiável para definição do sistema construtivo estrutural. A hegemonia da utilização do concreto armado, por anos traçou o perfil construtivo, entretanto, a cultura construtiva contemporânea apresenta aceitabilidade a novos modelos estruturais. O sistema estrutural misto aço concreto apresenta vantagens da racionalização ao aumento da eficiência do processo construtivo, permeando campos como, mão de obra, sustentabilidade, resistência, período executivo, custo e outros, a utilização de estruturas mistas apresenta-se viável a um mercado que exige qualidade, redução de tempo e custo. Foi possível observar durante a pesquisa que a definição do sistema estrutural está atrelada a diversos fatores que coadunam para escolha do modelo a ser aplicado, portanto, sistema estrutural misto aço concreto apresenta características que o torna viável dentro de um contexto favorável.

Palavras-chave: Modelos estruturais. Elementos construtivos. Sustentabilidade. Características estruturais. Custo.

ABSTRACT

The search for structural solutions that perform well, combined with the constructive benefits and cost is a concern among builders, therefore, this study aimed to present and disseminate the benefits of using composite structures in concrete steel, bringing to light some issues addressed and generating a reliable reference material for defining the structural building system. The hegemony of the use of reinforced concrete, for years drew the constructive profile, however, contemporary building culture presents acceptability to new structural models. The mixed structural concrete steel system features the rationalization advantages to increasing the construction process efficiency, permeating fields as labor, sustainability, resistance, managing time, cost and others, the use of composite structures presents itself viable in a market that demands quality, reduction of time and cost. It was observed during the survey that the definition of the structural system is linked to several factors that are in line to choose the model to be applied therefore mixed structural concrete steel system has features that makes it viable within a favorable context.

Keywords: Structural models. Constructive elements. Sustainability. Structural features. Cost.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – LAJE MISTA MOLDADA NO LOCAL 18
FIGURA 2 – SHOPPING SALVADOR 19
FIGURA 3 – EXEMPLO DE VIGAS MISTAS EM EXECUÇÃO 22
FIGURA 4 – TIPOS USUAIS DE VIGAS MISTAS 23
FIGURA 5 – EXEMPLO DE PILAR MISTO EM AÇO CONCRETO 25
FIGURA 6 – EXEMPLOS DE SEÇÕES TÍPICAS DE PILARES MISTOS 26
FIGURA 7 – FORMAS TÍPICAS DE LIGAÇÃO DE LAJES MISTAS 28
FIGURA 8 – TIPOS USUAIS DE CONECTORES 29
FIGURA 9 – CANTEIRO DE OBRA SHOPPING ESTAÇÃO BH 33
FIGURA 10 – EXEMPLO DE OCUPAÇÃO ÚTIL – VÃO DE 20 m 41
FIGURA 11 – SHOPPING ESTAÇÃO BH – OPERAÇÃO DURANTE EXECUÇÃO 44
FIGURA 12 – CONSUMO DE CONCRETO 54
FIGURA 13 – CONSUMO DE AÇO EM BARRAS 56
FIGURA 14 – CONSUMO DE AÇO EM PERFIS 56
FIGURA 15 – CONSUMO DE FORMAS 57
FIGURA 16 – CUSTO TOTAL 61

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – COMPARATIVO DE ADMINISTRAÇÃO DE OBRA 46
TABELA 2 – COMPARATIVO DE FUNDAÇÃO 47
TABELA 3 – COMPARATIVO DE LAJES 47
TABELA 4 – COMPARATIVO DE ALVENARIA 48
TABELA 5 – COMPARATIVO DE REVESTIMENTO 48
TABELA 6 – COMPARATIVO DE INSTALAÇÕES 49
TABELA 7 – COMPARATIVO DE PRAZO 49
TABELA 8 – COMPARATIVO DE CUSTOS 50
TABELA 9 – CONSUMO DE MATERIAIS PARA ESTRUTURA CONVENCIONAL..... 53
TABELA 10 – CONSUMO DE MATERIAIS PARA ESTRUTURAS MISTAS..... 53
TABELA 11 –CUSTO DO CONCRETO POR TIPO DE ESTRUTURA 58
TABELA 12 – CUSTO DAS ARMADURAS – CA-50..... 59
TABELA 13 – CUSTO DE PERFIS DE AÇO..... 59
TABELA 14 – CUSTO DE FORMAS..... 60
TABELA 15 – CUSTO DE FORMAS STEEL DECK..... 61

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 13

1 INTRODUÇÃO 13

1.1 JUSTIFICATIVA 13

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA 14

1.3 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA 15

1.4 OBJETIVOS GERAL 15

1.5 OBJETIVOS ESPECIFICOS 16

1.6 HIPÓTESE 16

1.7 METODOLOGIA 16

CAPITULO 2 18

2 REFERENCIAL TEÓRICO 18

2.1 ESCLARECIMENTOS QUANTO AO DIMENSIONAMENTO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS MISTOS 20

2.1.1 VIGAS MISTAS AÇO CONCRETO 20

2.1.1.1 COMPONENTES ESTRUTURAIS – VIGAS MISTAS 22

2.1.2 PILARES MISTOS AÇO CONCRETO 24

2.1.2.1 COMPONENTES ESTRUTURAIS – PILARES MISTOS 25

2.1.3 LAJES MISTAS AÇO CONCRETO 27

2.1.3.1 COMPONENTES ESTRUTURAIS – LAJES MISTAS 27

2.1.4 COMPONENTES ESTRUTURAIS – LIGAÇÕES ESTRUTURAIS 28

2.2 SUSTENTABILIDADE 30

2.3 VANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DE ESTRUTURAS MISTAS AÇO CONCRETO 31
2.4 CRITÉRIOS PARA ESCOLHA DO MODELO ESTRUTURAL MISTO AÇO CONCRETO 34
2.4.1 CRITÉRIOS DE ESCOLHA DO SISTEMA ESTRUTURAL 37
2.4.2 CLASSIFICAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DAS ESTRUTURAS MISTAS EM AÇO CONCRETO 38
2.4.2.1 FUNDAÇÃO 38
2.4.2.2 PERÍODO CONSTRUTIVO 39
2.4.2.3 DISPONIBILIDADE E CUSTO DOS MATERIAIS 39
2.4.2.4 LOCAÇÃO DA OBRA E ACESSOS 40
2.4.2.5 SISTEMAS COMPLEMENTARES 40
2.4.2.6 VÃOS LIVRES E ALTURA DA EDIFICAÇÃO 41
2.4.2.7 DESPERDÍCIO DE MATERIAIS E MÃO DE OBRA 42
2.4.2.8 SEGURANÇA DO TRABALHADOR 42
2.4.2.9 ADEQUAÇÃO AMBIENTAL 42
2.4.2.10 QUALIDADE E DURABILIDADE 43
2.4.2.11 INCÔMODOS EM PERÍMETRO URBANO 43
2.4.2.12 ESTÉTICA 45
2.4.2.13 CUSTOS DO EMPREENDIMENTO 45
2.5 COMPARAÇÃO ENTRE ESTRUTURAS MISTAS AÇO CONCRETO COM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO 46

CAPITULO 3 51

3 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS 51
3.1 VIABILIDADE ECONÔMICA 51
3.2 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O SISTEMA CONVENCIONAL E O SISTEMA EM ELEMENTOS MISTOS DE AÇO E CONCRETO 52
3.3 CONSUMO DE CONCRETO 54
3.4 CONSUMO DE AÇO EM BARRAS E PERFIS 55

3.5 CONSUMO DE FORMAS 57
3.6 CUSTO DA ESTRUTURA 58
3.6.1 CUSTO DA ESTRUTURA – CONCRETO 58
3.6.2 CUSTO DA ESTRUTURA – AÇO EM BARRAS 59
3.6.3 CUSTO DA ESTRUTURA – AÇO EM PERFIS 59
3.6.4 -CUSTO DA ESTRUTURA – FORMA 60
3.5.5 CUSTO DA ESTRUTURA – FORMA DE AÇO (STEEL DECK) 60
3.5.6 CUSTO TOTAL DA ESTRUTURA 63

CAPÍTULO 4 63

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS 63

REFERÊNCIAS 64

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO

No contexto da construção civil busca-se a racionalização dos processos e a redução de custo, a estrutura escolhida para uma edificação tem grande impacto no custo final do empreendimento, a escolha do tipo de estrutura influenciará toda a cadeia produtiva, com o avanço tecnológico novo modelos estruturais estão surgindo.

Inicialmente o concreto armado apresentava hegemonia nos processos construtivos, principalmente no que tange a construção de estruturas, porém, a busca por novas soluções arquitetônicas e estruturais aliadas ao aumento da produção industrial de aço estrutural no Brasil, possibilitou o desenvolvimento do processo construtivo estrutural misto aço concreto (ALVA; MALITE, 2005).

Este desenvolvimento está diretamente ligado à busca por novas técnicas construtivas e a evolução de um processo industrializado e eficaz para construção civil, a utilização do modelo estrutural misto proporciona a racionalização e o aumento da eficiência das construções (BRAGA; FERREIRA, 2011).

1.1 JUSTIFICATIVA

A NBR 8800/2008 – Projeto de estruturas de aço e estruturas mistas de aço concreto de edifícios, define estruturas mistas como sendo aquelas formadas por componentes de aço e de concreto, armado ou não, trabalhando em conjunto (NBR - 8800, 2008).

Por apresentarem características complementares o aço e o concreto são largamente utilizados na construção civil, todavia, como elementos compostos não como elementos mistos trabalhando em conjunto (FABRIZZI; GONÇALVES, 2008).

Definir qual tipo de estrutura usar em uma edificação deve ser um processo meticuloso, procurando analisar todos os fatores de uma obra (FABRIZZI; GONÇALVES, 2008).

Segundo Braga e Ferreira (2011), a utilização de estruturas mistas aço-concreto no Brasil é restrita a poucas obras, pois a cultura preferencial dos engenheiros civis é o concreto armado.

Concordando com Braga e Ferreira (2011), é necessário difundir-se informações que promovam o desenvolvimento de um olhar crítico sobre sistemas estruturais que demonstram característica de otimização e viabilidade executiva.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Na construção civil os materiais aço e concreto sempre foram utilizados para compor as estruturas de edificações, sendo empregados em conjunto ou separadamente, porém a utilização do conjunto nem sempre é feita de maneira mista, pois o concreto é visto como elemento de proteção contra o incêndio ou o aço utilizado com formas tubulares para preenchimento com concreto na construção de pilares (FABRIZZI; GONÇALVES, 2008).

Dentro deste contexto Alva e Malite (2005), definem que elementos mistos são constituídos pela associação de perfis de aço e concreto, havendo um somatório das vantagens estruturais nas regiões das solicitações estruturais.

A abordagem do trabalho fica restrito a dados técnicos sobre o material e os componentes estruturais propriamente ditos. Além disso, serão selecionadas informações sobre o uso do aço na construção civil mundial e brasileira. Em um segundo momento se constituirá no levantamento de comparações técnicas e financeiras de experiências, do uso de estruturas de aço na habitação de interesse social. Esse estudo também será realizado frente a empresas siderúrgicas, fabricantes

de estruturas, órgãos competentes e através de publicações da área, no intuito de observar a situação brasileira em relação ao consumo do aço no setor habitacional, levantando suas vantagens.

Para que o sistema estrutural misto aço concreto seja explorado de maneira abrangente, torna-se necessário conhecer seus componentes.

1.3 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

O uso de elementos mistos aço-concreto na construção de estruturas apresenta vantagens na redução de custo e rapidez de execução, proporcionados pela união da rigidez do concreto na resistência aos carregamentos laterais e o menor peso do aço e sua capacidade de vencer vãos maiores em estruturas tipo pórtico (ALVA; MALITE, 2005).

Mesmo apresentando características que apresentam a eficiência das estruturas mistas como solução estrutural, sua aplicabilidade ainda sofre resistência (DIAS, 2014).

Dentro deste contexto este trabalho busca responder as seguintes questões, quais as vantagens da utilização de estruturas mistas aço-concreto? E o que definiria a escolha desse modelo estrutural?

1.4 OBJETIVOS

O objetivo da pesquisa é expor vantagens das estruturas mistas de aço-concreto, conceituando suas principais características em relação aos sistemas construtivos convencionais e sua viabilidade econômica, evidenciando itens que influenciam a tomada de decisão sobre a escolha do modelo estrutural.

A eficiência de estruturas mistas aço-concreto está ligada a racionalização que é possibilitada pelas vantagens construtivas e estruturais intrínsecas de seus

componentes, a união entre método construtivo industrializado, alta resistência do aço, rigidez e o baixo custo do concreto conferem a estrutura vantagens econômicas (BRAGA; FERREIRA, 2011).

1.5 OBJETIVOS ESPECIFICOS

O objetivo especifico é mostrar as vantagens das estruturas mistas de aço/concreto, conceituando suas principais características em relação aos sistemas construtivos em concreto armado e sua viabilidade econômica de maneira comparativa, tendo o focos nos seguintes itens a seguir:

- ✓ Menor Custo de Administração;
- ✓ Sustentabilidade;
- ✓ Organização de Canteiro;
- ✓ Segurança;
- ✓ Economia nas Fundações;
- ✓ Rapidez de Execução;
- ✓ Maior Lucratividade do Investimento.

1.6 HIPÓTESE

Tem-se como hipótese a acentuação do incentivo a utilização de estruturas mistas em aço-concreto entre os engenheiros civis, rompendo com paradigmas.

1.7 METODOLOGIA

A pesquisa é dividida em duas etapas, a primeira busca o conhecimento a partir de levantamentos bibliográficos e pesquisas documentais, apresentando-se dados técnicos sobre os componentes estruturais, com informações sobre o uso de estruturas mistas na construção civil.

A segunda se constitui por comparações técnicas e financeiras de experiências ocorridas no país, do uso de estruturas mistas em habitações de interesse social com o levantamento de dados junto a empresas siderúrgicas, fabricantes de estruturas, órgãos competentes e publicações da área, ressaltando-se suas vantagens.

A pesquisa segue princípios exploratórios, por meio de revisão de literatura cientifica, que segundo Cervo et al. (2002), constitui o procedimento básico para o estudo cientifico, onde se busca o domínio do estado da arte sobre determinado tema.

CAPITULO 2

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A combinação dos materiais aço e concreto é ampla e deve ser explorada de maneira cuidadosa, considerando-se características de locação, projeto, execução, resistências e custo, podendo ser dividido em dois sistemas, o resistente a ações verticais e o resistente a ações gravitacionais (FABRIZZI; GONÇALVES, 2008).

Lajes e vigas distribuem os esforços horizontais, e se utilizam de elementos que resistam a solicitações no plano horizontal, lajes pré- moldadas tem sua rigidez vinculada à espessura do capeamento, em contra partida, lajes moldadas no local caracterizam rigidez facilitada, a figura x apresenta a concretagem de uma laje mista moldada no local (QUEIRÓZ, 2012).

Figura 1 – Laje mista moldada no local
Fonte: CBCA, 2015.

De modo geral empreendimentos residenciais não apresentam vãos maiores que seis metros, portanto, a utilização de lajes em concreto armado apresenta-se uma solução de custo material baixo, proporcionando um modelo estrutural de menor custo, porém, em empreendimentos comerciais, a valoração é conferida a flexibilidade do layout, ampliando-se espaços o que torna a utilização não só de lajes mistas uma solução racional, mas todo o modelo estrutural misto (FABRIZZI; GONÇALVES, 2008).

Figura 2 – Shopping Salvador
Fonte: Metálica, 2008.

Para que a utilização de estruturas mistas atenda as necessidades de maneira proporcional ao nível de solicitação que o empreendimento impõe, seu dimensionamento deve ser minucioso e executado por profissionais experientes, que analisarão a adequação do sistema estrutural misto a modelagem construtiva.

2.1 ESCLARECIMENTOS QUANTO AO DIMENSIONAMENTO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS MISTOS

O dimensionamento de elementos estruturais mistos de aço concreto é definido pela NBR 8800/2008, a norma determina em seus anexos a análise e dimensionamento de vigas, pilares e lajes mistas e salienta que todas as obras executadas total ou parcialmente com este modelo estrutural deve obedecer a projeto elaborado em concordância com esta norma.

2.1.1 VIGAS MISTAS AÇO CONCRETO

As vigas mistas de aço e concreto consistem em um componente de aço simétrico em relação ao plano de flexão, deve haver ligações na face superior por meio de conectores de cisalhamento entre o elemento de aço e a laje gerando homogeneidade do conjunto que resistirá à flexão, a flexão na viga ocorrerá no plano que passa pelos centros geométricos das mesas ou dos banzos superior e inferior do componente de aço (NBR - 8800, 2008).

Para critérios de dimensionamento a NBR 8800/2008 expõe algumas exigências e esclarecimentos.

> No caso de o componente de aço da viga mista ser um perfil I, a viga recebe a denominação de viga mista de aço e concreto de alma cheia, e no caso de ser uma treliça, de treliça mista de aço e concreto.
>
> As vigas mistas de aço e concreto de alma cheia podem ser biapoiadas, contínuas ou semicontínuas.
>
> As biapoiadas são aquelas em que as ligações nos apoios podem ser consideradas como rótulas.
>
> As contínuas são aquelas em que o perfil de aço e a armadura da laje têm continuidade total nos apoios internos. As semicontínuas são aquelas em que o perfil de aço não tem continuidade total nos apoios internos, ou seja, que possuem ligação de resistência parcial.

> As vigas mistas de aço e concreto de alma cheia biapoiadas devem ter relação entre a altura e a espessura da alma definidos a partir dos critérios da norma, apresentando valor inferior são definidas como compactas e podem ser dimensionadas usando as propriedades plásticas da seção mista, apresentando valor superior às vigas devem ser dimensionadas usando as propriedades elásticas da seção mista.
>
> Vigas mistas de aço e concreto de alma cheia, contínuas e semicontínuas devem possuir ligação mista.
>
> Treliças mistas de aço e concreto devem ser biapoiadas.
>
> A interação entre o aço e o concreto é completa, na região de momento positivo, se os conectores situados nessa região tiverem resistência de cálculo igual ou superior à resistência de cálculo do componente de aço à tração ou da laje de concreto à compressão, o que for menor. A interação é parcial caso a resistência de cálculo dos conectores seja inferior às duas resistências mencionadas.
>
> Vigas mistas podem ser escoradas ou não-escoradas durante a construção, somente são consideradas escoradas as vigas mistas nas quais o componente de aço permanece praticamente sem solicitação até a retirada do escoramento, que deve ser feita após o concreto atingir 75% da resistência característica à compressão especificada.
>
> Treliças mistas de aço e concreto devem atender aos seguintes requisitos, interação completa com a laje de concreto, linha neutra situada na laje de concreto, área do banzo superior desprezada nas determinações do momento fletor resistente de cálculo positivo e da flecha, resistência dos conectores de cisalhamento baseada na resistência do banzo inferior. (NBR – 8800, 2008, p. 168).

Malite (1990) ressalta duas situações que devem ser verificadas com maior atenção. Os estados limites devem ser considerados em construções não escoradas, antes da cura do concreto submetida ao peso próprio dos materiais, concreto fresco, sobrecarga construtiva, operários e equipamentos, portanto, a viga de aço isolada deve ser verificada à flexão e cisalhamento vertical segundo as recomendações de resistência da NBR 8800/2008 que define a flecha da viga de aço como uma parcela da deformação total da viga mista, em construções escoradas, apenas as verificações após a cura do concreto serão necessárias.

Os estados limites devem ser considerados após o concreto atingir 0,75 fck, submetida às ações de cálculo atuantes no pavimento, a flexão da viga mista e cisalhamento da viga de aço devem ser verificados, sendo que esta verificação é dependente da posição da linha neutra na seção transversal da viga mista, que passa pela alma, pela mesa do

perfil de aço ou pelo concreto, observa-se a tensão na mesa inferior da viga de aço e a flecha, utilizando a inércia da seção transformada, somada à flecha residual da viga de aço (MALITE, 1990).

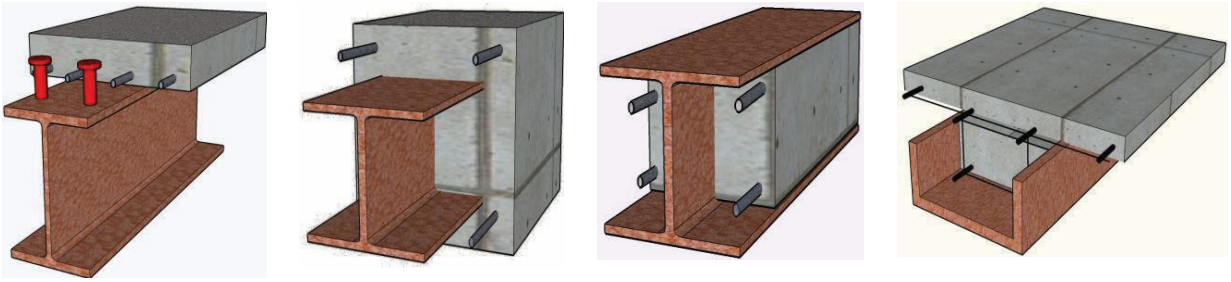
Figura 3 – Exemplo de vigas mistas em execução
Fonte: Metálica, 2008.

2.1.1.1 COMPONENTES ESTRUTURAIS – VIGAS MISTAS

As vigas mistas são constituídas pela combinação de lajes de concreto e vigas de aço, sendo sua utilização em tabuleiros de pontes e pisos de edificações, com objetivo de impedir ou amenizar a flambagem local e lateral da mesa e da alma em comparação com vigas de aço isolados.

O perfil com viga de aço mais utilizado em edifícios é do tipo “I”, sendo as lajes moldadas in loco com face inferior plana ou em forma de aço (steel deck), ou elementos

formas pré-fabricas, sendo as vigas mistas mais usuais indicadas na figura 1 (ALVA; MALITE, 2005).



Laje com face inferior plana | Viga totalmente embutida no concreto | Viga preenchida por concreto | Viga caixão preenchida por concreto

Figura 4 – Tipos usuais de vigas mistas
Fonte: De Nardin et al., 2008.

As vigas apresentadas na figura 1 têm como vantagem a rigidez proporcionada pela associação dos elementos de aço-concreto, o que possibilita a redução de suas seções, provocando a economia de material (ALVA; MALITE, 2005).

Segundo Alva e Malite (2005), a utilização do sistema de viga mista em piso, proporciona como vantagem maior resistência e rigidez no piso, com isso possibilita a redução da altura dos elementos estruturais, consequentemente implica em uma redução de custo com material.

2.1.2 PILARES MISTOS AÇO CONCRETO

A NR8800/2008 apresenta para critério de dimensionamento o método simplificado de pilares mistos com seções transversais total ou parcialmente revestidas com concreto e com seções preenchidas com concreto, submetidos à compressão axial ou à flexo-compressão, algumas exigências e esclarecimentos são definidos para auxiliar durante o dimensionamento de pilares mistos.

> A norma define que o concreto aplicado aos pilares deve possuir densidade normal.
>
> Pilares mistos com seções transversais total ou parcialmente revestidas com concreto devem possuir perfil de aço I ou H soldado ou laminado.
>
> Os pilares com seções transversais preenchidas com concreto devem possuir perfil de aço tubular retangular ou circular.
>
> Segundo a norma para que o dimensionamento seja feito pelo método simplificado alguns critérios devem ser atendidos.
>
> Deve haver interação completa entre o concreto e o aço, as imperfeições iniciais devem ser consistentes com aquelas adotadas para a determinação da resistência de barras de aço submetidas à compressão axial e a flambagem local para força axial e momento fletor não pode ser um estado-limite último predominante.
>
> O método simplificado apresenta alguns limites de aplicação que devem ser observados durante o dimensionamento.
>
> Os pilares mistos devem ter dupla simetria e seção transversal constante.
> O concreto utilizado deve possuir densidade normal.
>
> A esbeltez relativa do pilar, não pode ser maior que o especificado por norma.
>
> As seções transversais preenchidas com concreto podem ser fabricadas sem qualquer armadura, exceto para algumas condições em situação de incêndio.
>
> Para as seções transversais total ou parcialmente revestidas com concreto, a área da seção transversal da armadura longitudinal não deve ser inferior a 0,3 % da área do concreto.
>
> A máxima porcentagem de armadura na seção de concreto é de 4 %.
>
> A relação entre a altura e a largura das seções transversais mistas retangulares deve estar dentro do intervalo definido pela norma.

Para as seções totalmente revestidas com concreto, os cobrimentos do perfil de aço devem estar dentro dos limites definidos pela norma.

Quando a concretagem for feita com o pilar já montado, deve-se comprovar que o perfil de aço resiste isoladamente às ações aplicadas antes do concreto atingir 75% da resistência característica à compressão especificada.

Para as seções total ou parcialmente revestidas com concreto, devem existir armaduras longitudinal e transversal para garantir a integridade do concreto.

A armadura longitudinal pode ser considerada ou não na resistência e na rigidez do pilar misto.

O projeto das armaduras deve atender aos requisitos da norma ABNT NBR 6118 (NBR – 8800, 2008, p. 198).

Figura 5 – Exemplo de pilar misto em aço concreto
Fonte: Metálica, 2008.

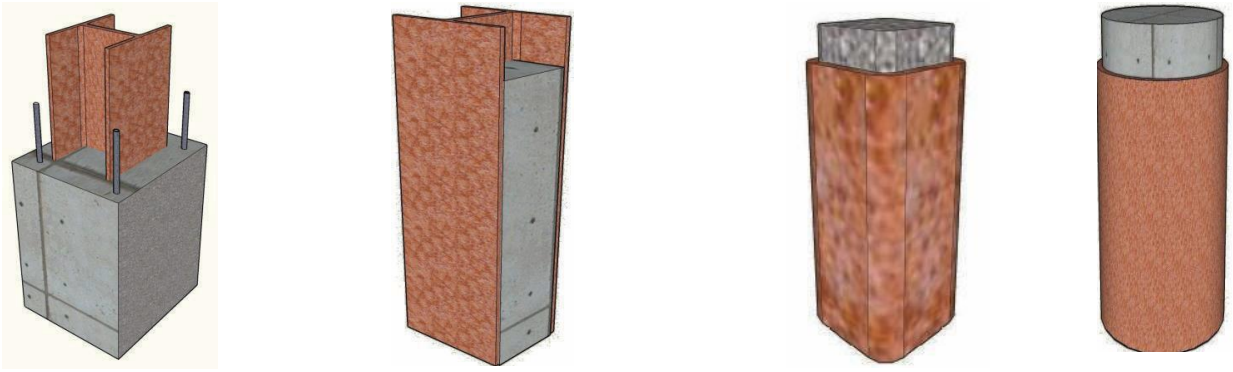
2.1.2.1 COMPONENTES ESTRUTURAIS – PILARES MISTOS

De maneira geral os pilares mistos eram revestidos ou preenchidos em concreto com objetivo de proteger os perfis de aço contra o fogo. Com o tempo o concreto passou a preencher perfis tubulares, surgindo os pilares mistos, esta combinação aumenta a resistência, agregando rigidez ao pilar sob carregamentos horizontais, atendendo

solicitações devido a ventos e eventuais sismos. A ductilidade é um diferencial dos pilares mistos, pois quando comparados com pilares de concreto armado, isolados, apresentam um comportamento dúctil superior (FABRIZZI; GONÇALVES, 2008).

Existem vários formatos de perfis de pilares mistos, como pode ser observado na figura 3.

Pilares preenchidos com concreto têm como vantagem a utilização do próprio perfil como forma, pilares parcialmente envolvidos com concreto podem recebê-lo antes da montagem e ainda na posição vertical, aplicando-se o concreto em um dos lados e após dois dias o outro. Pilares de tubulares apresentam superioridade quanto à resistência, pois, ao se confinar o concreto sua resistência é aumentada (FABRIZZI; GONÇALVES, 2008).



Pilar revestido | Pilar parcialmente revestido | Pilares preenchidos

Figura 6 – Exemplos de seções típicas de pilares mistos
Fonte: Nardin et al., 2008.

2.1.3 LAJES MISTAS AÇO CONCRETO

A NBR 8800/2008 define laje mista de aço e concreto, como aquela em que, na fase final, o concreto atua estruturalmente em conjunto com a fôrma de aço, funcionando como parte ou como toda a armadura de tração da laje.

O modelo de dimensionamento e as especificações tratadas na norma são dirigidos a lajes mistas de aço e concreto, apoiadas na direção perpendicular às nervuras, aplicada a situações onde as ações são predominantemente estáticas (NBR – 8800, 2008).

A norma desconsidera a aderência natural entre o concreto e o aço para o comportamento misto, determinando que esta aderência deve ser garantida pela ligação mecânica por meio de mossas nas fôrmas de aço trapezoidais e pela ligação por meio do atrito devido ao confinamento do concreto nas fôrmas de aço reentrantes, outros meios de garantir o comportamento misto fogem ao padrão especificado pela norma, as fôrmas de aço devem ser capaz de transmitir o cisalhamento longitudinal na interface entre o aço e o concreto (NBR 8800, 2008).

Em seu livro, Estruturas Mistas, Queiróz (2012) assevera que o calculo de lajes mistas envolve a análise na fase de construção, onde deve ser verificado, a sustentação dos pesos do concreto fresco e da sobrecarga de construção atuando sobre a forma, que trabalha isoladamente e na fase mista onde a resistência do concreto atingiu 0,75 fck.

2.1.3.1 COMPONENTES ESTRUTURAIS – LAJES MISTAS

O sistema de lajes mistas é recente no Brasil, registrando um aumento recente na sua utilização. Nos Estados Unidos e Europa a utilização em edificações e pontes é comum. Como o sistema de lajes mistas inicialmente apareceu na década de 50 na Europa utilizando o processo de atrito aonde a forma de aço corrugado ficava apoiada na viga

de aço. As formas para laje atualmente com o avanço tecnológico tem empregado vários tipos de perfis entre eles o steel deck se mostrou o mais apropriado e difundido nas construções de edifícios comerciais, residências, hospitais e outros. Assim são apresentadas na figura 2, as formas típicas de ligação em lajes mistas (ALVA; MALITE, 2005).

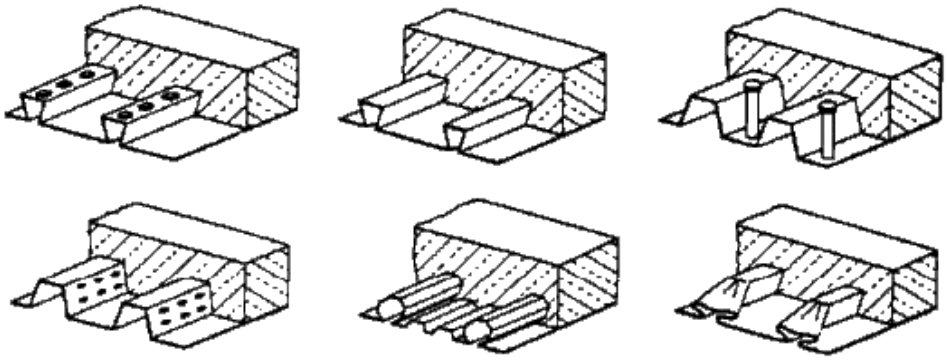


Figura 7 – Formas típicas de ligação de lajes mistas
Fonte: Alva, Malite, 2005.

O endurecimento do concreto da laje na forma de aço transfere as tensões horizontais de cisalhamento para forma, com isso as ligações apresentadas na figura 2, fazem a ancoragem do concreto (ALVA; MALITE, 2005).

Com a dispensa de escoramento na laje e a facilidade de colocação dos dutos de comunicação, ar condicionado, elétrico e outros sistemas, a lajes mistas apresentam com isso a vantagem de proporcionar maior resistência mecânica ao cisalhamento e diminuindo o seu peso e o custo de fundação (ALVA; MALITE, 2005).

2.1.4 COMPONENTES ESTRUTURAIS – LIGAÇÕES ESTRUTURAIS

As ligações estruturais denominadas conectores, cumprem a função de impedir o afastamento vertical entre a laje e a viga de aço, através da absorção dos esforços de

cisalhamento nas duas direções de trabalho do esforço. Eles são classificados em flexíveis e rígidas, sendo o conceito relacionado à capacidade de limitar o escorregamento gerado na ligação da viga de aço / laje de concreto (ALVA; MALITE, 2005).

Existem diversos tipos de conectores flexíveis, porém, o mais utilizado mundialmente é o tipo pino de cabeça, por certo este título é conferido devido à característica de fácil instalação, utilizando o processo de soldagem semi-automático que atribui resistência em todas as direções do cisalhamento (ALVA; MALITE, 2005).

A figura 1 ilustra alguns dos tipos de conectores usuais.

‘

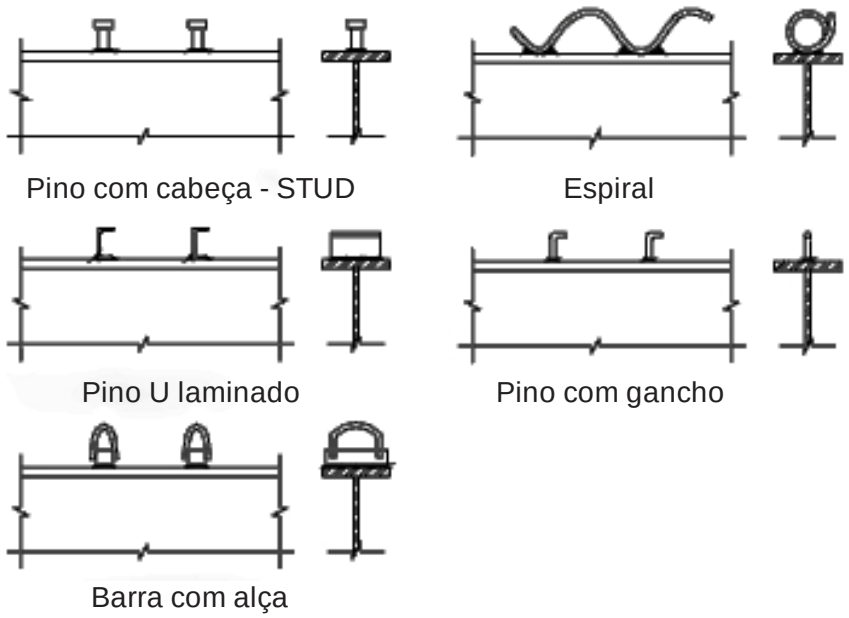


Figura 8 – Tipos usuais de conectores
Fonte: Alva, Malite, 2005.

Conforme Alva e Malite (2005), os resultados de experimentos são apresentados por expressões ou tabelas para determinar a capacidade de cada tipo de conector à resistência ao cisalhamento, essa característica estrutural existe entre a força transmitida pelo conector e o escorregamento relativo na interface aço concreto, sendo

assim determinada à ductilidade do conector, garantindo que em caso de colapso a ruptura será do tipo dúctil.

As características dos elementos, aço e concreto, são diferentes, porém complementares. O aço apresenta elevada resistência à tração e confere aos elementos esbeltez, o concreto possui grande resistência à compressão, alta rigidez e oferece ao aço proteção contra corrosão e altas temperaturas, os dois materiais apresentam coeficiente de dilatação térmico próximo, anulando deformações térmicas diferenciais, a combinação de suas características proporcionam a solução ideal as solicitações estruturais (FABRIZZI; GONÇALVES, 2008).

Conhecendo os componentes que formam as estruturas mistas, torna-se possível conceber modelos estruturais que permitam sua utilização, esta análise concorre para que sistemas estruturais mistos difundam-se no contexto executivo, rompendo paradigmas e transformando a hegemonia cultural de sistemas construtivos convencionais, o que justifica a busca pelo estado da arte.

2.2 SUSTENTABILIDADE

O desenvolvimento sustentável é uma parte essencial do nosso cotidiano, estando presente em todos os setores da sociedade, a indústria da construção civil exerce um grande papel na economia mundial, mas em contra partida gera uma significativa contribuição nos impactos ambientais (LEMOINE, 2002).

Os modelos estruturais desenvolvidos podem auxiliar na redução do crédito de consumo dos recursos naturais, por apresentares materiais e características construtivas que minimizam o impacto ambiental (LEMOINE, 2002).

Dias (2014) assevera que o modelo estrutural misto aço concreto é extremamente versátil, durável e compatível com os conceitos de desenvolvimento sustentável na construção civil, pois oferece racionalidade ao processo e reduz a utilização de outros

insumos na cadeia produtiva, o que torna esta tipologia estrutural ideal para construção de edificações dentro do contexto sustentável.
Durante o processo de fabricação do aço é retirada uma molécula de oxigênio do ferro, resultando em um material homogêneo e desprovido de substâncias nocivas ao meio ambiente, os derivados de sua produção retornam a cadeia produtiva, sendo em sua totalidade reutilizados (LEMOINE, 2002).

Uma edificação que utiliza o modelo estrutural misto aço concreto durante sua execução, apresenta uma economia de 40 % do consumo geral de água quando comparada com uma construção executada com concreto armado. Quanto à demolição, a simplicidade das ligações torna rápido o desmonte da edificação, reduzindo ruídos, poeira e outros agentes desfavoráveis ao meio ambiente, tornando o processo mais seguro, limpo e permitindo o descarte seletivo dos materiais (LEMOINE, 2002).

2.3 VANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DE ESTRUTURAS MISTAS AÇO CONCRETO

A utilização de diferentes materiais em sistemas estruturais mistos advém da busca pela associação das características únicas de cada elemento, para que se majore a eficiência das edificações.

Os sistemas mistos aço concreto ampliam consideravelmente as soluções estruturais, a capacidade de vencer grandes vãos e a precisão milimétrica do aço une-se a rigidez e mobilidade do concreto o que garante um ótimo desempenho do modelo estrutural (DIAS, 2014).

Bellei (2008) indica algumas das vantagens da utilização de estruturas mistas de aço concreto, sendo que a utilização de perfis de aço na estrutura torna a execução da edificação mais rápida, sua montagem é mais acelerada quando comparada a outros

tipos de estruturas, esta característica viabiliza um retorno mais rápido do capital investido.

Segundo Pinho (2008), em alguns casos é necessário atrasar o início das obras para que se capitalize o empreendimento, começando-se as atividades com maior volume de capital dos clientes, mesmo postergando início das atividades é possível atender os prazos contratados, pois há economia de tempo na execução da estrutura.

A flexibilidade presente nos sistemas estruturais mistos amplia consideravelmente as soluções arquitetônicas, esta propriedade possibilita a melhoria das disposições construtivas, o que é permitido pela utilização de diferentes perfis de aço, havendo associação estrutural com o sistema estrutural metálico as propriedades de flexibilidade construtiva podem ser potencializadas (PINHO, 2008).

O aço utilizado nas estruturas mistas imprime uma precisão milimétrica, melhorando a condição dimensional da obra, facilitando a interface entre equipamentos e outros elementos industrializados ligados a estrutura, aumentando a precisão de gabaritos, prumos e alinhamentos, controlando e melhorando a qualidade do produto final (BELLEI, 2008).

Pinho (2008) afirma que a contribuição do aço utilizado no sistema estrutural misto aumenta sua resistência em 90% quando comparado com estruturas de concreto armado que é de 40%, reduzindo o consumo de aço estrutural e consequentemente o custo, o aço utilizado em estruturas mistas apresenta maior controle de qualidade, pois os perfis são produzidos por siderúrgicas sendo somente montada a estrutura no canteiro de obras, o que reduz o acumulo de resíduos no canteiro de obras e os gastos com sua retirada.

O concreto utilizado na produção da estrutura reduz ou dispensa a utilização de formas de madeira e escoramentos, a diminuição do volume de concreto possibilitado pela redução das seções, devido à propriedade resistente superior dos perfis de aço, reduz

o peso próprio da estrutura, consequentemente o dimensionamento da fundação é impactado, necessitando de uma quantidade menor de estacas por base o que altera o custo da fundação, a associação do concreto aos perfis de aço contribuem para redução das instabilidades locais do aço e proporciona proteção contra corrosão e o incêndio (PINHO, 2008).

O processo industrializado desse sistema industrial contribui com a redução de material estocado em obra não havendo a necessidade de grandes locais de armazenagem, materiais como, areia, agregado, cimento, madeira e ferragens não sofrem perdas ou desperdício.

Figura 9 – Canteiro de obra shopping Estação BH
Fonte: GERDAL, 2015.

A execução da estrutura mista possibilita um maior número de frentes de trabalho simultaneamente, diversas atividades podem ser desenvolvidas em conjunto à execução da estrutura.

O processo de produção desse modelo estrutural requer mão de obra especializada que atenda a racionalização estrutural com materiais pré-fabricados, o que reduz o quadro funcional, propiciado pelo conhecimento técnico operacional e pelo modelo construtivo, implicando na redução dos gastos com encargos sociais.

Obras executadas em estruturas mistas de aço concreto oferecem maior segurança ao trabalhador, pois o canteiro de obras não dispõe de restos de formas e ferragens, pregos, pregos, madeira ou grandes volumes de resíduos, com um canteiro de obras limpo que contribui com a redução de acidentes.

O impacto ambiental desse sistema estrutural é deveras reduzido, o consumo de energia, matérias primas, emissão de poeira, trafego, ruídos sonoros, geração de resíduos é consideravelmente reduzido quando comparado a outros modelos construtivos, por conseguinte, contribui com os modelos de ecoeficiência construtiva.

A comparação entre sistemas estruturais não deve ser gerada com intuito de incentivar a competitividade, para que não se desenvolva uma mentalidade que influencie a dinâmica construtiva, cada modelo estrutural apresenta características distintas que beneficiam a construção, explorar de maneira comparativa sistemas estruturais deferentes funcionaliza o desenvolvimento técnico e tecnológico trazendo uma visão holística das diferentes características dos modelos estruturais.

2.4 CRITÉRIOS PARA ESCOLHA DO MODELO ESTRUTURAL MISTO AÇO CONCRETO

A utilização de estruturas mistas no Brasil esta se tornando parte do cotidiano, de acordo com Queiroz (2012), após a inserção de vigas mistas na primeira edição da norma da ABNT NBR 8800 em 1986, o modelo estrutural misto em aço concreto evolui

no contexto construtivo brasileiro, mesmo estruturas construídas originalmente em aço tem em sua totalidade vigas produzidas com o sistema construtivo misto.

A tendência na área de construção é de aumentar a utilização da estrutura mistas, ainda carente no Brasil por um fato cultural e histórico (ANDRADE, 2000).

Para Pinho (2008), o modelo estrutural misto em aço concreto sofre ainda com alguns preconceitos relacionados a paradigmas que impedem a análise correta deste sistema estrutural como alternativa construtiva.

Na maioria dos casos o senso comum e a falta de embasamento técnico e teórico direcionam a tomada de decisão quanto ao tipo de sistema estrutural, opiniões baseadas em convencionalismos comuns sem fundamento e pautadas em expressões do tipo, o aço da estrutura mista torna caro o empreendimento, há dificuldades com as interfaces entre elementos estruturais, o aço enferruja necessitando manutenção periódica, o aço precisa de tratamento contra fogo, a ligação entre o concreto e o aço não permiti a homogeneidade do sistema (CORRÊA, 2001).

Este estudo não intenciona afirmar ou influenciar a escolha do sistema estrutural misto como solução construtiva ótima, e sim proporcionar uma visão racional e estruturada que amplie a análise qualitativa e de viabilidade de investimento, considerando os critérios sintéticos na tomada de decisão do modelo estrutural misto como solução para o conjunto da obra.

Corrêa (1991) expõe que diversos fatores devem ser considerados para que o sistema estrutural adequado ao empreendimento seja escolhido, conformar a estrutura com a funcionalidade da edificação, escolher os materiais empregados, definir o arranjo dos elementos estruturais de maneira eficiente não é uma questão simples. A eficiência estrutural e econômica deve ser proveniente da integração entre os componentes estruturais a partir da exploração das propriedades de cada material.

Um método que identifique o melhor sistema estrutural a ser utilizado considera a experiência e cultura da executora do empreendimento o tipo de edificação a ser analisada e suas características, com base no conhecimento dos diversos sistemas estruturais.

Para Dias (2014) um dos aspectos mais importantes para o êxito de empreendimentos que utilizam estruturas mistas aço concreto é o planejamento e desenvolvimento do projeto, usualmente, estas obras direcionam-se fortemente a um conceito industrializado com as interfaces de transição entre sistemas estruturais de diferentes tipos tratadas.

O momento ideal para escolha do sistema estrutural é durante a definição da concepção e o estudo de viabilidade, pois a possibilidade de interferência é alta e o custo acumulado é baixo (PINHO, 2008).

Para que se defina a tipologia construtiva todas as características e informações do empreendimento devem ser levantadas, observando-se quais as características interfere na escolha do sistema estrutural, tipo de fundação, tempo de execução, tipo de ocupação, disponibilidade e custo dos materiais, recursos financeiros, acessos a obra, espaço livre para estrutura e canteiro, altura da edificação, interferências e adaptações, sistemas complementares compatíveis, vãos livres, estética, controle de desperdício de materiais e mão de obra, proteção contra corrosão e fogo, adequação ambiental, desempenho, durabilidade e qualidade, interferência com áreas perimetrais, segurança do trabalhador, manutenção e custo financeiro (DIAS, 2014).

Pinho (2008) descreve que existem várias alternativas estruturais de solução para os componentes, elemento, subsistemas e sistemas complementares que integram o empreendimento, a escolha da configuração estrutural esta ligada as alternativas corretas de itens que irão compor o sistema, para o sistema misto deve-se avaliar o tipo de perfil de aço a ser utilizada, modulação dos vãos, tipos de laje, vigas e pilares, estabilidade horizontal, ligações estruturais, proteção contra corrosão e incêndio,

durabilidade, montagem, resistência traço e adensamento do concreto, definição das seções, necessidade de formas, sequência de concretagem.

2.4.1 CRITÉRIOS DE ESCOLHA DO SISTEMA ESTRUTURAL

Para que se considere o sistema estrutural misto como mais adequado a aplicação no empreendimento, características importantes do sistema estrutural devem ser cruzadas com outros sistemas compatíveis com a edificação, para que haja a comprovação do atendimento da configuração do melhor desempenho do modelo estrutural a ser adotado (PINHO, 2008).

As características da edificação devem ser hierarquizadas de acordo com o grau de importância, este método avaliativo potencializa de maneira favorável a comparação entre os sistemas estruturais, evitando-se uma análise intuitiva.

Esta comparação eleva o valor agregado do projeto do empreendimento e conduz a uma solução mais assertiva ao definir-se o uso de estruturas mistas em aço concreto, este modelo de definição deve ser desenvolvido de maneira individual, por cada empresa e para cada empreendimento.

Com o desenvolvimento do conhecimento empírico o modelo o deve ser atualizado e aperfeiçoado continuamente para que a metodologia esteja em concordância com as evoluções mercadológicas e tecnológicas tornando-se mais eficaz na definição do modelo estrutural.

2.4.2 CLASSIFICAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DAS ESTRUTURAS MISTAS EM AÇO CONCRETO

Para que se analisem as características que influem a escolha do sistema estrutural misto os critérios devem ser analisados de maneira isolada e em conjunto, esta análise implica no conhecimento de propriedades semelhantes a outros sistemas estruturais, os parâmetros definidos para analise devem ser completos e atualizados, para que a avaliação não seja errônea comprometendo o desempenho do empreendimento.

Dias (2014), apresenta alguns critérios relevantes a influência da tomada de decisão quanto ao uso do sistema estrutural misto de aço concreto, os tópicos que seguem apresentam estes critérios.

2.4.2.1 FUNDAÇÃO

O sistema estrutural misto influencia diretamente as cargas transferidas à fundação, o peso aplicado às fundações é menor, característica intrínseca deste sistema estrutural, influenciando de maneira considerável o custo da fundação e tornando-se um fator para decisão sobre o uso deste tipo de estrutura (DIAS, 2014).

Em solo resistente esta característica não apresenta grande influência, podendo representar a redução de estacas por base, porém, em solos pobres, que apresentam resistência baixa, esta redução de carga se torna a característica que pode definir a construção da edificação (DIAS, 2014).

A maior influência sobre a decisão da utilização de estruturas mistas, correlacionado a fundações é ligada a solos de baixa resistência, com subsolos e edificações no perímetro do empreendimento.

2.4.2.2 PERÍODO CONSTRUTIVO

O tempo de execução do empreendimento realizado com estruturas mistas é reduzido, contudo, está diretamente relacionado à disposição do recurso financeiro do contratante do serviço, devendo o período executivo estar ajustado ao ritmo de desembolso.

O caminho crítico de execução da obra não é vinculado à construção das estruturas como em estruturas convencionais o que limita a velocidade da obra, o uso de estruturas mistas permite a fabricação das peças estruturais no mesmo momento em que se executa a fundação o que reduz consideravelmente o tempo de obra.

A característica que fortalece a tomada de decisão quanto ao uso de estruturas mistas no que cerne o tempo de execução da estrutura é a redução de de tempo e a possibilidade de várias frentes de serviço executadas ao mesmo tempo.

2.4.2.3 DISPONIBILIDADE E CUSTO DOS MATERIAIS

A disponibilidade de materiais é um item de relevância, alguns materiais são cotados em dólar e com a flutuação do mercado financeiro o custo do material pode ser alterado durante o período executivo, mudanças no mercado podem também influenciar a competitividade e disponibilidade do material no mercado afetando sua oferta.

Algumas regiões podem dispor do material de forma abundante e outras apresentar transtornos quanto ao transporte ou processamento do material e inviabilizar sua utilização.

Estruturas mistas utilizam como material primário perfil de aço e concreto usinado, assim, a disponibilidade de fornecimento destes materiais em abundancia torna a

execução das estruturas viável, observando-se prazos de entrega e custo dos materiais.

2.4.2.4 LOCAÇÃO DA OBRA E ACESSOS

Conhecer os acessos da obra é de suma importância para o planejamento logístico de entrega de materiais, conhecer as condições das estradas, distância entre local de carga e descarga, restrições de transito, materiais disponíveis na periferia da obra, interferências quanto a redes elétricas e outras interferências podem influenciar na tomada de decisão quanto ao uso do sistema estrutural misto, locais próximos a centros de distribuição e sem problemas de acesso apresentam-se mais váveis ao uso deste modelo estrutural.

2.4.2.5 SISTEMAS COMPLEMENTARES

Sistemas estruturais mistos têm seus componentes padronizados para que sua fabricação atenda as exigências dos processos industrializados, havendo a necessidade de utilização de componentes que sejam compatíveis com este sistema estrutural

A maior precisão das estruturas de aço, com tolerâncias em milímetros, associada à característica de quase sempre conduzir para estruturas mais moduladas, tem viabilizado cada vez mais a indústria dos sistemas complementares que necessitam de padronização, como as lajes pré-fabricadas e as vedações internas e externas.
Quanto maior a disponibilidade de produtos que se compatibilizem o processo executivo de estruturas mistas, como lajes, ligações, materiais de proteção e acabamento, maior a possibilidade do emprego deste sistema no empreendimento.

2.4.2.6 VÃOS LIVRES E ALTURA DA EDIFICAÇÃO

O mercado da construção concorre para que se liberem áreas de ocupação útil da edificação, vencendo distancias de maiores vãos livres com componentes leves pode-se alcançar este objetivo, o sistema estrutural misto apresenta esta característica.

Vigas trabalhando individualmente ou em conjunto com lajes, travadas lateralmente nos pilares, aproveitam as característica do aço para vencer grandes vãos ocupando um menor espaço estrutural.

Figura 10 – Exemplo de ocupação útil – Vão de 20 m
Fonte: GERDAL, 2015.

O aço utilizado em estruturas mistas é fabricado em siderúrgicas que seguem as especificações de norma, sofrendo uma rigorosa inspeção de qualidade cada tipo apresentando uma determinada resistência ao fogo, além deste efetivo controle o revestimento de concreto cria uma barreira resistiva as chamas limitando a transferência de calor até o aço estrutural. Todas as ligações estruturais devem receber cobrimento protetivo criando uma camada de proteção contra o fogo e a corrosão.

A proteção contra o fogo é intrínseca do aço e a proteção conferida pelo concreto torna o modelo estrutural em aço concreto ideal quanto a sistemas de proteção contra o fogo.

2.4.2.7 DESPERDÍCIO DE MATERIAIS E MÃO DE OBRA

Uma das preocupações durante a execução de obras é o desperdício de materiais, o método artesanal convencional não racionaliza os materiais gerando um grande desperdício, o emprego de materiais pré-fabricados no sistema estrutural misto otimiza o processo de produção reduzindo quase a zero o desperdício de materiais e serviços.

No entanto a redução de desperdício da obra é proveniente de um planejamento que otimize a utilização dos materiais e suas interfaces, uma estrutura padronizada é compensadora quanto a redução de desperdícios.

2.4.2.8 SEGURANÇA DO TRABALHADOR

Construções industrializadas apresentam índices de redução de acidentes, os trabalhos de conscientização e a utilização de máquinas e equipamentos de proteção modernos contribuem para que os índices se minimizem.

O processo construtivo de estruturas mistas é totalmente controlado, da fabricação a montagem, os índices de segurança são comparáveis aos de fábricas.

2.4.2.9 ADEQUAÇÃO AMBIENTAL

A metodologia construtiva do sistema estrutural misto é rápida e limpa, a racionalização de materiais e o baixo nível de desperdício favorecem a proteção ambiental.

Sendo o aço o material mais reciclável do mundo, ao se findar a vida útil da edificação, uma grande porcentagem do material constituinte da estrutura retorna a sua cadeia produtiva sendo reprocessado em auto-fornos, mantendo suas características de qualidade.

O sistema estrutural misto atende aos critérios da legislação ambiental, o que corrobora para escolha deste sistema estrutural.

2.4.2.10 QUALIDADE E DURABILIDADE

Quando comparados sistemas estruturais não se deve considerar apenas os custos a qualidade, durabilidade e o desempenho são fatores preponderantes a escolha do modelo estrutural.

O controle de qualidade dos materiais utilizados em estruturas mistas confere a este sistema construtivo o domínio de mecanismos de deterioração que provocam patologias a curto, médio e longo prazo, mesmo o ambiente apresentando alta agressividade e dificuldades de manutenção preventiva ruins.

A qualidade do aço estrutural produzido por usinas siderúrgicas e do concreto usinado aumentam a estimativa da durabilidade tornando o empreendimento mais seguro e confiável que outros sistemas estruturais.

2.4.2.11 INCÔMODOS EM PERÍMETRO URBANO

Construções em áreas urbanizadas trazem transtorno para o entorno da obra, ruído, poeira, entulho e interferências no trafego são alguns dos contratempos ocasionados pelas obras.

O sistema estrutural misto reduz consideravelmente o impacto à circunvizinhada da obra, por ser uma estrutura de execução rápida, produzir menos ruído e poeira e ser racionalizada gerando uma quantidade baixa de resíduos.

Para que se minimize a interferência ao trafego do local as montagens e concretagens podem ser programadas para momentos de menor fluxo de veículos, reduzindo o incomodo a níveis mínimos.

Figura 11 – Shopping Estação BH – Operando durante execução
Fonte: GERDAL 2008.

2.4.2.12 ESTÉTICA

A estética é um item importante das edificações, pois demonstra modernidade, eficiência e conforto, utilizando-se por vezes da própria estrutura, mantendo-a aparente, para que se alcance este objetivo, salienta-se que estruturas expostas necessitam de uma manutenção preventiva com intervalo de tempo menor, estando em contato com condições ambientais sofre desgaste co agentes agressivos (PINHO, 2008).

2.4.2.13 CUSTOS DO EMPREENDIMENTO

Os custos de um empreendimento podem definir seu modelo estrutural, a taxa de retorno pode conduzir a um sistema estrutural de execução mais acelerada.

O sistema estrutural misto potencializa ganhos por antecipação de cronograma de execução, sua execução é rápida, o que antecipa o cronograma de entrega da obra, viabilizando empreendimentos comerciais.

Deve-se considerar que cronogramas de empreendimentos comerciais apresentam a mesma grandeza que o custo de sua estrutura, independente do custo de sua execução ser mais alto seu resultado pode viabilizar resultados ao empreendimento.

Cada edificação apresenta uma representação financeira, a análise do retorno após sua execução é o que definirá o sistema estrutural mais adequado.

Quanto mais rápido se define o modelo estrutural a ser utilizado, maior será o tempo de planejamento e otimização deste sistema obtendo-se um desempenho maior.

2.5 COMPARAÇÃO ENTRE ESTRUTURAS MISTAS AÇO CONCRETO COM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

É impossível afirmar que uma técnica é melhor ou pior que a outra, pois o que se deve observar conforme Andrade (2000) é o resultado custo beneficio. A tabela 1 apresenta um comparativo de administração da obra entre um edifício de estrutura metálica e outro convencional.

TABELA 1 – COMPARATIVO DE ADMINISTRAÇÃO DE OBRA

EDIFÍCIOS ESTRUTURAS MISTAS	EDIFÍCIOS ESTRUTURAS DE CONCRETO
ADMINISTRAÇÃO DA OBRA	
Execução em fábrica, apenas montada no canteiro de obras. Grande precisão dimensional Grande precisão qualitativa dos materiais.	Execução predominantemente no canteiro Menor precisão dimensional Menor precisão qualitativa dos materiais.
Poucos itens de materiais Qualidade e garantia das matérias primas	Maior diversidade de materiais Dificuldade de garantia de qualidade Necessário maior controle de qualidade
Uniformidade de matérias primas	Variedade dependendo da procedência
Efetivo de obra reduzido Redução de problemas trabalhistas Efetivo com maior qualificação	Maior efetivo em obra Efetivo com menor qualificação
Canteiro de obras diminuto Material disponível no momento solicitado	Canteiro de obras maior Espaço para armazenamento do material
Canteiro de obras simplificado Redução ou exclusão de escoramento da laje	Canteiro de obras complexo Existencia de escoramento com pontaletes
Obra seca	Obra com muito uso de água
Facilidade de fiscalização	Fiscalização complexa

Fonte: Andrade, 2000.

A estrutura metálica tem a sua fabricação realizada na fabrica sendo um sistema industrializado e a montagem efetuada no canteiro de obras diminuindo o desperdício na obra.

A tabela 2 demonstra os benefícios no uso do sistema de estruturas mistas na fundação.

TABELA 2 – COMPARATIVO FUNDAÇÃO

EDIFÍCIO ESTRUTURAS MISTAS	EDIFÍCIO ESTRUTURA DE CONCRETO
Leveza estrutural 40 a 80 Kg/m² - Vigas e colunas	Grande peso estrutural 250 a 350 Kg/m² - Vigas e colunas
Menor carga na fundação Volumes menores nos blocos Sistema econômico	Fundação mais solicitada Maiores volumes Sistema oneroso

Fonte: Andrade, 2000.

As cargas nas bases da fundação serão menores por causa da leveza da estrutura metálica do sistema aço-concreto, gerando uma economia na fundação, com isso a execução das lajes tem uma maior rapidez.

TABELA 3 – COMPARATIVO LAJES

EDIFÍCIO ESTRUTURAS MISTAS	EDIFÍCIO ESTRUTURA DE CONCRETO
LAJES	
As formas são apoiadas direto nas vigas metálicas podendo ser dispensado o uso de pontaletes. Grande precisão no nivelamento. Liberação antecipada dos pavimentos para outras operações. Maior velocidade de construção. Facilidade de uso de estaqueamento pré-moldado.	Grande volume de escoramento, escoramento de todas as formas. Baixa precisão no nivelamento. Impedimento de transito enquanto escorado. Velocidade construtiva vinculada ao processo de cura. Dificuldade de execução de formas para escadas.

Fonte: Andrade, 2000.

A estrutura metálica aceita praticamente qualquer sistema de laje, industrializada ou não. Para o cimbramento das formas podem ser empregados sistemas de treliças telescópicas como apoios dos caibros e dos compensados. Estas se apóiam diretamente sobre as vigas de aço da laje a ser concretada, dispensando o uso de pontaletes (DIAS, 2014).

Na tabela 4, são apresentadas as vantagens na alvenaria ao utilizar o sistema de estruturas mistas.

TABELA 4 – COMPARATIVO ALVENARIA

EDIFÍCIO ESTRUTURAS MISTAS	EDIFÍCIO ESTRUTURA DE CONCRETO
ALVENARIA DE VEDAÇÃO E OUTROS MATERIAIS	
Precisão milimétrica. Esquadros e prumos exatos, resultando em maior perfeição da execução, com tempo reduzido. Sensível economia na mão de obra de execução.	Maior variação dimensional. Irregularidade de prumos e esquadros, aumentando o tempo de execução com enchimentos. Custo de execução superior, provocado pelo reparo de imperfeições.

Fonte: Andrade, 2000.

O nivelamento das lajes e prumos é preciso proporcionando economia, conforme tabela 5.

TABELA 5 – COMPARATIVO REVESTIMENTO

EDIFÍCIO ESTRUTURAS MISTAS	EDIFÍCIO ESTRUTURA DE CONCRETO
REVESTIMENTO	
Níveis precisos nas lajes e exatidão de prumo, minimizando a correção com argamassa de colagem e revestimento, reduzindo sobre carga desnecessária. Facilita o uso de materiais complementares pré-fabricados.	Aumento da espessura co revestimento em lajes e paredes. Necessidade de enxerto e elementos de regulagem.

Fonte: Andrade, 2000.

Na tabela 6 são apresentadas facilidades proporcionadas quanto às instalações.

TABELA 6 – COMPARATIVO INSTALAÇÕES

EDIFÍCIO ESTRUTURAS MISTAS	EDIFÍCIO ESTRUTURA DE CONCRETO
INSTALAÇÕES - ELÉTRICAS, HIDRÁULICAS E PROTEÇÃO CONTRA FOGO	
Pilares e vigas podem ser furados na fábrica ou na obra. Facilidade de passagem das tubulações, permitindo alterações na obra. Necessita proteção contra fogo mais sofisticada.	Dificuldade de execução de furos em colunas e vigas. Impossibilidade de alteração após a execução da estrutura. Proteção contra fogo simplificada.

Fonte: Andrade, 2000.

O sistema de estruturas mistas otimiza o tempo de execução em varias etapas da obra conforme apresentando na tabela 7.

TABELA 7 – COMPARATIVO PRAZO

EDIFÍCIO ESTRUTURAS MISTAS	EDIFÍCIO ESTRUTURA DE CONCRETO
PRAZOS	
Simultaneidade de execução da estrutura e fundações. Avanços da montagem de três em três pavimentos. Possibilidade de alvenarias acompanharem a montagem.	Inicio da estrutura dependente da execução das fundações. Avanço de um em um pavimento. Inicio da execução das alvenarias dependente da retirada do escoramento.

Fonte: Andrade, 2000.

Na tabela 8, é apresentada a redução do prazo de execução das estruturas mistas, antecipando a entrega da edificação proporcionando um retorno financeiro antecipado.

TABELA 8 – COMPARATIVO CUSTOS

EDIFÍCIO ESTRUTURAS MISTAS	EDIFÍCIO ESTRUTURA DE CONCRETO
CUSTOS FINANCEIROS	
Prazos finais reduzidos. Antecipação da ocupação. Redução no cronograma de entrega e retorno financeiro mais rápido.	Inicio da estrutura dependente da execução das fundações. Avançode um em um pavimento. Inicio da execução das alvenarias dependente da retirada do escoramento.

Fonte: Andrade, 2000.

O aço é 100% reciclável e as estruturas podem ser desmontadas e reaproveitadas com melhor geração de rejeitos. As estruturas mistas e menos agressivos ao meio ambiente, pois além de reduzir o consumo de madeira na obra, diminui a emissão de material particulado e poluição sonoras geradas pelas serras e outros equipamentos destinados a trabalhar a madeira (COSIPA, 2004).

CAPITULO 3

3 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS

Após as análises qualitativas todo empreendimento construtivo em qualquer área de atuação é analisado quanto a seu valor econômico, tendo como base a relação a outros sistemas compatíveis com o modelo a ser desenvolvido, para que seja feita uma comparação, apresentando assim a viabilidade da construção.

Durante toda pesquisa foi possível observar que a cultura arraigada do sistema construtivo convencional estrutural atual é o de estruturas armadas de concreto, portanto a análise de dados e o comparativo de custos tomo como base o sistema estrutural em concreto armado.

3.1 VIABILIDADE ECONÔMICA

Conforme Salés (1999), a economia em uma estrutura de aço é expressa pela medida da quantidade de aço consumida em Kg/m² na área de piso ou volume construído da estrutura. Para fazer esse estudo de otimização de custos devem-se levar em consideração vários fatores, a quantidade de andares, o carregamento da estrutura, o tipo de estrutura do piso e sua altura, o sistema de contraventamento e enrijecimento da estrutura, a escolha correta dos elementos de fechamento como (pisos, paredes, cobertura, sistemas de circulação vertical e outros), a qualidade do aço especificado.

Salés (1999) afirma que existem certas condições para que os elementos preencham requisitos compatíveis com a estrutura de aço, que são unidades pré-fabricadas devem atender o cronograma acompanhando a velocidade de montagem, que é a principal

característica das estruturas de aço, encurtando o prazo total da construção; os elementos devem apresentar característica de leveza reduzindo o peso da estrutura; a flexibilidade de adaptação do layout interno com modificação de componentes; as características devem ser projetadas para perfeita adaptação das propriedades da estrutura; custo compatível, para implantar um sistema de proteção ao fogo.

Para Salés (1999), os componentes de projeto necessitam de alguns cuidados para que o custo do empreendimento tenha um ganho de otimização e seu prazo corresponda no processo todo da construção, pois os elementos estruturais de aço induzem um layout construtivo de ambientes interdependentes com arranjos abertos e amplos que facilitam a o acesso de instalações tanto na vertical como na horizontal da estrutura.

3.2 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O SISTEMA CONVENCIONAL E O SISTEMA EM ELEMENTOS MISTOS DE AÇO E CONCRETO

Para fazer uma analise das vantagens da construção em elementos mistos teremos que fazer certas comparações de consumo de materiais (aço, concreto e formas) e seus valores médios para subsidiar uma analise.

A analise comparativa será feito entre o consumo médio dos elementos em uma edificação de 10 andares com uma altura de 28,8 m com dois apartamentos por pavimento em torno de 100 m², sendo que não serão considerados os pavimentos de cobertura, pilotis e subsolo, tomando como base o estudo de (ALBUQUERQUE,1998) em concreto armado e o sistema estruturais mistos aço concreto por (SANTOS,2010).

A tabela 9 e 10 tem por objetivo fazer uma comparação de consumo dos sistemas mistos aço concreto e sistema convencional levando em conta um quantitativo padrão no consumo por elementos conforme dimensionado abaixo:

TABELA 9 – CONSUMO DE MATERIAIS PARA ESTRUTURA CONVENCIONAL

CONSUMO DE MATERIAIS - ESTRUTURA CONVENCIONAL			
ELEMENTOS	VOLUME DE CONCRETO (m³)	AÇO - ARMADURA (Kg)	ÁREA DE FORMA (m²)
LAJES	122,30	9194,50	4032,95
VIGAS	183,00	18444,00	3366,67
PILARES	103,40	10638,50	1782,85
TOTAL	**408,70**	**38277,00**	**9182,47**

Fonte: Santos, 2010.

TABELA 10 – CONSUMO DE MATERIAIS PARA ESTRUTURAS MISTAS

CONSUMO DE MATERIAIS - ESTRUTURA MISTA		
ELEMENTOS	VOLUME DE CONCRETO (m³)	AÇO ESTRUTURAL - PERFIS (Kg)
LAJES	325,85	0,00
VIGAS	0,00	70052
PILARES	74,34	54240
TOTAL	**400,19**	**124292**
ELEMENTOS	STEEL DECK (Kg)	ÁREA DE FORMA (m²)
LAJES	38915,80	0,00
VIGAS	0,00	0,00
PILARES	0,00	0,00
TOTAL	**38915,80**	**0,00**

Fonte: Albuquerque, 1998.

O consumo de barras de aço (armadura) e utilização de concreto nas vigas mistas será nulo, devido a dois fatores, que a área de esforço que a viga pressiona este presente na laje e parte do volume de concreto na laje mista constitui a capacidade de sustentação da via mista levando a não utilização de concreto. A ligação entre a laje em concreto e a viga de aço é através de conectores de cisalhamento conhecidos com stud bolts. Para estruturas convencionais a ligação é feita com barra de ferro na própria estrutura através de armaduras nas composições das vigas (SANTOS, 2010).

3.3 CONSUMO DE CONCRETO

Conforme Malite (1990), o consumo de concreto em estruturas convencionais é ligeiramente superior ao consumo do sistema construtivo misto, mais o desperdício no sistema convencional de lajes maciças e outros elementos de concreto armado podem chegar a exceder 25% em comparação com o misto.

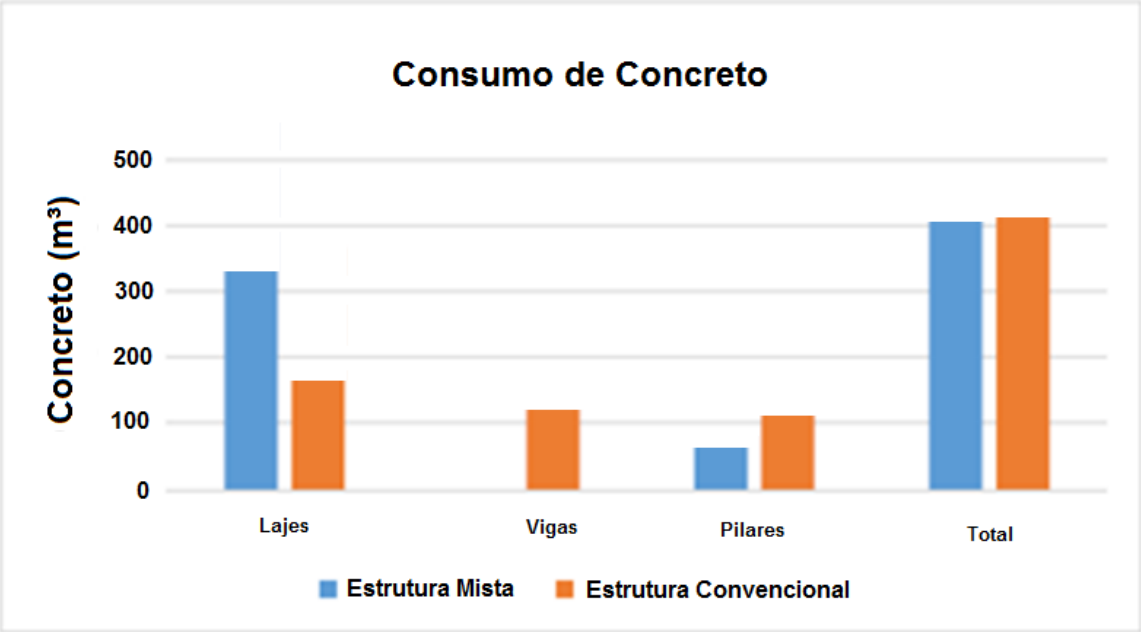


Figura 12 – Consumo de concreto
Fonte: Santos, 2010.

O sistema de elementos mistos gera uma economia de 21,66% que corresponde a 110,68 m³ de concreto, pois o sistema convencional consumiu 510,87 m³ de concreto em sua estrutura.

No sistema misto de laje steel desk Santos (2010), afirma que o consumo é baixo de concreto para uma laje de 16 cm de altura. Enquanto nas lajes convencionais que a altura fica entre 7 a 11 cm o consumo de concreto é maior.

Não considerando o desperdício no consumo de concreto, em ambos os sistemas apresentam um volume muito próximo com diferencia de 2,1% a maior para o sistema convencional, que se deve ao modelo de calculo estrutural de apoio.

O ganho de produtividade se apresenta um dos principais benefícios devido a redução ou a não utilização de formas e escoramentos.

3.4 CONSUMO DE AÇO EM BARRAS E PERFIS

A economia de armadura de aço no sistema misto ficou inferior ao do sistema convencional de concreto armado em torno de 85% na comparação. A figura 13 apresenta o comparativo entre os consumos das armaduras de aço.

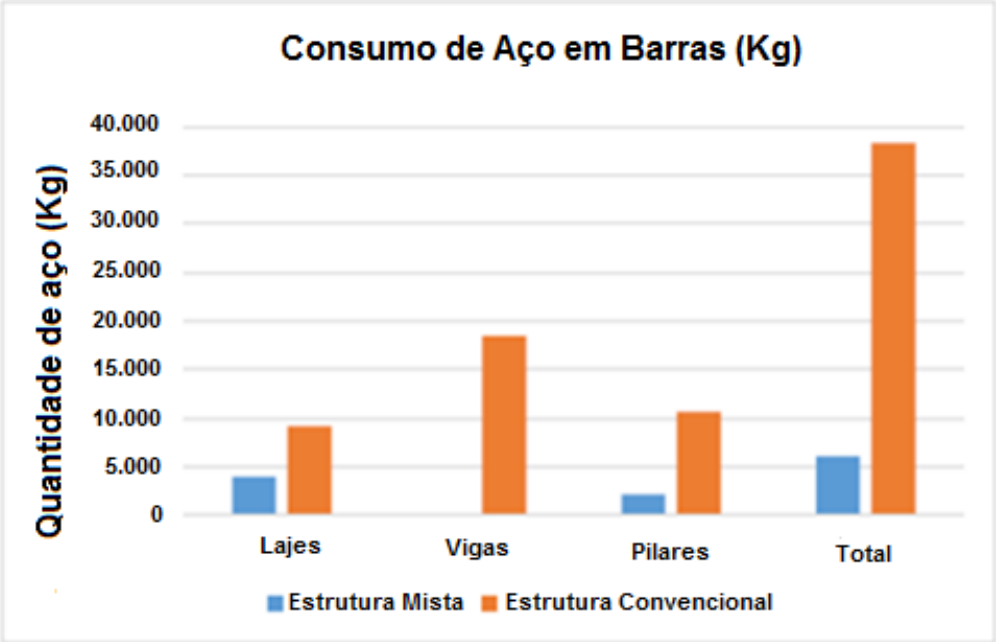


Figura 13 – Consumo de aço em barras
Fonte: Santos, 2010.

Já o consumo de perfis de aço, é exclusivo do sistema estrutural misto, totalizando em um peso de 124.292 Kg (124,29t), conforme mostra a figura 14.

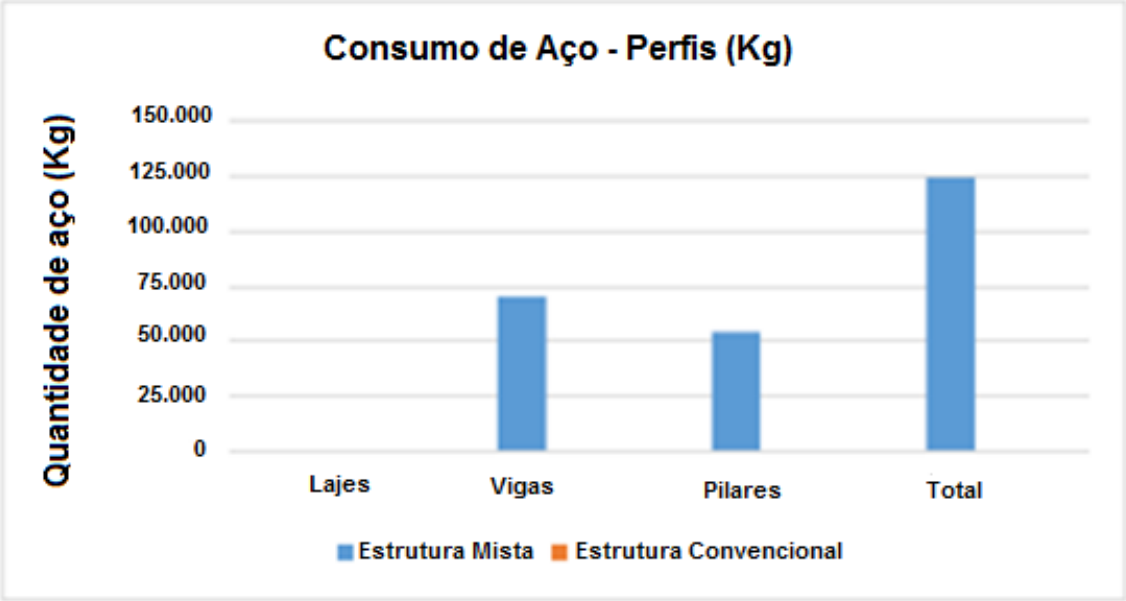


Figura 14 – Consumo de aço em perfis
Fonte: Santos, 2010.

O sistema estrutural em concreto armado quando comparado ao de perfil estrutural demanda mais tempo pela necessidade de executar os escoramentos e o corte das formas para a estrutura, para assim iniciar a concretagem. No caso do sistema estrutural misto os perfis já chegam no canteiro de obra pronto para executar a montagem que proporciona uma redução significativa de tempo em relação ao sistema de concreto armado.

3.5 CONSUMO DE FORMAS

Na análise de Santos (2010), o sistema misto não foi escorado, sendo assim a utilização de formas para escoramento das lajes e vigas mistas não tem utilizada, pois a concretagem no perfil I é feita em duas etapas concretando na horizontal os dois lados um após o outro atingir a resistência prevista em projeto, mais o sistema convencional existiu consumo de formas conforme figura 15.

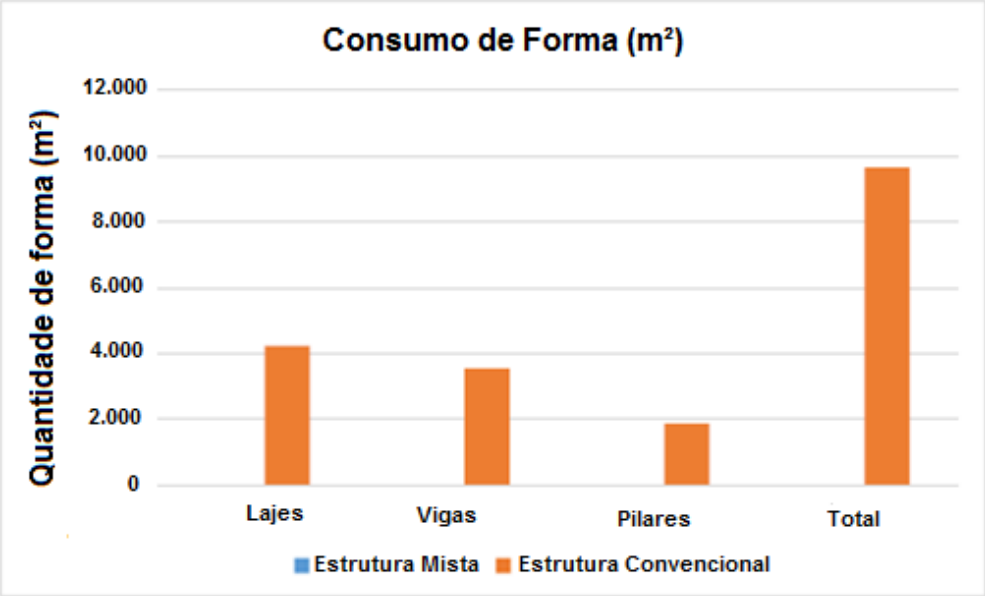


Figura 15 – Consumo de formas
Fonte: Santos, 2010.

A utilização de forma somente acontece no sistema convencional nas lajes e vigas, com um consumo de 85% do total (9182,47m²).

No caso das formas de aço (steel deck), foram utilizadas 38,9 toneladas de aço.

3.6 CUSTO DA ESTRUTURA

Este tópico tem por objetivo fazer uma breve amostra de custos médio dos insumos para uma edificação do porte de 10 andares no padrão construtivo do sistema convencional e misto, tomando com composição de preços praticados na Grande Vitória/ES.

3.6.1 CUSTO DA ESTRUTURA – CONCRETO

Os valores para o concreto de 30 Mpa, utilizado em Outubro de 2015 estão em média no valor de R$ 242,96/m³ mais R$ 25,00 por metro cúbico bombeado ficando no valor R$ 267, 96, fornecido pela Empresa Concrevit.

TABELA 11 – CUSTO DO CONCRETO POR TIPO DE ESTRUTURA

CUSTO DO CONCRETO - ESTRUTURA MISTA E CONVENCIONAL		
DIMENSIONAMENTO	VOLUME DE CONCRETO (m³)	CUSTO UNITÁRIO (R$)
ESTRUTURA MISTA	400,19	242,96
ESTRUTURA CONVENCIONAL	408,70	242,96
DIMENSIONAMENTO	BOMBEAMENTO (R$)	CUSTO CONCRETO 30 Mpa (R$)
ESTRUTURA MISTA	25,00	107.234,91
ESTRUTURA CONVENCIONAL	25,00	109.515,25

Fonte: Concrevit, 2015.

3.6.2 CUSTO DA ESTRUTURA – AÇO EM BARRAS

A Referência para os valores do aço das armaduras foi de outubro de 2015, praticados pela empresa Arcelor Mittal no fornecimento do vergalhão CA-50 Soldável – 10 mm (3/8") - Barra 7,4kg com preço de R$ 30,90, a tabela 12 apresenta os resultados do consumo.

TABELA 12– CUSTO DAS ARMADURAS – CA-50

DIMENSIONAMENTO	PESO DO AÇO - BARRA (t)	CUSTO DO AÇO - BARRAS (R$)
ESTRUTURA MISTA	6,08	242,96
ESTRUTURA CONVENCIONAL	38,28	242,96

Fonte: Arcelor Mittal, 2015.

3.6.3 CUSTO DA ESTRUTURA – AÇO EM PERFIS

A utilização de perfis de estrutura metálica (Vigas e Pilares) somente será dimensionada na estrutura mista, sendo o seu valor médio de R$ 3,55 por Kg, utilizando o perfil W e HP GERDAU AÇO MINAS como referência.

TABELA 13 – CUSTO DE PERFIS DE AÇO

DIMENSIONAMENTO	PESO - PERFIS DE AÇO (t)	CUSTO UNITÁRIO (R$)	CUSTO AÇO - PERFIS (R$)
ESTRUTURA MISTA	124.292,00	3,55	441.236,60
ESTRUTURA CONVENCIONAL	0,00	0,00	0,00

Fonte: Gerdal, 2015.

3.6.4 -CUSTO DA ESTRUTURA – FORMA

O levantamento de custos para obtenção dos valores teve como referencia a cotação na empresa Grancompensado que atua na Grande Vitoria/ES. No período de Outubro de 2015, a chapa compensada plastificado (2,20 x 1,10)m com espessura de 17 mm e valor de R$ 31,40 por m². As formas serão utilizadas somente na execução da estrutura convencional em concreto armado.

TABELA 14 – CUSTO DE FORMAS

DIMENSIONAMENTO	ÁREA DE FORMA (m²)	CUSTO UNITÁRIO (R$/m²)	CUSTO FORMA (R$)
ESTRUTURA MISTA	0,00	31,40	0,00
ESTRUTURA CONVENCIONAL	9.182,47	31,40	288.329,55

Fonte: Grancompensado, 2015.

3.6.5 CUSTO DA ESTRUTURA – FORMA DE AÇO (STEEL DECK)

Como não existe fornecedor desta forma (deck 75) no estado os preços referentes foram extraídos no estado de São Paulo em setembro de 2015, onde um fornecedor RMS- Estruturas Metálicas.

O custo unitário por m² de fôrma de aço incorporada em laje (steel deck 75 – E 0,95) foi de R$ 63,81por/m² para 2240 m² ficando e o custo total de R$ 142.934,40.

3.6.6 CUSTO TOTAL DA ESTRUTURA

Com os valores coletados do volume de concreto, perfis e barras de aço, forma de aço (steel deck) e formas de madeira pode fazer um comparativo entre os sistemas estruturais. A tabela 15 e a figura 16 demonstram os custos por estrutura.

TABELA 15 – CUSTO DE FORMAS – STEEL DECK

DIMENSIONAMENTO	CUSTO DO CONCRETO - 30 Mpa (R$)	CUSTO DO AÇO - BARRAS (R$)
ESTRUTURA MISTA	107.234,91	5.324,91
ESTRUTURA CONVENCIONAL	108.515,25	159.627,60

DIMENSIONAMENTO	CUSTO DO AÇO - PERFIS (R$)	FORMA (R$)	STEEL DECK (R$)	TOTAL (R$)
ESTRUTURA MISTA	441.236,60	0,00	142.934,40	696.759,51
ESTRUTURA CONVENCIONAL	0,00	288.329,55	0,00	556.472,40

Fonte: RMS – Estrutura Metálicas, 2015.

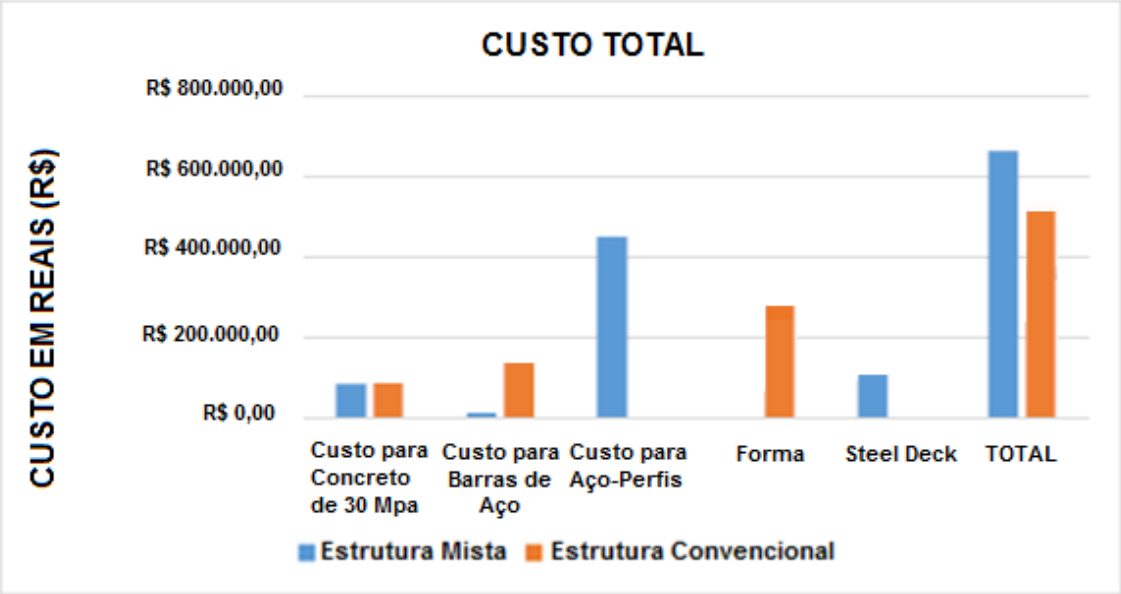


Figura 16 – Custo total
Fonte: Próprio autor, 2015.

Alguns custos ficam evidentes o valor elevado como o aço em perfis, sendo que o comparativo total entre os sistemas ficou em 25% a maior para o sistema misto, assim a solução estrutural é mais onerosa que a convencional.

Conforme Santos (2010) os custos de formas e barras de aço são elevados no sistema convencional, que no comparativo com o custo das formas steel deck dos sistemas misto ficam quase equivalentes. Alguns custos não foram levantados no comparativo, como o custo de cimbramento da estrutura de concreto armado e itens como caibros, sarrafos, pontaletes e outros.

Não foi levantado o custo de mão-de-obra para a execução dos dois sistemas.

CAPÍTULO 4

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema estrutural das edificações representa uma das partículas de maior responsabilidade no corpo do empreendimento, a escolha do tipo estrutura empregado na obra definirá o seu sucesso ou fracasso.

O modelo estrutural misto em aço concreto apresenta característica que o tornam competitivo no mercado atual.

Durante o estudo foi possível constatar que a escolha de um sistema estrutural está condicionada a vários fatores, como as características do empreendimento, a disponibilidade de recurso material e os custo, sendo estes os principais.

Porém, a característica que define de maneira decisiva a escolha do sistema estrutural misto como solução estrutural do empreendimento é o seu desempenho, que aliado a condições favoráveis o torna a escolha mais racional, alinhando desempenho e custo, reduzindo tempo de execução e viabilizando um retorno financeiro rápido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, A. T. **Análise de alternativas estruturais para edifícios em concreto armado**. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, p. 97. 1998.

ALCIDES, P. **Portal Metálica**. Portal Metálica, 2010. Acesso em: 23 Março 2014.

ANDRADE, P. A. **Portal Metálica**. Portal Metálica - Informações e negócios em um clique, 2012. Acesso em: 10 Maio 2014.

ALVA, G. M. S.; MALITE, M. **Comportamento estrutural e dimensionamento de elementos mistos aço-concreto**. Publicação Interna: Cadernos de Engenharia de Estruturas - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, vol. 7, n. 25, 2005, p. 51-84.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14.323**: Dimensionamento de estruturas de aço de edifícios em situação de incêndio – Procedimento. 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14.432:2000** - Exigências de resistência ao fogo dos elementos construídos das edificações - Procedimento. 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projetos de estrutura de concreto – Procedimento. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios – Procedimento. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14.762:** - Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio - Procedimento. 2010.

BELLEI, I. H. **Edifícios de múltiplos andares em aço**. In: BELLEI, I. H. Edifícios de múltiplos andares em aço. São Paulo : Pini, 2008. p. 558. 60

BRAGA, A. C. G.; FERREIRA, W. G. **Pilares mistos aço-concreto e comparativo de custo com pilares de aço e pilares de concreto armado**. REM: Revista Escola de Minas, Ouro Preto, v. 64, n. 4, p 407-414, out./dez. 2011.

CERVO, A. L. BERVIAN, P. A. **Metodologia científica**. 5.ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

CORRÊA, M. R. S. **Aperfeiçoamento de modelos usualmente empregados no projeto de edifícios**. 1991. Tese (Doutorado) - EESC – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

DE NARDIN, S.; SOUZA, A. S. C.; EL DEBS, A. L. **Comportamento conjunto em elementos mistos de aço e concreto:** dispositivos mecânicos. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CONSTRUÇÃO METÁLICA, 2008, São Paulo. Congresso Latino Americano de Construção Metálica - Construmetal 2008, 2008.

DIAS, L. A. M. **Estruturas híbridas e mistas de aço e concreto**.1. ed. São Paulo> Ed. Zigurate, 2014.

FABRIZZI, M. A.; GONÇALVES, R. M. **Contribuição para o projeto e dimensionamento de edifícios de múltiplos andares com elementos estruturais mistos aço-concreto**. Publicação Interna: Cadernos de Engenharia de Estruturas - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, vol. 10, n. 46, 2008, p. 91-110.

FIGUEIREDO, L. M. B. **Projeto e construção de pilares mistos aço-concreto**. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 143. 1998.

LEMOINE, B. **Aço, um material de construção ecológica para um desenvolvimento sustentável**. Disponível em: <http://www.cbca-ibs.org.br/nsite/site/m eio_ambiente.asp> Acesso em: 02.out.2015.

MALITE, M. **Análise do comportamento das vigas mistas de aço-concreto constituídas por perfis de chapa dobrada**. Tese de doutorado - Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, p. 144. 1990.

MATOS, F. **Centro Brasileiro da Construção em Aço**. CBCA - Aço Brasil, 2013. Disponível em: <http://www.cbca-acobrasil.org.br/artigos-tecnicos-ler.php?cod=5851&bsc=>. Acesso em: 18 Março 2014.

MENDES, C. L. **Estudo teórico sobre perfis formados a frio em situação de incêndio**. Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, p. 160. 2004.

PANNONI, F. D. **Centro Brasileiro da Construção em Aço**. CBCA- Aço Brasil, 2013. Disponível em: <http://www.cbca-acobrasil.org.br/artigos-tecnicos-ler.php?cod=5999&bsc=>. Acesso em: 31 Março 2014.

PINHO, F.O. **Viabilidade econômica** / Fernando Ottoni Pinho, Fernando Penna. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2008. 84p.

QUEIROZ, G. **Estruturas mistas**. Volume 1 / Gilson Queiroz, Roberval José Pimenta e Alexander Galvão Martins. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil/CBCA, 2012.

SALÉS, J. J. **Estudo do projeto e construção de edifícios de andares múltiplos com estruturas de aço**. Tese de Doutorado - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo. Sá Carlos, p. 257. 1995.

SANTOS, T. J. D. **Edifícios de múltiplos andares em concreto, aço e em elementos mistos de aço e concreto: Análise comparativa**. Trabalho de Conclusão de Curso - Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, p. 122. 2010.

SILVA, V. P. E. **Prevenção contra incêndio na arquitetura. Instituto Aço Brasil - Centro Brasileiro da Construção em Aço**. Rio de Janeiro, p. 72. 2010.

VASCONCELLOS, A. **Caracterização das construções mistas aço/concreto.** Artigo Técnico - Associação Brasileira da Construção Metálica, p. 4. 2006.