

ACÁCIA GIANE PEREIRA E SÁ

WENDEL ALVES DOS SANTOS

ESTRUTURAS MISTAS AÇO E CONCRETO

BACHARELANDO EM ENGENHARIA CIVIL

DOCTUM – MINAS GERAIS

2014

ACÁCIA GIANE PEREIRA E SÁ

WENDEL ALVES DOS SANTOS

ESTRUTURAS MISTAS AÇO E CONCRETO

Monografia apresentado a banca examinadora da Faculdade de Engenharia Civil, do Instituto Doctum de Educação e Tecnologia, com requisito parcial de obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil, sob a orientação do professor José Nelson N. da Rocha

DOCTUM – CARATINGA

2014

Agradecimentos

"Esperei com paciência no SENHOR, e ele se inclinou para mim, e ouviu o meu clamor." Salmos 40:1

É com muita alegria que agradeço ao Grande Arquiteto do Universo, pois temos certeza que só chegamos até aqui, pois assim quis o Senhor e por isto somos eternamente gratos.

Aos nossos pais, e todos nossos familiares pelo apoio incondicional.

Ao nosso Orientador José Nelson pela paciência e dedicação, e todos os nossos professores, pois sem a presença de cada um não seria tão gratificante esta conquista.

Quero agradecer carinhosamente os meus filhos Elson Junior e Maria Clara, que mesmo nos momentos difíceis me apoiaram e em muitas vezes abriram mão da minha presença para que este sonho pudesse ser realizado.

Acácia e Wendel

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ponte em <i>Coalbrookdale</i>	10
Figura 2 : Ponte em <i>Wearmouth</i>	11
Figura 3: Ponte <i>Eads</i>	12
Figura 4: Edifício <i>Home Insurance Building</i> durante a construção e finalizado	13
Figura 5: Ponte Presidente Costa e Silva	14
Figura 6: Ponte <i>Akashi-Kaikyo</i>	14
Figura 7: Edifício Garagem América - São Paulo	18
Figura 8 Estruturas de aço dos edifícios dos ministérios e do congresso nacional	19
Figura 9: Edif. Saraiva Marinho – Belo Horizonte (1987).....	20
Figura 10: Edifício Casa do Comércio – Salvador (1987).....	20
Figura 11: Ponte JK – Brasília (2002), Arquiteto Alexandre Cham	21
Figura 12: Processo siderúrgico.....	25
Figura 13: Tipos de perfis laminados: Perfis H e I	32
Figura 14: Tipos de composições com Perfis Laminados de Padrão Americano.	32
Figura 15: Perfis formados a frio (dobrados).....	34
Figura 16: Perfis Tubulares.....	35
Figura 17: Etapas construtivas da laje mista do anexo Shopping do Vale, Ipatinga, Estado de Minas Gerais.(Fotos do Autor)	39
Figura 18: Tipos mais usuais de conectores.	41
Figura 19: Detalhe da laje com forma de aço incorporada, catálogo da CODEME Engenharia..	43
Figura 20: Processo de soldagem do conector pino com cabeça (stud), QUEIROZ (2001)	44
Figura 21: Resultado final da soldagem do conector tipo pino com cabeça (stud)	44
Figura 22 Pilares mistos	46
Figura 23: Laje com face interior plana	48
Figura 24: Shopping do Vale	50
Figura 25: Etapa construtiva da fundação do anexo Shopping do Vale, Ipatinga, Estado de Minas Gerais.(Fotos do Autor)	Erro! Indicador não definido.
Figura 26: Etapas construtivas da montagem dos pilares e vigas do anexo Shopping do Vale, Ipatinga, Estado de Minas Gerais.(Fotos do Autor).....	Erro! Indicador não definido.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 – Diagrama Tensão – Deformação de peça estrutural de____33

RESUMO

Estruturas mistas de aço e concreto é a associação de perfis metálicos, incluindo chapas de aço, ao concreto constituindo elementos estruturais mistos: vigas, pilares, lajes. A unificação destes materiais visa o melhor aproveitamento das propriedades específicas de cada um gerando uma somatória de vantagens. Apesar de suas vantagens no sentido técnico construtivo e econômico para vãos médios e grandes, o uso dessa solução construtiva não é tão difundida no Brasil, pelo fato de que o projeto menos viável ou até mesmo com custo elevado, sem antes ter sido feito um estudo completo do custo benefício desse sistema construtivo. A melhor opção para solucionar eficientemente esse problema apresentado seria a investigação completa da relação dos custos e benefícios gerados pela alternância dos materiais utilizados, assim como o melhor aproveitamento da área a ser ocupada, e a redução no tempo de execução da obra, bem como, uma obra mais limpa e com redução no peso total da edificação.

PALAVRAS-CHAVES: Estrutura mista, aço, custo.

Sumário

RESUMO	5
INTRODUÇÃO.....	6
CONSIDERAÇÕES CONCEITUAIS	7
CAPITULO I.HISTÓRICO DAS ESTRUTURAS MISTAS EM AÇO-CONCRETO.....	10
1.1HISTÓRICO BRASILEIRO DO USO DO AÇO	16
1.2 COMO O AÇO É PRODUZIDO	22
1.2.1 A PRODUÇÃO DO AÇO	23
1.3 CLASSIFICAÇÃO DO AÇO	27
1.4 PROPRIEDADES DO AÇO	29
1.5 PERFIS ESTRUTURAIS DO AÇO	31
CAPITULO II- ESTRUTURAS MISTAS	36
2.1.Lajes Mistas	37
2.2 CONECTORES DE CISALHAMENTO	40
2.3 SOLIDARIZAÇÃO CONCRETO-AÇO	41
2.4.Pilares Mistos.....	45
2.5.Vigas Mistas	47
3. ESTUDO DE CASO.....	50
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

INTRODUÇÃO

Com o objetivo de estudar estruturas mistas e sua importância na construção civil, o presente trabalho traz sua aplicação nas construções, o que se deu a partir do sistema construtivo em elementos mistos e verificando as vantagens e desvantagens da construção mista tendo por base a ABNT NBR 8800 de 25 de setembro de 2008 que estabelece os requisitos básicos que devem ser obedecidos no projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios à temperatura ambiente, com perfis soldados e laminados, incluindo os perfis tubulares, com e sem costura. Trata-se de uma norma atualizada, que adota como principais referências as normas européias a ABNT NBR 8800:2008 foi cuidadosamente adaptada à realidade brasileira, tratando com consciência situações comuns em nosso país, que não têm paralelo em outros lugares, e fornecendo procedimentos simplificados para situações complexas, com objetivo de tornar o cálculo estrutural acessível ao maior número possível de profissionais.

Diante desses pressupostos nos deparamos com a seguinte interrogante: Como estruturar um sistema que nos permita diagnosticar as vantagens e desvantagens das estruturas mistas na construção em relação ao tempo e custos?

Levando em considerações, que quanto mais tempo demora a execução de uma obra, entendemos que haverá transtornos locais e grande perda financeira para o proprietário, o que nos leva a acreditar que uma solução viável seriam as estruturas mistas possivelmente acelerando o tempo e com menor custo.

Toda essa conjectura de pesquisa nos leva à seguinte metodologia aplicada ao trabalho que será composta pelo estágio teórico e estudo de caso, que permitirá a construção de conceitos tais como:

- Conceitualização das estruturas mistas
- Viabilidade econômica;
- Redução de armadura e eliminação de escoramento;
- Aplicação das vigas, pilares e lajes mistas.

CONSIDERAÇÕES CONCEITUAIS

Podemos conceituar estrutura mista aquela que é composta, parcialmente ou totalmente, por elementos formados por dois materiais distintos. São exemplos disso estruturas cujos pilares, vigas ou laje sejam mistas. Neste caso, trata-se do tipo particular de elementos mistos aço-concreto. No entanto podem ser realizadas outras combinações de materiais tais como: madeira e aço. Segundo Chaves:

A associação de perfis de aço e concreto em um único elemento constitui estrutura mista. Esta associação se torna possível através de conectores de cisalhamento ou de força de atrito entre eles a ponto de garantir a transferência de esforços. 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 a fissuração e a deslocamento excessivos.¹

Uma característica da construção mista é a combinação de materiais que permitem o compesamento entre um material e outro, dentre outras temos a economia, rapidez, flexibilidade, uma alta qualidade e uma estética agradável. Além de alcançar grandes vãos podemos citar que ela nos permite alcançar locais de difícil acesso e grandes balanços, além de ter outras vantagens como:

- Redução na concretagem local;
- Redução de armadura passiva;
- Redução de despesas indiretas, de potencial risco trabalhista e de acidentes;

¹ 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, p.19,20.

- Maior velocidade construtiva;
- Eliminação de escoramentos;
- Obra sustentável, com menor geração de resíduos;
- Maior parte dos elementos produzidos fora do canteiro.

A idéia é utilizar a qualidade do concreto que é eficiente na compressão e protege o perfil metálico contra corrosão e ao fogo juntamente ao o aço que é eficiente na tração e confere ductibilidade ao concreto, resistindo aos esforços sem se romper. Segundo ALVA:

O surgimento das estruturas mistas está estritamente relacionado ao desenvolvimento econômico, técnico e científico. Com a intenção de aproveitamento de propriedades específicas de cada material, tanto no quesito estrutural, quanto no quesito construtivo, a combinação de perfis metálicos com concreto tornou-se prática comum nos países europeus e cresce no Brasil de modo modesto.²

Como desvantagens podemos dizer que no Brasil, ainda não é utilizado com muita frequência as estruturas mistas, pois ainda há o desconhecimento da técnica e falta de mão de obra qualificada no mercado aumentando o custo.

Oliveira (2004) diz que as escolas de formação profissional de engenharia e arquitetura, em sua maioria, adotam grade curricular com prioridade na produção de edifícios com estrutura de concreto armado, não disseminando os outros sistemas. Formam-se profissionais inseguros quanto a atuação em outros modelos estruturais.³

² ALVA, G.M.S; MALITE, M. **Comportamento estrutural e dimensionamento de elementos misto aço e concreto-Caderno de Engenharia de Estruturas**, São Carlos, 2005, p34.

³ 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, p.51

Os principais elementos de perfis em aço e concreto são: Vigas mistas, lajes mistas e pilares que serão abordados de forma detalhada no capítulo dois.

CAPITULO I.HISTÓRICO DAS ESTRUTURAS MISTAS EM AÇO-CONCRETO

O uso do ferro e do aço está presente na construção civil desde o século XVI, onde começaram a utilizar as estruturas de ferro fundido nos telhados, encontrando-se em fase inicial de desenvolvimento. Segundo BRAGA:

Não se pode determinar ao certo a origem do ferro. Acredita-se que a presença ocasional de um tipo de minério em alguma fogueira tenha fundido o metal acidentalmente. “O vestígio mais remoto deste metal é um conjunto de quatro esferas de ferro, datadas de 4000 a.C., encontradas em El-Gezivat, no Egito”.⁴

A partir do século XVIII surgiu as primeiras construções (cúpulas de igreja e pontes), com elementos de ferro fundido submetido à compressão. A primeira dessas pontes, em 1779, localiza-se em *Coalbrookdale*, sobre o rio *Servem*, na *Inglaterra* e possui arcos de ferro fundido vencendo um vão central de 30m.

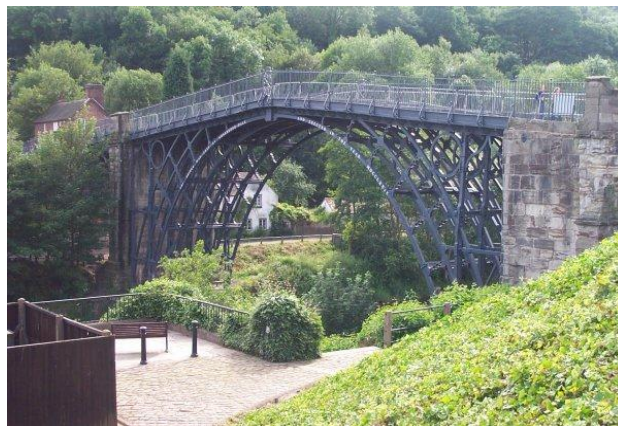


Figura 1: Ponte em *Coalbrookdale*⁵

⁴ BRAGA, Thomaz dos Mares Guia. **Cronologia do Uso dos Metais**. Belo Horizonte, Usiminas, 1998.

⁵ Fonte: Disponível em: <http://www.lmc.ep.usp.br/people/hlinde/estruturas>>Acesso em 19/10/2014

Em 1796, em *Wearmouth*, na Inglaterra, foi construída uma das mais arrojadas pontes em ferro fundido, com arco triarticulado de 70m de vão.



Figura 2 : Ponte em *Wearmouth*⁶

A partir da primeira metade do século XIX, o cálculo estrutural começou a ter um desenvolvimento notável. Destaca-se também o início da laminação de perfis que possibilitou a produção e a industrialização de elementos estruturais de ferro laminado.

O crescimento da indústria siderúrgica, certamente promovido pela implantação das redes ferroviárias, não somente britânicas como também européias, ensejou a perspectiva de produção de ferro e aço em uma escala nunca vista anteriormente. (SILVA, 1986)⁷

Entre 1850 e 1900, ficou marcado pelas construções de diversas pontes ferroviárias, devido a ocorrência de acidentes e com os projetos cada vez mais arrojados, fez necessário o uso de material estrutural de melhores características, as atenções voltaram para o aço, que já era conhecido, mas que por falta de um processo de fabricação tinha custo elevado.

⁶ Disponível em: <http://www.searlecanada.org/sunderland/sunderland> >Acesso em 02/9/2014

⁷ SILVA, Geraldo Gomes da. **Arquitetura do ferro no Brasil**. São Paulo: Nobel, 1986.

O inglês *Henry Bessem* em 1856 criou um forno que tornou possível, e a partir de 1860 a produção de aço em grande escala. Já em 1865 o processo *Simens-Martin*, por ser mais eficiente consolidou este processo. Surgiu os primeiros laminadores em 1880. Segundo DIAS:

Em 1856, a descoberta do *inglês Henry Bessemer* de que a injeção de um jato de ar no ferro em fusão eliminaria quase todo carbono do banho, convertendo desta forma o ferro-gusa em aço, permitiu a produção do aço em escala realmente industrial, baixando seu preço a um sétimo do valor que vigorava antes da introdução do novo processo.⁸

A ponte *Eads*, sobre o Rio *Mississipe*, em *Sant Louis, Estados Unidos*, foi a primeira ponte em estrutura de aço, construída entre 1867 e 1875, com vão central de 158m ladeado por vãos de 153m, uns sobre o outro.



Figura 3: Ponte *Eads*⁹

A primeira construção de andares múltiplos em estruturas metálicas, de dez pavimentos e o primeiro do mundo com estrutura de aço, foi projetada pelo Engenheiro *Willian Le Baron Jenney*, edifício *Home Insurance Building*, em 1885 em Chicago. O elevador surgiu como um fator de viabilização para estes grandes

⁸ DIAS, Luís Andrade de Mattos. **Aço e Arquitetura: Estudo de Edificações no Brasil**. São Paulo: Zigurate Editora, 2001.

⁹ Disponível em: <http://www.gettyimages.pt/editorial/ponte-eads-imagens>> Acesso em 8/08/2014

empreendimentos , sua primeira apresentação aconteceu em 1853, pela *Elisha Graves Otis*, na exposição de *Nova York*.

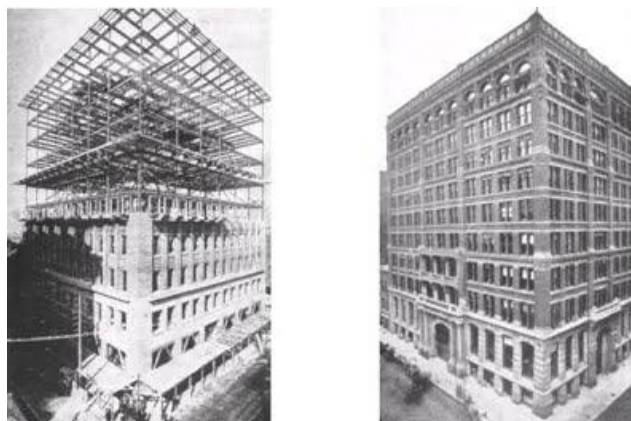


Figura 4: Edifício *Home Insurance Building* durante a construção e finalizado¹⁰

O grande avanço no desenvolvimento alcançado pela estrutura de aço, deve-se ao grande interesse da época, que buscava excelência em todas as etapas de trabalho, ou seja, planejamento, projeto, cálculo, fabricação e montagem, através do estudo do comportamento , das estruturas de aço, como instabilidade e plasticidade, desde então foi inventado a solda elétrica, os parafusos de alta resistência mecânica e resistente à corrosão atmosférica. Com este desenvolvimento podemos celebrar contemplando grandes obras como:

- A ponte Presidente Costa e Silva, unindo as cidades do Rio de Janeiro e de Niterói, concluída em 1974, cujo vão central, com cerca de 300 m, é o maior do mundo em viga reta de alma cheia (essa ponte possui pilares de concreto espaçados de 50 m e tabuleiros de concreto, com exceção daqueles dos três vãos centrais, com 200 m-300 m-200 m-, que são em estruturas metálica);

¹⁰ Disponível em: <http://www.pinterest.com/pin/411938697137172732/> > Acesso em 23/09/2014



Figura 5: Ponte Presidente Costa e Silva¹¹

- A ponte *Akashi-Kaikyo*, finalizada em 1998, que cruza o estreito de *Akashi*, ligando *Honshu*, na ilha principal do Japão à Ilha *Awaji*, e que possui o maior vão em ponte pênsil do mundo (1990 m).



Figura 6: Ponte *Akashi-Kaikyo*¹²

Como exemplo de edifícios de andares múltiplos usando estruturas de aço, podem ser lembrados vários com cerca de uma centena de pavimentos. Um exemplo clássico é o *Empire State Building*, inaugurado em 1931 em *Nova York*, com altura total de 381 m. Outros exemplos marcantes são o *John Hancock Center*, em

¹¹ Disponível em: <http://vejanomapa.net.br/ponte-rio-niteroi-rio-de-janeiro-rj> >Acesso em 05/10/2014

¹² Disponível em: <http://wetete.com/ponte-akashi-kaikyo-uma-obra-da-engenharia>>Acesso em:19/09/2014

Chicago, com 344 m de altura, concluído em 1969 e o *Sears Towers*, também em *Chicago*, com 443 m de altura, de 1974.

1.1 HISTÓRICO BRASILEIRO DO USO DO AÇO

As estruturas de aço transmitem beleza, leveza, flexibilidade, e rapidez, atributos que faz do aço uma das opções atrativas para o uso na construção civil.

Durante a Primeira Guerra Mundial, a importação de ferro e de aço é dificultada e a demanda por estes materiais aumenta. Com isso, o setor siderúrgico começa a se desenvolver no Brasil. No entanto, é nesta mesma época que a indústria de cimento se desenvolve no país, influenciando o setor da construção civil a partir da década de 20 e possibilitando o desenvolvimento de uma arquitetura voltada para o uso do concreto armado. Segundo *Bruand*, "esse desenvolvimento se deu devido às características da construção artesanal, mais adaptável às necessidades de um país subdesenvolvido"¹³.

Entre 1917 e 1930, com a criação, em Sabará/MG, da Companhia Siderúrgica Brasileira, a siderurgia nacional deu um grande salto com a construção de um alto-forno mais moderno. Em 1922 a empresa se transformou na Companhia Siderúrgica Belgo-Mineira, e em 1937, inaugurou uma fábrica em João Monlevade/MG, que passa a produzir pequenos perfilados e arames.

Em 1930, a produção da Belgo-Mineira somava 21 mil toneladas de aço e 36 mil toneladas de ferro-gusa, e as importações de artefatos de ferro e aço ultrapassavam a cifra de 300 mil toneladas.

Na década de 30, o então presidente Getúlio Vargas investe na industrialização do país, e o setor siderúrgico se desenvolve para sustentar a construção de novas fábricas. A indústria pesada acaba gerando altos lucros para as usinas siderúrgicas,

¹³ BRUAND, Yves. **Arquitetura Contemporânea no Brasil**. São Paulo: Editora Perspectiva S.A., 1997

que não investiram na construção civil e cresceram voltadas para atender a outros setores industriais, principalmente o automobilístico.

Em 1942, é criada a Usina da CSN (Companhia Siderúrgica Nacional), em Volta Redonda, no Estado do Rio de Janeiro, e a Companhia Vale do Rio Doce, para exploração do minério de ferro.

A história da construção mista está intimamente ligada ao desenvolvimento do concreto armado e das estruturas em aço. Nas construções mistas, o concreto foi primeiramente usado, no início do século, como material de revestimento, protegendo os perfis de aço contra o fogo e a corrosão. Apesar de a utilização do aço na construção civil estar associada aos conceitos de modernidade, inovação e vanguarda, traduzidos em obras de grande expressão arquitetônica, o uso de estruturas metálicas na construção não alcançou, no Brasil, o mesmo nível de projeção que conquistou em outros países. Nos Estados Unidos, os primeiros edifícios com estruturas em aço começaram a ser construídos a partir de 1870, em grandes cidades como *Chicago, Nova York, Detroit e St. Louis*.

No Brasil, o primeiro prédio de andares múltiplos, de estrutura em aço, só foi erguido 84 anos depois, com a construção do Edifício Garagem América, em São Paulo, em 1954, construído no país com tecnologia nacional, ele possui estrutura aparente em uma das fachadas, diferentemente do que foi proposto pelo arquiteto em seu projeto original.



Figura 7: Edifício Garagem América - São Paulo ¹⁴

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

Na década de 60, é inaugurada a COSIPA (Companhia Siderúrgica de São Paulo) e a USIMINAS (Usina Siderúrgica de Minas Gerais), e em 1976 foi construída a CST (Companhia Siderúrgica de Tubarão), localizada no Espírito Santo, que inicia suas operações em 1983. A AÇOMINAS, localizada em Ouro Branco, Minas Gerais, começou a produzir, posteriormente, em 1986 e atualmente está integrada ao Grupo GERDAU.

Sendo assim, somente no final da década de 50 e na década de 60, a estrutura de aço começa a ser utilizada no país. Nesta época, a estrutura de aço era usada basicamente como um esqueleto interno do edifício e sua forma e seu sistema estrutural eram pouco trabalhados.

¹⁴ Disponível em: <http://www.metalica.com.br/primeiro-edificio-em-estrutura-metalica-do-brasil>>Acesso em 19/10/2014

É interessante notar que, já na construção de Brasília, no período entre 1955 e 1960, os edifícios dos ministérios e a torre do congresso nacional foram feitos com estrutura metálica.

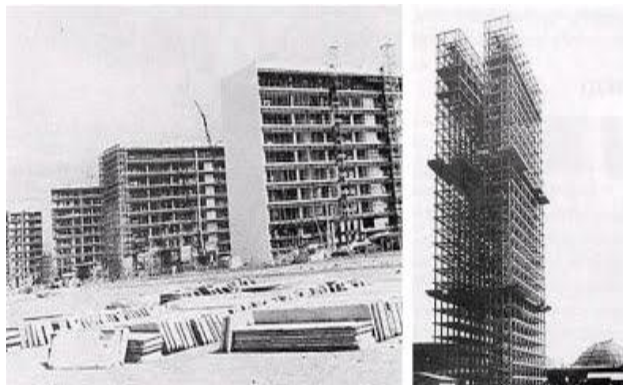


Figura 8 Estruturas de aço dos edifícios dos ministérios e do congresso nacional¹⁵

Nos anos 80, a siderurgia do Brasil atinge um patamar de excelência, com produtos que possuem certificados de qualidade exigidos mundialmente.

Nesse período também, o emprego do aço como expressão arquitetônica passa a ser significativo, quando a estrutura começa a surgir nas fachadas das edificações e a fazer parte da arquitetura. Aos poucos, os engenheiros passam a trabalhar essa estrutura como parte integrante da composição e da concepção de seus projetos.

¹⁵ Disponível em: <http://www.metallica.com.br/50-anos-de-brasilia-palace-hotel-a-presenca-do-aco-na-capital-federal> <Acesso em 19/10/2014



Figura 9:Edif. Saraiva Marinho – Belo Horizonte (1987)¹⁶



Figura 10:Edifício Casa do Comércio – Salvador (1987)¹⁷

Já na década de 90, inicia-se a privatização das empresas, que passa a possuir uma filosofia, voltada para a necessidade de expansão do seu mercado. Neste momento, a construção civil passa a ser um grande consumidor em potencial. Além disso, o desaquecimento do mercado das indústrias pesadas fez com que os investimentos fossem direcionados para outras áreas.

¹⁶ ALVA,G.M.S.(2000).**Sobre o projeto de edifícios em estrutura mista aço e concreto**.São Carlos,2000.277p.Dissertação(Mestrado)-Escola de Engenharia de São Carlos,Universidade de São Carlos.2000.p,2000.11.

¹⁷ DISPONÍVEL EM: <http://arquitetandonanet.blogspot.com.br/2009/04/edificio-casa-do-comercio-salvador.html>>Acesso em 31/10/2014

Aços especiais são desenvolvidos para a utilização em sistemas estruturais, com alta resistência mecânica e resistência à corrosão. Em pouco tempo, o Brasil aumentou bastante sua produção de aço.

Além disso, nos anos 90 e até os dias atuais, os arquitetos brasileiros passaram a conhecer melhor o material, e, com a consultoria de profissionais especializados, apoiados pela tecnologia desenvolvida, começaram a criar com a estrutura metálica, desde a concepção inicial do projeto

A estrutura de aço obtém formas que, apesar de terem sido utilizadas nas construções antigas de ferro, eram imagináveis para o tipo de material industrializado na época atual.



Figura 11: Ponte JK – Brasília (2002), Arquiteto Alexandre Cham¹⁸

O surgimento de uma nova arquitetura em aço brasileira também fica evidente na qualidade das obras, que, muitas vezes, nos surpreende com tanta beleza e exuberância.

O uso da estrutura metálica no Brasil ainda é pequeno, se comparado com países como Estados Unidos e Japão. A falta de conhecimento do material pelos

¹⁸ Disponível em: http://brasiliatour.com.br/?attachment_id=441 <Acesso em 19/10/2014

profissionais de engenharia e arquitetura, originada de uma formação universitária enraizada no uso do concreto armado, contribui para a não utilização do aço nas estruturas.

A partir de algumas iniciativas de profissionais arquitetos e engenheiros, o aço vai surgindo na paisagem das principais cidades brasileiras, mostrando inúmeras possibilidades formais para a concepção arquitetônica. E assim várias obras de excelência vão surgindo a partir do trabalho conjunto dos profissionais da área, se apropriando do aço em seu aspecto estrutural, mas também no âmbito da expressão arquitetônica.

Pode-se criar obras de excelência conciliando materiais e formas, unindo a arte e técnica.

A engenharia brasileira encontra-se capacitada para levar adiante as obras mais ousadas com estruturas de aço e a indústria nacional do setor pode fornecer todos os produtos necessários. O país é um dos grandes produtores mundiais de aço, possuindo usinas siderúrgicas reconhecidas internacionalmente, muitas das quais fabricam, além do próprio aço, também perfis estruturais.

1.2 COMO O AÇO É PRODUZIDO

1.2.1 A PRODUÇÃO DO AÇO

A metalurgia do ferro e de suas ligas recebe o nome de siderurgia. A siderurgia é a denominação dada para a metalurgia do ferro e do aço, que gera os elementos usados na fabricação das peças estruturais. Os principais produtos siderúrgicos são:

- ferro gusa;
- ferro fundido;
- aço, aço comum, aço-carbono;

Atualmente, as peças estruturais mais usadas na construção civil são produzidas em aço, com composições químicas variadas para cada especificação determinada. Os metais ferro e aço possuem em comum duas matérias-primas básicas: o minério de ferro e o carvão, que pode ser vegetal ou mineral. O minério de ferro é composto pelo elemento químico ferro (Fe), que é encontrado na natureza basicamente sob a forma de óxidos (Fe + O).

O principal objetivo na produção dos metais ferro e aço é remover o oxigênio da sua composição. O elemento químico ferro (Fe) é extraído do minério por meio de elevadas temperaturas, obtidas dentro de fornos especiais, que retiram o oxigênio na presença do carvão vegetal ou mineral, este último conhecido como coque. O coque, um material rico em carbono, é constituído pelo carvão mineral purificado através de altas temperaturas. O carvão vegetal foi primeiramente utilizado no Brasil devido à vasta oferta da nossa flora, mas, com o aumento da devastação e com a falta de uma política de reflorestamento, seu uso foi limitado, acarretando o aumento do custo.

Já o carvão mineral nacional é rico em enxofre, o que proporciona um material de má qualidade, necessitando de processos para a sua retirada, que também elevam o custo. (FERREIRA, 1998)¹⁹

¹⁹ FERREIRA, Oscar L. **O uso adequado do aço e sua contribuição na racionalização da construção**. Rio de Janeiro: Dissertação de Mestrado. UFRJ - FAU, 1998.

As empresas siderúrgicas buscam alternativas energéticas renováveis, como a biomassa, com o objetivo de melhorar a qualidade de seus produtos, reduzir os custos e o impacto ambiental.

De acordo com Dias do livro Estruturas de Aço. Conceito, Técnicas e Linguagem o processo siderúrgico para a fabricação do aço consiste no aproveitamento do ferro contido no minério, através da eliminação progressiva das impurezas deste último, sendo dividido em quatro etapas.

1º Preparo de matérias-primas (minério de ferro e carvão mineral): na Sinterização, é produzido o sinter, que é o minério de ferro aglutinado, pois seus finos são indesejáveis para o processo de obtenção do ferro-gusa no alto-forno; na Coqueria, é produzido o coque (carvão mineral sem impurezas);

2º Produção de ferro-gusa no alto forno: o princípio básico de operação de um alto forno é a retirada do oxigênio do minério, que assim é reduzido a ferro (ferro-gusa)

3º Produção do aço: na Aciaria, é feito o processo de refino do ferro-gusa, transformando-o em aço, e o ajuste da sua composição final, de acordo com o tipo de aço produzido;

4º Conformação mecânica (Lingotamento e Laminação): o aço em estado líquido é moldado e, em seguida, laminado, sendo conformado nos produtos desejados (chapas grossas, chapas finas, perfis, etc.).

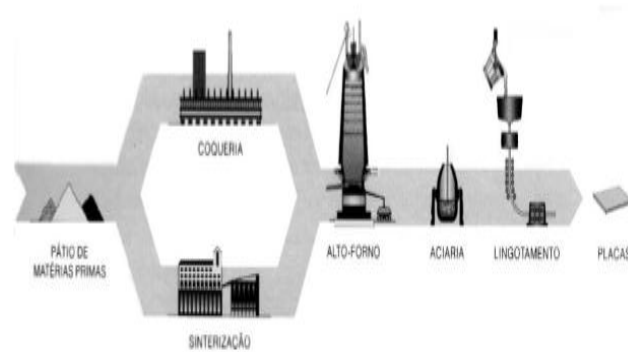


Figura 12: Processo siderúrgico.²⁰

O ferro-gusa, portanto, é o produto da primeira fusão do minério de ferro com o carvão no alto-forno, sendo uma liga metálica com alto teor de carbono, cerca de 3,5 a 4,0%.

O ferro fundido possui o ferro-gusa como matéria-prima, adicionado de alguns elementos químicos para a obtenção de um teor de carbono na liga metálica da ordem de 2,5 a 3,0%, o que lhe confere propriedades diferentes da do aço. O ferro fundido difere substancialmente do ferro forjado ou batido. Este último consiste em uma forma razoavelmente pura do metal com granulação lenhosa, que pode ser trabalhado de diversas maneiras: torcido, martelado, enrolado, cortado ou esticado, tanto a quente, quanto a frio. O tratamento na forja aumenta a elasticidade do material, enquanto que a fundição aumenta sua rigidez, diferenciando esses dois tipos de ferro. Como é facilmente moldável, o ferro fundido foi utilizado durante muitos anos na fabricação de elementos estruturais, principalmente colunas e arcos, e de decoração. Apesar de possuir uma boa resistência à compressão, resiste somente a leves tensões elásticas (tração), devido ao alto teor de carbono. Já o aço, como apresentado, se origina da redução do ferro-gusa em conversores específicos na Aciaria, com a diminuição de teores de alguns elementos químicos prejudiciais, como o enxofre, fósforo e silício, e a adição de outros elementos. O teor de carbono presente no aço é da ordem de 2%, sendo, na maioria dos casos, menor que 1%. Os

²⁰ DIAS, Luís Andrade de Mattos. **Estruturas de Aço. Conceito, Técnicas e Linguagem**. São Paulo, Ed. Ziguarte, 2002.

aços utilizados na construção civil possuem um teor de carbono na ordem de 0,18 a 0,25%.

Através da mudança da composição química do aço, podem-se obter variações nas características físicas dos produtos finais. A adição de elementos químicos é feita quando o material já está isento das impurezas do minério e em sua forma líquida.

Com o desenvolvimento da construção civil e da arquitetura, criaram-se aços mais resistentes e mais leves, específicos para fins estruturais, ou seja, com elevada resistência mecânica e resistência à corrosão. Estes aços são obtidos pela adição controlada de determinados elementos químicos que lhes conferem características específicas, ou mesmo pela eliminação de produtos indesejáveis. Segundo DIAS(2001):

As propriedades do aço, no entanto, não dependem apenas da sua composição química. Além dela, características ditas microestruturais, resultantes de tratamentos térmicos, de deformação mecânica e da velocidade de solidificação, conferem propriedades físicas, mecânicas e químicas adequadas às suas diversas aplicações.²¹

As usinas siderúrgicas podem também utilizar a própria sucata do aço como matéria prima em substituição do minério de ferro, o que também diminui os custos da produção, sendo assim denominadas usinas siderúrgicas não-integradas.

O aço pode ser reciclado um número ilimitado de vezes sem a perda de sua qualidade e de suas propriedades. Atualmente a reciclagem do aço é uma realidade e processos produtivos que privilegiam essa fonte alternativa têm sido desenvolvidos e aperfeiçoados.

No Brasil, como a oferta de sucata de boa qualidade ainda é pequena, os processos de seleção e coleta devem ser mais divulgados para a conscientização dos setores envolvidos, e novas tecnologias devem ser desenvolvidas. Segundo PARREIRAS(2001):

²¹ DIAS, Luís Andrade de Mattos. **Aço e Arquitetura: Estudo de Edificações no Brasil**. São Paulo: Ziguarte Editora, 2001.

Outros resíduos, oriundos de outras etapas da linha de produção, também são aproveitados pela indústria: a escória do alto forno compõe 70% da matéria prima de alguns tipos de cimento, e a escória da aciaria pode substituir a brita de pedra na construção civil.²²

Com a ampliação do uso do aço, conseqüentemente, obtém-se a ampliação da oferta de sucata, o que diminui o consumo de minério de ferro na linha de produção do aço, reduzindo seu custo.

1.3 CLASSIFICAÇÃO DO AÇO

A classificação é de acordo com a composição química, os aços utilizados em estruturas são divididos em dois grupos: aço carbono e aço de baixa liga. Os dois podem receber tratamentos térmicos que modificam suas propriedades mecânicas. Segundo PFEIL(2009):

- carbono 2,0%
- silício 0,60%
- manganês 1,65%
- cobre 0,35%²³

O aço-carbono é mais usado, no qual o aumento de resistência em relação ao ferro é puro e é produzido pelo carbono e, em menor escala pelo manganês. Eles contem as seguintes porcentagens máximas de elementos adicionais.

De acordo com a NBR 6215 – Produtos Siderúrgicos, o aço-carbono é aquele que contém elementos de liga em teores residuais máximos admissíveis. Esses elementos são: Cromo, Níquel, Alumínio, Cobre, Silício e Manganês. São denominados aços de média resistência mecânica. Em função do teor de carbono presente, os aços-carbono podem ser divididos em três classes:

- Baixo-Carbono: C ≤ 0,30%

²² PARREIRAS, André Orioli. **O aço e a construção civil no Brasil: Um estudo do sistema construtivo metálico**. Rio de Janeiro: Dissertação de Mestrado . UFRJ – FAU, 2001.

²³ PFEIL, Walter. **Estruturas de aço: dimensionamento prático**. Rio de Janeiro: LTC, 2009.p9

- Médio-Carbono: $0,30\% < C < 0,50\%$
- Alto-Carbono: $C \geq 0,50\%$.²⁴

Um alto teor de carbono prejudica a soldabilidade das peças, pois aumenta a do aço, porém diminui sua ductilidades (capacidade de se deformar). Portanto, os aços mais adequados à construção civil são os Baixo-Carbono, que podem ser soldados sem precauções especiais.

Os principais aços utilizados são os ASTM-A-36 e ASTM-A-570 (especificados pela *American Society for Testing and Materials*; e os NBR 6648/CG-26, NBR 7007/MR250 e NBR 6650/CF-26 (especificados pela ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas), que são produzidos pela maioria das usinas siderúrgicas brasileiras.

Os aços de baixa liga são aço carbono acrescido de elementos de liga(cromo colúmbio, cobre, manganês, molibdênio, níquel, fósforo, vanádio, zircônio), os quais melhoram algumas propriedades mecânicas.

São aços com média e alta resistência mecânica, resistência à corrosão atmosférica e excelente soldabilidade. O uso de aços com alta resistência mecânica proporciona uma redução de espessura das peças estruturais, se comparado aos aços-carbono, o que implica um menor consumo de material, sendo recomendado para a construção civil.

Porém, esse tipo de aço possui uma maior complexidade na fabricação, ocasionando custos maiores, sendo necessário um estudo da viabilidade econômica para sua utilização.

No aço patinável, é feita a adição de pequenas quantidades de certos elementos químicos, em especial o cobre, que cria uma barreira à corrosão do aço.

Quando expostos ao clima, ele desenvolve uma camada de óxido compacta e aderente na sua superfície, a qual funciona como uma barreira de proteção, podendo ser utilizado sem qualquer tipo de revestimento. Essa camada, ou pátina, somente

²⁴ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6215 – **Produtos Siderúrgicos**. Rio de Janeiro, 1986.

surge após ciclos alternados de molhamento e secagem. O tempo para o surgimento da proteção varia de acordo com o tipo de atmosfera em que o aço está exposto, em geral de 18 meses a 3 anos. Entretanto, após um ano, o material já apresenta uma homogênea coloração marrom clara.

O aço patinável pode ser utilizado com ou sem revestimento de proteção. A escolha do modo como deve ser usado é baseada no tipo de atmosfera onde será implantado, que é classificada em urbana, industrial, rural e marinha. É aconselhável o uso de revestimento quando as condições climáticas ou de utilização da estrutura não permitirem a formação da pátina. Em regiões submersas ou sujeitas a respingos, onde não ocorram os ciclos de molhamento e secagem, em ambientes industriais agressivos e à distância de até 600m da orla marítima, é ideal o uso do revestimento de proteção.

Uma das preocupações existentes em relação ao uso da estrutura em aço é a sua resistência ao fogo, em caso de incêndio.

Com o desenvolvimento da tecnologia, foram criados aços mais resistentes e que possuem um tempo maior de início de deformação da estrutura, conferindo segurança para a evacuação das construções pelos usuários.

Os aços resistentes ao fogo são basicamente resultantes da modificação de aços resistentes à corrosão atmosférica. As adições são ajustadas sempre no limite mínimo possível, para garantir um valor elevado de resistência mecânica à tração, sem prejudicar sua soldabilidade e a resistência à corrosão atmosférica, intrínseco do aço de origem.

1.4 PROPRIEDADES DO AÇO

Por ser um material industrializado, obtido sob rígido controle de qualidade, as características da liga metálica são certas e confiáveis. Com isso, os coeficientes de segurança utilizados no cálculo estrutural podem ser mais baixos.

Do ponto de vista da aplicação em estruturas, o aço apresenta a interessante característica de se adaptar ao tipo de material, adquirindo resistência à tração e à compressão. Em relação aos esforços de compressão, pode ocorrer o fenômeno da flambagem, o que necessita do aumento das seções dos perfis e/ou a criação de travamentos, denominados de contraventamentos, diminuindo o comprimento livre da peça.

Outras propriedades do material aço:

- Elasticidade: é a capacidade de retornar à forma original após o efeito de carregamento e descarregamento (tensões de tração ou compressão). O aço deve sempre trabalhar em sua fase elástica, onde a sua deformação é proporcional ao esforço aplicado;

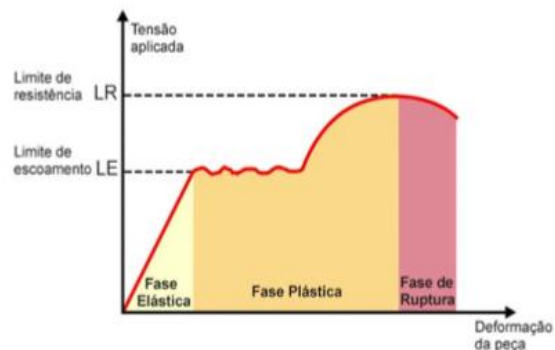


Gráfico 1: Gráfico de tensão- Deformação da peça estrutural em aço²⁵

- Ductilidade: é a capacidade de se deformar plasticamente sem se romper. As vigas de aço sofrem grandes deformações antes de se romperem, o que constitui um aviso da presença de tensões elevadas, diferentemente do ferro fundido, que não se deforma antes da ruptura. Quanto mais dúctil o aço maior é a redução de área ou o alongamento antes da ruptura;

²⁵DIAS, Luís Andrade de Mattos. **Estruturas de Aço. Conceito, Técnicas e Linguagem**. São Paulo, Ed. Ziguarte, 2002.

- Tenacidade: é a capacidade de absorver energia quando submetidos a um impacto. Um material dúctil com a mesma resistência de um material não-dúctil vai necessitar de uma maior quantidade de energia para ser rompido, sendo, portanto, um material mais tenaz.

Além disso, a composição química da liga de aço pode determinar características importantes para a sua aplicação estrutural. A indústria deve buscar a quantidade exata do material a ser adicionado, pois geralmente os componentes acabam por melhorar certa qualidade do aço, em prejuízo de outra.

1.5 PERFIS ESTRUTURAIS DO AÇO

Os perfis de aço produzidos para a construção civil possuem diversos tipos e dimensões, além de possibilitar diversas conformações.

Os perfis laminados são fabricados diretamente da linha de produção através de blocos e tarugos, que são trabalhados a quente até chegarem à forma “I”, “H” ou cantoneiras. Esses perfis podem possuir abas paralelas ou ser de padrão americano com abas inclinadas

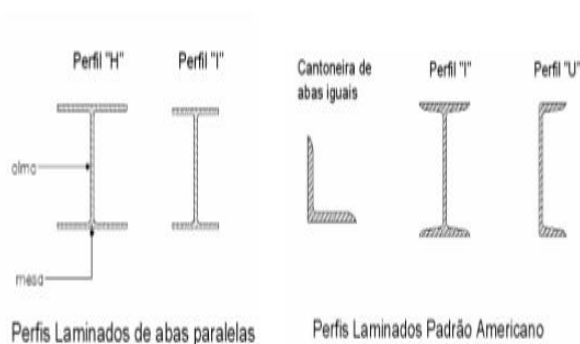


Figura 13: Tipos de perfis laminados: Perfis H e I ²⁶

É possível obter várias conformações a partir do uso conjugado de perfis e também é permitida a execução de curvas nos dois sentidos das peças. O ideal é que se utilizem raios longos, pois, com raios pequenos, é necessário o aquecimento dos perfis.

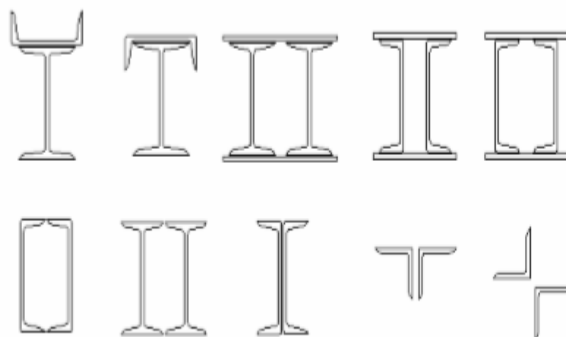


Figura 14: Tipos de composições com Perfis Laminados de Padrão Americano. ²⁷

²⁶ DIAS, Luís Andrade de Mattos. **Estruturas de Aço. Conceito, Técnicas e Linguagem.** São Paulo, Ed. Zigate, 2002.

²⁷ DIAS, Luís Andrade de Mattos. **Estruturas de Aço. Conceito, Técnicas e Linguagem.** São Paulo, Ed. Zigate, 2002.

Já os perfis soldados são obtidos pelo corte, composição e soldagem das chapas planas de aço, o que possibilita uma grande variedade de formas e dimensões. Os perfis para uso estrutural não devem ser provenientes de chapas na forma de bobina, pois pode haver deformação quando aquecidas pela solda. Dessa forma, apenas chapas denominadas grossas devem ser utilizadas, gerando perfis mais pesados que os perfis laminados.

Esse tipo de perfil possui uma vantagem sobre o perfil laminado, porque para ele não há limites de altura, já que o segundo fica restrito à capacidade da linha de produção de cada fabricante. Segundo Dias (2002):

... a oferta de perfis laminados de padrão americano no país é bastante restrita. Além disso, eles possuem uma limitação quanto à disponibilidade de tipos e à variedade de tamanhos, e a sua aba inclinada dificulta a execução de ligações²⁸.

A fabricação dos perfis soldados pode ser “artesanal” ou completamente industrial. Os fabricantes de estruturas possuem uma gama de perfis com dimensões padronizadas. No entanto, perfis especiais com conformações diversas podem ser encomendados e produzidos com facilidade.

Os perfis podem ser também eletrossoldados, o que consiste em um processo industrial em que a soldagem é feita por resistência elétrica, conhecida como eletrofusão, na qual não há a deposição de outros materiais, como na solda comum.

A produção de perfis pode ser feita, ainda, pelo dobramento a frio de chapas de aço. Esse tipo de fabricação também possibilita à criação de formas e dimensões diferenciadas, além das padronizadas, guardadas as limitações dimensionais de suas linhas de produção.

Como são utilizadas chapas mais finas em sua produção, esses perfis são indicados para construções mais leves, sendo usados, principalmente, como barras de treliças, terças, etc.

²⁸ DIAS, Luís Andrade de Mattos. **Estruturas de Aço. Conceito, Técnicas e Linguagem**. São Paulo, Ed. Ziguarte, 2002

Esses perfis formados a frio são também utilizados para a construção dos painéis estruturais do sistema construtivo steel-frame. Os perfis, no caso galvanizados, compõem guias e montantes de vedações, lajes e cobertura, e são projetados para a absorção de cargas. Os fechamentos podem ser feitos com diversos materiais, como gesso acartonado, placa cimentícia, painéis OSB (Placas de Partículas Orientadas).

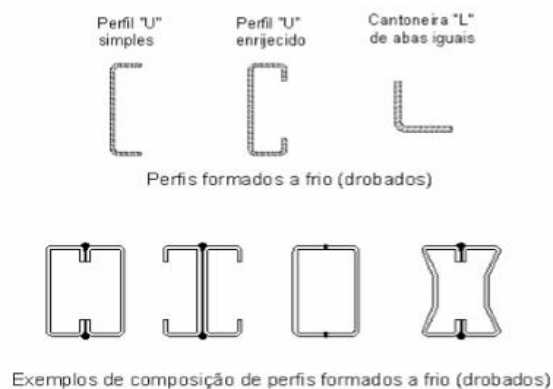


Figura 15: Perfis formados a frio (dobrados).²⁹

Os perfis também podem ser tubulares, e, a partir da secção circular prensada, pode-se produzir formas quadradas e retangulares. Esse tipo de perfil pode possuir costura, sendo produzido por soldagem, ou sem costura, fabricado diretamente da laminação a quente de barras de aço maciças. O primeiro possui uma limitação quanto ao seu comprimento, devido ao tamanho da chapa; o segundo pode ser laminado em qualquer comprimento.

²⁹ DIAS, Luís Andrade de Mattos. **Estruturas de Aço. Conceito, Técnicas e Linguagem**. São Paulo: Ed. Ziguarte, 2002.



Figura 16: Perfis Tubulares.³⁰

Os perfis tubulares de médio e grande porte são muito utilizados como pilares, pois, devido a sua geometria, seja ela circular, quadrada ou retangular, apresentam alta resistência a flambagem.

Já os perfis de menores diâmetros são usados na fabricação de treliças planas e espaciais. Além disso, juntamente com o uso de chapas, é possível a composição de perfis, sendo utilizados como vigas e pilares.

³⁰ DIAS, Luís Andrade de Mattos. **Estruturas de Aço. Conceito, Técnicas e Linguagem**. São Paulo:Ed. Ziguarte, 2002.

CAPITULO II- ESTRUTURAS MISTAS

As estruturas mistas passaram a ter grande utilização após a II Guerra Mundial. Anteriormente, empregavam-se vigas metálicas com lajes de concreto, sem considerar no cálculo a participação da laje no trabalho da viga. A carência de aço após a guerra levou os engenheiros europeus a utilizar laje de concreto como parte componente do vigamento, iniciando-se pesquisas sistemáticas que esclarecem o comportamento da viga mista para reforços estáticos.

A determinação de um material para a execução de uma estrutura não pode passar pela comparação direta entre eles. Não existe um material melhor do que o outro. Cada projeto possui particularidades que variam de acordo com o seu programa de necessidades, com o local a ser implantado, e até mesmo com a conjuntura econômica do país.

É preciso investigar as propriedades de cada material que possa atender a esses requisitos, e escolher a opção mais técnica e financeiramente viável.

Muitas vezes, a utilização de materiais diferentes em uma mesma estrutura pode ser a melhor solução. A estrutura de aço não pode ser considerada uma solução única e ideal para todos os casos, e sua utilização também pode ser combinada com outros materiais, como madeira e concreto, a fim de se obter um melhor resultado.

A partir do estudo das características de cada material e dos requisitos projetuais, o engenheiro estrutural e o arquiteto podem propor uma utilização conjunta, aproveitando o melhor desempenho de cada elemento.

Como exemplo, podemos citar o uso de peças mistas em aço e concreto, que propicia um aumento da resistência à compressão da peça metálica e o melhor desempenho à tração do concreto. Dessa forma, é possível diminuir suas dimensões finais e o consumo dos dois materiais. Além disso, o revestimento dos perfis de aço com concreto cria uma proteção contra altas temperaturas.

O desenvolvimento dos diversos sistemas estruturais e construtivos fez surgir, entre outros, os sistemas formados por elementos mistos aço-concreto, cuja combinação de perfis de aço e concreto visa aproveitar as vantagens de cada material, tanto em termos estruturais como construtivos. Nas construções mistas, o concreto foi primeiramente usado, como material de revestimento, protegendo os perfis de aço contra o fogo e a corrosão e embora o concreto pudesse ter alguma participação em termos estruturais, sua contribuição na resistência era desprezada. Hoje, vigas, colunas e lajes mistas são intensamente usadas em edifícios multiandares no exterior e estão evoluindo no Brasil. As construções em sistema misto são competitivas para estruturas de vãos médios a elevados, caracterizando-se pela rapidez de execução e pela significativa redução do peso total da estrutura. Os sistemas estruturais em aço e concreto permitem uma melhor racionalização dos processos construtivos e, conseqüentemente, evitam o desperdício.

Os elementos estruturais que compõem o sistema estrutural global podem ser divididos didaticamente em lajes, vigas e pilares ou a união destes elementos que devem ter resistência mecânica, estabilidade, rigidez, resistência à fissuração e a deslocamentos excessivos para poderem contribuir de modo efetivo na resistência global do edifício.

A compreensão das características do aço proporciona o melhor entendimento do comportamento estrutural de seus componentes. Além disso, o conhecimento da variedade de peças existentes no mercado e das possibilidades de conjugações de perfis e de outros materiais facilita a absorção dos conceitos necessários para a concepção e o desenvolvimento do objeto arquitetônico de forma criativa e racional.

2.1.Lajes Mistas

O sistema de lajes mistas consiste na utilização de uma fôrma nervurada de aço incorporada, como suporte para o concreto antes da cura e da atuação das cargas de utilização. Após a cura do concreto, os dois materiais, a fôrma de aço e o concreto, solidarizam-se estruturalmente, formando o sistema misto. A fôrma de aço

substitui então a armadura positiva da laje. Para esse tipo de laje, o conector mais utilizado é o tipo pino com cabeça (stud).³¹

O sistema de lajes mistas consiste na utilização de uma fôrma permanente nervurada de aço, como suporte para o concreto antes da cura e da atuação das cargas de utilização. Após a cura do concreto, os dois materiais, a fôrma de aço e o concreto, solidarizam-se estruturalmente, formando o sistema misto. A fôrma de aço substitui então a armadura positiva da laje. Uma vez tendo à chapa de aço contribuindo com resistência, as lajes são, em geral mais leves, aliviando as cargas da fundação.³²

São diversas as funções das fôrmas de aço empregadas nas lajes mistas. Além de suportarem os carregamentos durante a construção e funcionarem como plataforma de trabalho, contraventam a estrutura, desempenhando o papel de diafragma horizontal, distribuem as deformações por retração, evitam a fissuração excessiva do concreto, apresentam vantagens como a possibilidade de dispensa do escoramento da laje e a facilidade oferecida à passagem de dutos e instalações.



³¹ Tipo de conector utilizado para unir viga e laje através da solda.

³² SÁLES, J. J. **Estudo do projeto e da construção de edifícios de andares múltiplos com estruturas de aço**. 1995. 278 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995



Figura 17: Etapas construtivas da laje mista do anexo Shopping do Vale, Ipatinga, Estado de Minas Gerais.(Fotos do Autor)³³

O comportamento misto é alcançado após a cura do concreto da laje, quando a fôrma de aço transmite as tensões cisalhantes horizontais na interface com o concreto através de ligações mecânicas fornecidas por saliência e reentrâncias existentes na fôrma e evitam a fissuração excessiva do concreto.

Quanto à instalação, temos vantagens apresentadas desde o tempo de espera para cura (menos concreto, menor tempo de cura), até o transporte das chapas, que possuem baixo peso. O processo de fixação é relativamente fácil, necessitando, em média, de dois a três trabalhadores.

Devido ao processo industrial de fabricação das chapas, a garantia de suas propriedades é controlada em fábrica, com procedimentos de qualidade e tolerâncias rígidas. Em contra partida, as lajes mistas apresentam a necessidade de plano de montagem com detalhamento de aspectos construtivos, limitações do aço em situações de incêndio a serem consideradas em cálculo e a necessidade de mão de obra especializada.

³³ Etapas construtivas da laje mista do anexo Shopping do Vale, Ipatinga, Estado de Minas Gerais. (Fotos do Autor)³³

2.2 CONECTORES DE CISALHAMENTO

Realizam a ligação entre o elemento de aço e a laje de concreto. Cumprem a função de absorver os esforços de cisalhamento nas duas direções e de impedir o afastamento vertical entre a laje e a viga de aço. Os conectores de cisalhamento têm também como funções transferir esforços de cisalhamento longitudinais do concreto para o aço, na interface da viga mista, bem como impedir a separação vertical entre laje de concreto e perfil de aço e ainda garante que o sistema trabalhe em conjunto. Desta forma, a resistência e rigidez do material do conector de cisalhamento têm enorme influência no comportamento de uma viga mista.

Segundo Pfeil (2009), os conectores de cisalhamento são dispositivos mecânicos que tem a função de garantir o trabalho conjunto da seção de aço com a laje de concreto.³⁴

Os conectores classificam-se em flexíveis e rígidos. O conceito de rigidez, neste caso, está relacionado com a capacidade que o conector possui de restringir o escorregamento na ligação viga de aço-laje de concreto. Os conectores do tipo pino com cabeça (stud) e o perfil “U” são os conectores flexíveis mais utilizados na construção civil, principalmente o primeiro, devido à facilidade de fabricação e pela equivalência de resistência em todas as direções normais ao eixo do conector.

³⁴ PFEIL, Walter. **Estruturas de aço: dimensionamento prático**. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

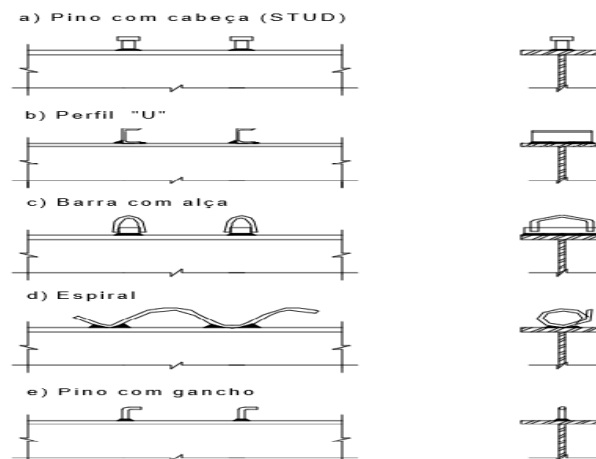


Figura 18: Tipos mais usuais de conectores.³⁵

Para fixação dos conectores devem evitar a presença de umidade na soldagem do conector, sendo conveniente que a aplicação dos conectores seja feita logo após a montagem da fôrma de aço, evitando a possibilidade de acúmulo de água entre os painéis e a face superior das vigas de aço; Os conectores não devem ser soldados através de mais de um painel de fôrma.

2.3 SOLIDARIZAÇÃO CONCRETO-AÇO

O termo solda se aplica ao resultado final da operação de soldagem. Na soldagem, a união dos materiais é realizada através da fusão dos materiais em íntimo contato, pela fusão de ambos e adição de outro material fundido ou, ainda, simplesmente, por contato destes materiais nas fases sólida ou semi-sólida. Em geral, a soldagem provoca maior distorção no material base e normalmente não é utilizada sobre cerâmicos. A grande área de atuação da soldagem inclui os metais e suas ligas, devendo-se este fato à sua grande versatilidade e economia, além das excelentes propriedades mecânicas que as uniões assim obtidas apresentam.

³⁵ ALVA, G. M. S.; MALITE, M. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**, São Carlos, v. 7, n. 25, p. 51-84, 2005

Segundo BRANDI: "Soldagem é o processo de união entre duas partes metálicas, usando uma fonte de calor com ou sem aplicação de calor. A solda é o resultado desse processo"³⁶.

Apesar de possuir aparência moderna, a união de materiais já era praticada há cerca de quatro mil e oitocentos anos, nos vales dos rios Nilo e Tigre-Eufrates. A soldagem, tal como hoje é concebida, somente se desenvolveu no final do século XIX e realmente ganhou impulso nos últimos 60 anos. Durante o período da II Guerra Mundial (1939 a 1945), as técnicas de soldagem sofreram uma evolução muito grande, devido à fabricação de navios e aviões soldados. Hoje os processos de soldagem são utilizados para fabricar produtos e estruturas metálicas, aviões, veículos espaciais, navios, locomotivas, veículos ferroviários e rodoviários, pontes, prédios, oleodutos, gasodutos, plataformas marítimas, etc.

Na construção civil, estruturas metálicas precisam ser fixadas a estruturas de concreto, como vigas e lajes.

Para suprir esse mercado existem os conectores de cisalhamento. Por oferecerem bom desempenho, os conectores são largamente empregados em estruturas metálicas para obras de grande porte, como edifícios, viadutos, pontes, usinas de energia, entre outras.

Soldados à viga de aço, os conectores fazem a integração entre a parte de aço e de concreto. O sistema de vigas mistas frequentemente é associado a lajes produzidas com a utilização de formas de aço incorporada. Neste caso, os conectores podem ser soldados à viga através da chapa galvanizada.

³⁶ WAINER, Emílio; BRANDI, Sérgio Duarte; MELLO, Fábio Décourt Homem *et. Soldagem: processos e metalurgia*. São Paulo: Edgard Bulcher LTDA, p.1, 2000.

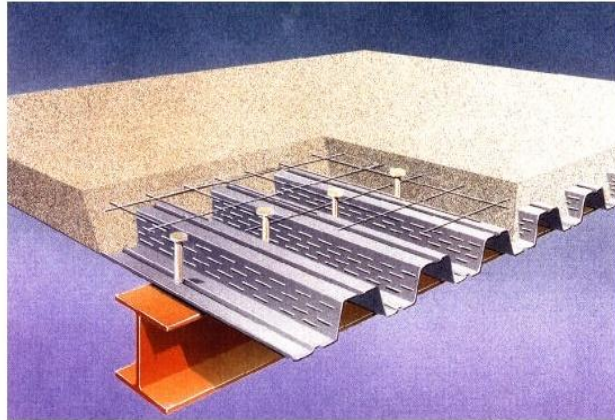


Figura 19: Detalhe da laje com forma de aço incorporada, catálogo da CODEME Engenharia³⁷

Com relação ao processo de soldagem utiliza-se o pino com cabeça (stud) e cerâmica, conforme ilustra a figura 20a, extraída de QUEIROZ (2001). O pino e a cerâmica são introduzidos em uma pistola automática, ilustrada na figura 20b, ligada a um equipamento específico de soldagem que requer uma fonte de força de aproximadamente 3000 amperes para formar o arco elétrico. A cerâmica tem a finalidade de conter o material fundido e servir de proteção para o arco elétrico. Segundo QUEIROZ (2001):

O processo é iniciado ao se encostar a base do pino ao material-base (mesa superior do perfil), como ilustra a figura 2.8c, quando então aperta-se o gatilho da pistola, abrindo-se o arco elétrico, conforme figura 2.8d. O arco tem uma duração de tempo suficiente para que ocorra a fusão entre o pino e material-base, quando então a pistola, automaticamente, empurra o pino na direção da poça de fusão e, ao mesmo tempo corta-se a corrente elétrica. Quando ocorrer a solidificação do material fundido, o processo estará completo (figura 21), quando então a pistola será retirada do pino, quebrando assim a cerâmica. Este processo se torna mais difícil, e conseqüentemente menos econômico, quando o diâmetro do conector (d) excede 20 mm.

³⁷ CODEME ENGENHARIA S.A. (1997). Steel deck CE-75: **noções de utilização e dimensionamento**. Betim

: Processo de soldagem do conector pino com cabeça (stud),³⁸ QUEIROZ (2001)

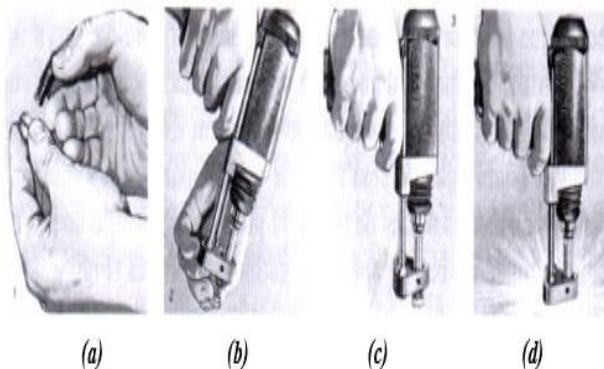


Figura 20: Processo de soldagem do conector pino com cabeça (stud),³⁹ QUEIROZ (2001)



Figura 21: Resultado final da soldagem do conector tipo pino com cabeça (stud)⁴⁰

³⁸ QUEIROZ, G.; PIMENTA, R.J.; MATA, L.A. (2001). **Elementos das estruturas mistas aço- concreto.** Belo Horizonte, Editora O Lutador. 336p

³⁹ QUEIROZ, G.; PIMENTA, R.J.; MATA, L.A. (2001). **Elementos das estruturas mistas aço- concreto.** Belo Horizonte, Editora O Lutador. 336p

⁴⁰ QUEIROZ, G.; PIMENTA, R.J.; MATA, L.A. (2001). **Elementos das estruturas mistas aço- concreto.** Belo Horizonte, Editora O Lutador. 336p

Devido ao rápido método de execução e a equivalência na resistência em todas as direções normais ao eixo do conector, o pino com cabeça (stud) é um dos conectores flexíveis mais utilizados na maioria dos países.

2.4.Pilares Mistos

Os pilares mistos, de maneira geral, são constituídos por um ou mais perfis de aço, preenchidos ou revestidos de concreto. A combinação dos dois materiais em pilares mistos propicia além da proteção ao fogo e à corrosão, o aumento da resistência do pilar. Essa combinação contribui para o aumento na rigidez da estrutura aos carregamentos horizontais. A ductilidade é outro ponto que diferencia os pilares mistos, os quais apresentam um comportamento mais "dúctil" quando comparados aos pilares de concreto armado.

Existem também outras vantagens, tal como a ausência de fôrmas, no caso de pilares mistos preenchidos, possibilitando a redução de custos com materiais, mão-de-obra e agilidade na execução.

Os pilares mistos são classificados em função da posição em que o concreto ocupa na seção mista. Os pilares mistos revestidos caracterizam-se pelo envolvimento, por completo, do elemento estrutural em aço, conforme ilustra a figura 22(a). A presença do concreto como revestimento, além de propiciar maior resistência, impede a flambagem local dos elementos da seção de aço, fornece maior proteção ao fogo e à corrosão do pilar de aço. A principal desvantagem desse tipo de pilar é a necessidade de utilização de fôrmas para a concretagem, tornando sua execução mais trabalhosa, quando comparada ao pilar misto preenchido.

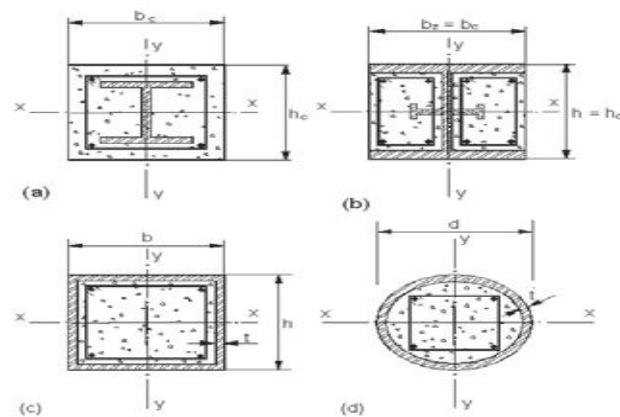


Figura 22 Pilares mistos⁴¹

Os pilares mistos, parcialmente revestidos, caracterizam-se pelo não envolvimento completo da seção de aço pelo concreto, conforme ilustra a figura (22). Os pilares mistos preenchidos são elementos estruturais formados por perfis tubulares, preenchidos com concreto de qualidade estrutural, conforme a figura (22) e (22). A principal vantagem é que este dispensa fôrmas e armadura e é possível ainda a consideração do efeito de confinamento do concreto na resistência do pilar misto.

Podem-se citar algumas vantagens dos pilares mistos como:

- a) Aumento da resistência para dimensão externa constante;
- b) Aumento na rigidez e resistência flambagem;
- c) Aumento na ductilidade em situações de carregamento repetido e reverso;
- d) Boa resistência em situações de incêndio;
- e) Proteção corrosão em seções envolvidas;

⁴¹ FABRIZZI, M.A. **Contribuição para o projeto e dimensionamento de edifícios de múltiplos andares com elementos estruturais mistos aço-concreto**. 2007. Dissertação (Mestrado)p-52-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

f) Possibilidade das ligações entre vigas e pilares serem realizadas através dos perfis.

2.5.Vigas Mistas

As vigas mistas aço-concreto surgiram como consequência da utilização de vigas de aço sob lajes de concreto. Inicialmente a viga era projetada de forma a suportar o peso da laje de concreto sobre ela apoiada. Posteriormente a contribuição da laje passou a ser considerada, caracterizando um sistema misto. No referente à ação de cargas gravitacionais, esse sistema constitui um melhor aproveitamento das características dos materiais, resultando em redução no peso do perfil metálico. Entretanto, para que esse elemento se comporte, de fato, como viga mista, faz-se necessário haver um trabalho conjunto entre perfil de aço e laje de concreto. Para tanto são utilizados elementos metálicos denominados conectores de cisalhamento, os quais visam restringir o escorregamento longitudinal e a separação vertical na interface aço- concreto, garantindo a existência de interação entre laje e viga. Segundo ALVA:

As vigas mistas são constituídas pela associação entre vigas de aço e lajes de concreto. As primeiras ligações entre o aço e o concreto foram constituídas pelo embutimento do perfil à laje e a interação se dava pela força de adesão natural entre os materiais. Este sistema foi, gradualmente, sendo substituído por ligação através de conectores de cisalhamento, geralmente soldados à mesa do perfil, que se mostravam um tanto mais eficientes. Esta união permite que os dois materiais se deformem como um único elemento e gera um somatório de vantagens estruturais nas regiões de momento positivo, em comparações com a viga de aço isolada. A flambagem local da mesa e da alma, assim como a flambagem lateral com torção são, pela ação do concreto, amenizadas. Possibilita também uma economia de material com a redução da altura dos elementos estruturais, devido ao acréscimo de rigidez e resistência.⁴²

⁴² ALVA, G. M. S.; MALITE, M. **Comportamento estrutural e dimensionamento de elementos mistos aço-concreto – Caderno de Engenharia de Estruturas**. 2005. 34 f. São Carlos. **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 .

As vigas mistas resultam da associação de uma viga de aço com uma laje de concreto ou mista, cuja ligação é feita por meio dos conectores de cisalhamento, geralmente soldados à mesa superior do perfil. Em edifícios, o perfil mais utilizado como viga de aço é do tipo "I". As lajes de concreto podem ser moldadas in loco, com face inferior plana ou com fôrma de aço incorporada, ou ainda, podem ser formadas de elementos pré-fabricados.

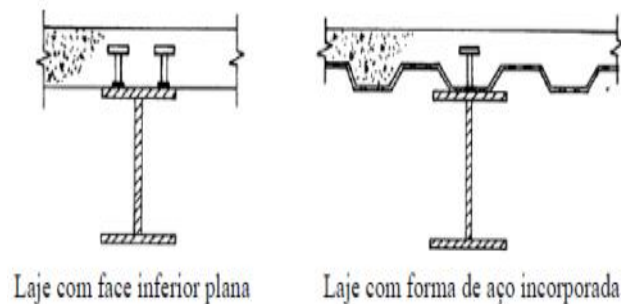


Figura 23:Laje com face interior plana⁴³

Uma das vantagens da utilização de vigas mistas em sistemas de pisos é o acréscimo de resistência e de rigidez propiciados pela associação dos elementos de aço e de concreto, o que possibilita a redução da altura dos elementos estruturais, resultando em economia de material. Segundo Bellei(2008):

...os gastos com a colocação dos conectores são compensados pela redução do peso da viga de aço. E ainda cita as vigas mistas como uma alternativa ideal para lugares onde o espaço estrutural limita muito a altura das vigas, já que há a possibilidade do uso de vigas de menor altura.⁴⁴

As vigas mistas podem ser simplesmente apoiadas ou contínuas. As simplesmente apoiadas contribuem para a maior eficiência do sistema misto, pois a

⁴³ MALITE, M. (1990). **Sobre o cálculo de vigas mistas aço-concreto: ênfase em edifícios. São Carlos.** 144p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo.

⁴⁴ BELLEI, Ildony Hélio. **Edifícios de múltiplos andares em aço** / Ildony H. Bellei, Fernando O. Pinho, Mauro O. Pinho. 2ª Ed. – São Paulo: Pini, 2008.

viga de aço trabalha predominantemente à tração e a laje de concreto à compressão.

Segundo Bellei(2008):

...as vigas mistas podem ser formadas por perfis soldados ou laminados. Os primeiros apresentam grande versatilidade, possibilitando perfis monossimétricos com inúmeras combinações de altura, larguras de mesas e espessuras, e podem conduzir a seções mais leves. Já os perfis laminados, de seções tabeladas são sempre duplamente simétricos e têm a alternativa de se empregar chapas de aço soldadas na aba inferior, transformando os perfis laminados duplamente simétricos em perfis monossimétricos de eficiência semelhante aos perfis soldados e ainda de menor custo de produção, mesmo considerando a colocação da chapa adicional.⁴⁵

Com relação ao método construtivo, pode-se optar pelo não escoramento da laje devido à necessidade de velocidade de construção. Por outro lado, o escoramento da laje pode ser apropriado caso seja necessário limitar os deslocamentos verticais da viga de aço na fase construtiva.

⁴⁵ BELLEI, Ildony Hélio. **Edifícios de múltiplos andares em aço** / Ildony H. Bellei, Fernando O. Pinho, Mauro O. Pinho. 2ª Ed. – São Paulo: Pini, 2008.

3. ESTUDO DE CASO

Para complementar nosso trabalho estivemos nas dependências do shopping do Vale em Ipatinga MG onde está sendo realizado uma expansão do mesmo. São 60.000 m² construídos em 15 meses. Além das imagens em cada fase da obra colhemos dados sobre o projeto e sua execução incluindo dados e opiniões do Engenheiro Marcelo Xavier, este sendo o responsável pela execução da obra, e esclareceu algumas de nossas dúvidas:



Figura 24: Shopping do Vale⁴⁶

Segundo ele foi feito o estudo de viabilidade custo-benefício comparando os três métodos mais utilizados no mercado, (concreto armado, estruturas metálicas e estruturas mistas). Para construção do empreendimento em concreto armado levaria um tempo maior de execução o qual iria ter um gasto elevado pois a diminuição no tempo automaticamente diminuiria o custo total. Na estrutura metálica proporcionava agilidade mas implicaria diretamente no preço, pois a alma dos perfis seria mais espessa elevando assim também o peso total de aço e automaticamente o valor do

⁴⁶ Disponível em: <http://inovats.com.br/shopping-via-vale-do-aco/> Acesso em: 09/10/2014

empreendimento, e por questões financeiras foi escolhida as estruturas mistas, levando em conta além do custo, a rigorosidade do controle das peças industrializadas se comparadas ao método de concreto convencional, tempo de execução e aumento da área útil pois tal estrutura permite espaço livre para execução de vários serviços ao mesmo tempo. Primeiramente fizeram o estudo de solo para definir o tipo de fundação e assim escolherem o tipo de estacas. A partir do dimensionamento estrutural optaram pelo uso da perfuratriz com 32 metros de profundidade por 0,80 metros de diâmetro, passando assim para os blocos de transição nos quais já são fixadas à mesa que receberá o perfil metálico.



Após esta etapa a continuidade da obra é transferida para a empresa especializada na montagem da estrutura central (pilares, vigas e lajes-fôrmas de aço incorporada), após a montagem serão feitas as armaduras que atuaram juntamente com o perfil, passando assim para a e preparação das fôrmas e em seguida a concretagem dos pilares e laje que pode ser executado juntos.

¹ Etapas construtivas da laje mista do anexo Shopping do Vale, Ipatinga, Estado de Minas Gerais. (Fotos do Autor)¹



A seqüência construtiva de um edifício em estrutura mista aço-concreto, deve ser considerada pelo engenheiro calculista e pelo engenheiro de obra. Vale ressaltar que a estabilidade e a resistência final frente às ações horizontais do vento não são imediatamente atingidas até o endurecimento do concreto. Por esta razão deve-se limitar o número de pavimentos por etapas de concretagem, durante a fase construtiva, além de sobrecarregar os pilares de aço dos primeiros pavimentos, reduzir o possível número de concretagem, respeitando-se os limites de resistência do pilar de aço isolado na fase de execução, é um procedimento vantajoso nesses tipos de edifícios.

As lajes mistas são indicadas, para compor um conjunto estrutural com vigas e pilares metálicos. No caso do shopping utilizaram a laje composta por uma telha de aço galvanizado, perfilada e com nervuras, e uma camada de concreto. Antes da cura, essa fôrma permanente funciona como plataforma de serviço e suporte para o concreto, eliminando parcial ou totalmente os escoramentos e reduzindo, custos com aluguel, montagem e desmontagem e com mão-de-obra. Depois que os dois materiais se solidarizam aço-concreto, formam um sistema misto que atua como armadura positiva. Para garantir sua competitividade frente a outras soluções, porém, o ideal é usá-las em situações nas quais os vãos variem de 2 m a 4 m, que podem dispensar escoramentos. Para se obter um resultados esperados devemos seguir as orientações no processo de execução e montagem. De acordo com o

¹ Etapas construtivas da laje mista do anexo Shopping do Vale, Ipatinga, Estado de Minas Gerais. (Fotos do Autor)¹

engenheiro Marcio Xavier estas são as etapas que devem ser realizada para se ter um bom aproveitamento dos materiais.

Primeiro passo

- Antes de elevar as chapas, é necessário que a estrutura metálica esteja executada.
- A montagem das chapas deve ser realizada de acordo com os planos de execução.
- Para espaçamento entre vigas de suporte superior a 2,5 m, é necessário escoramento durante a concretagem e período de endurecimento do concreto.

Segundo passo

- Após o término da montagem da fôrma de aço, devem ser fixados os conectores de cisalhamento.
- Esses conectores deverão ser soldados à viga, através da fôrma de aço, com um equipamento de solda por eletrofusão.

O conector mais utilizado no sistema de lajes e vigas mistas é o tipo pino com cabeça

Terceiro passo

- Concluídas a montagem, a fixação da fôrma e a instalação dos conectores, pode-se dar início à instalação das armaduras adicionais das lajes.
- Como regra, utilizam-se armaduras em malha quadrada e de pequeno diâmetro, exceto em grandes vãos, onde é necessário proceder ao cálculo de uma armadura superior.

Quarto passo

- Lançamento do concreto por meio de bomba (concreto bombeado).

- A saída do concreto deve ser movimentada freqüentemente e cuidadosamente para minimizar os problemas de acumulação em zonas críticas da laje como, por exemplo, no meio do vão.

Quinto passo

- Como em toda concretagem, o tempo de cura deve ser respeitado rigorosamente.
- O cobrimento mínimo definido na NBR 14323 é de 50 mm de concreto acima do topo da fôrma .

As lajes mistas de acordos com todas estas vantagens é a mais indicada não só para a construção de edifícios comerciais, também residenciais.

De acordo com o engenheiro responsável pela execução do shopping temos disponibilidade dos tipos de perfis à venda no mercado brasileiro, porém foi escolhida uma empresa nacional por questões sociais, os quais sairiam mais em conta se importados.

Acredita-se que as estruturas mistas podem ser empregadas em todos tipos de projetos, tantos comerciais, residências e para outros fins. Isso é delimitado pelo projetista responsável, e por fatores como custos e finalidades.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As estruturas mistas aço-concreto, formadas pela associação de perfis de aço com o concreto, constituem uma solução competitiva em sistemas estruturais de edifícios, sendo bastante empregadas em diversos países. O emprego do sistema misto no Brasil é relativamente recente e tem evoluído de forma modesta. Nos sistemas horizontais, constituídos principalmente de lajes e vigas, a utilização de elementos mistos conduz a algumas vantagens, entre elas a rapidez de execução e o significativo aumento da capacidade estrutural das vigas, resultando em economia de material. Nesses sistemas, as vigas mistas e as lajes com fôrma de aço incorporada, caracterizando as lajes mistas, são bem utilizadas. Nos sistemas verticais, os pilares mistos têm tido sua utilização ampliada, principalmente em edifícios altos. Nesses elementos mistos, a combinação aço- concreto propicia maior rigidez à estrutura e maior resistência ao fogo. O estudo de caso nos revelou e ampliou muito o nosso conhecimento sobre o sistema construtivo estudado e proporcionou ideias e questionamentos sobre tal técnica destacando algumas desvantagens não identificadas na confecção do trabalho, tais como: dilatação entre materiais e também vantagens como: maior aproveitamento nas áreas trabalhadas, e a oportunidade de acompanhar o dia a dia de uma grande obra com profissionais de responsabilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVA, G.M.S; MALITE, M. **Comportamento estrutural e dimensionamento de elementos misto aço e concreto**-Caderno de Engenharia de Estruturas, São Carlos, 2005, p34.

ALVA,G.M.S.(2000).**Sobre o projeto de edifícios em estrutura mista aço e concreto**.São Carlos,2000.277p.Dissertação(Mestrado)-Escola de Engenharia de São Carlos,Universidade de São Carlos.2000.p,2000.11.

ALVA, G. M. S.; MALITE, M. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**, São Carlos, v. 7, n. 25, p. 51-84, 2005

ALVA, G. M. S.; MALITE, M. **Comportamento estrutural e dimensionamento de elementos mistos aço-concreto – Caderno de Engenharia de Estruturas**. 2005. 34 f. São Carlos. **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 .

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-8800: **Dimensionamento de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6215 – **Produtos Siderúrgicos**. Rio de Janeiro, 1986.

BRAGA, Thomaz dos Mares Guia. **Cronologia do Uso dos Metais**. Belo Horizonte, Usiminas, 1998.

BELLEI, Ildony Hélio. **Edifícios de múltiplos andares em aço** / Ildony H. Bellei, Fernando O. Pinho, Mauro O. Pinho. 2ª Ed. – São Paulo: Pini, 2008.

CODEME ENGENHARIA S.A. (1997). **Steel deck CE-75: noções de utilização e dimensionamento**. Betim

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, p.19,20.

DIAS, Luís Andrade de Mattos. **Aço e Arquitetura: Estudo de Edificações no Brasil**. São Paulo: Zigurate Editora, 2001.

Disponível em: <http://www.gettyimages.pt/editorial/ponte-eads-imagens>>Acesso em 8/08/2014

Disponível em: <http://www.searlecanada.org/sunderland/sunderland> >Acesso em 02/9/2014

Disponível em: <http://inovats.com.br/shopping-via-vale-do-aco/>Acesso em: 09/10/2014

DISPONÍVEL EM: <http://arquitetandonanet.blogspot.com.br/2009/04/edificio-casa-do-comercio-salvador.html>>Acesso em 31/10/2014

Disponível em: http://brasiliatour.com.br/?attachment_id=441 <Acesso em 19/10/2014

Disponível em: <http://www.lmc.ep.usp.br/people/hlinde/estrutura>>Acesso em 19/10/2014

Disponível em: <http://www.pinterest.com/pin/411938697137172732/> >Acesso em 23/09/2014

Disponível em: <http://vejanomapa.net.br/ponte-rio-niteroi-rio-de-janeiro-rj> >Acesso em 05/10/2014

Disponível em: <http://wetete.com/ponte-akashi-kaikyo-uma-obra-da-engenharia>>Acesso em:19/09/2014

Disponível em: <http://www.metallica.com.br/primeiro-edificio-em-estrutura-metalica-do-brasil>>Acesso em 19/10/2014

Disponível em: <http://www.metallica.com.br/50-anos-de-brasilia-palace-hotel-a-presenca-do-aco-na-capital-federal> <Aesso em 19/10/2014

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, p40.

FABRIZZI, M.A. **Contribuição para o projeto e dimensionamento de edifícios de múltiplos andares com elementos estruturais mistos aço–concreto.** 2007. Dissertação (Mestrado)Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.p-52.

FERREIRA, Oscar L. **O uso adequado do aço e sua contribuição na racionalização da construção.** Rio de Janeiro: Dissertação de Mestrado. UFRJ - FAU, 1998.

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

OLIVEIRA, D.R. **Desenvolvimento do projeto arquitetônico em estruturas de aço.** Dissertações (Especialização em Construção Civil)-Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004, p.51.

PARREIRAS, André Orioli. **O aço e a construção civil no Brasil: Um estudo do sistema construtivo metálico.** Rio de Janeiro: Dissertação de Mestrado . UFRJ – FAU, 2001.

PFEIL, Walter. **Estruturas de aço: dimensionamento prático.** Rio de Janeiro: LTC, 2009.p9

PIGNATTA, Valdir; PANNONI, FABIO. **Tipos de perfis. Zincagem. Estrutura de aço para Edifícios, Aspectos tecnológicos e de concepção,** São Paulo: Blucher, 2010, p34.

QUEIROZ, G.; PIMENTA, R.J.; MATA, L.A. (2001). **Elementos das estruturas mistas aço- concreto.** Belo Horizonte, Editora O Lutador. 336p

SILVA, Geraldo Gomes da. **Arquitetura do ferro no Brasil.** São Paulo: Nobel, 1986.

BRUAND, Yves. **Arquitetura Contemporânea no Brasil.** São Paulo: Editora Perspectiva S.A., 1997

SÁLES, J. J. **Estudo do projeto e da construção de edifícios de andares múltiplos com estruturas de aço.** 1995. 278 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia de Estruturas) –

Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995

WAINER, Emílio; BRANDI, Sérgio Duarte; MELLO, Fábio Décourt
Homemet. **Soldagem: processos e metalurgia**. São Paulo: Edgard Bulcher LTDA,p.1,
2000.
NBR 14323