



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil
Mestrado Profissional em Construção Metálica-MECOM



Djemerson Mateus de Andrade

**COMPARATIVO DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO MISTO DE *STEEL*
DECK COM O SISTEMA *SLIM FLOOR* UTILIZANDO O SOFTWARE CoSFB**

Ouro Preto, dezembro de 2017.

DJEMERSON MATEUS DE ANDRADE

djemersonmateus@yahoo.com.br

COMPARATIVO DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO MISTO DE *STEEL DECK* COM O SISTEMA *SLIM FLOOR* UTILIZANDO O SOFTWARE CoSFB

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado Profissional em Construção Metálica do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências em Construção Metálica.

ORIENTADORES: Prof. Dr. Geraldo Donizetti de Paula
Prof.^a Dra. Rovadávia Aline de Jesus Ribas

**OURO PRETO – MG
2017**

A553C Andrade, Djemerson Mateus de.
Comparativo de dimensionamento de pavimento misto de STEEL DECK com o sistema SLIM FLOOR utilizando o software COSFB [manuscrito] / Djemerson Mateus de Andrade. - 2017.
68f.: il.: color; tabs.

Orientador: Prof. Dr. Geraldo Donizetti de Paula.
Coorientador: Profa. Dra. Rovadavia Aline de Jesus Ribas .

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Civil. Mestrado Profissional em Construção Metálica.
Área de Concentração: Construção Metálica.

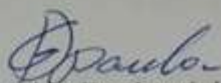
1. Lajes de concreto. 2. Construção mista. 3. Construção metálica. I. Paula, Geraldo Donizetti de. II. Ribas , Rovadavia Aline de Jesus. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU: 624.014

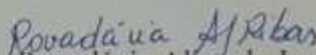
**COMPARATIVO DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO
MISTO DE *STEEL DECK* COM O SISTEMA *SLIM FLOOR*
UTILIZANDO O *SOFTWARE* CoSFB**

AUTOR: DJEMERSON MATEUS DE ANDRADE

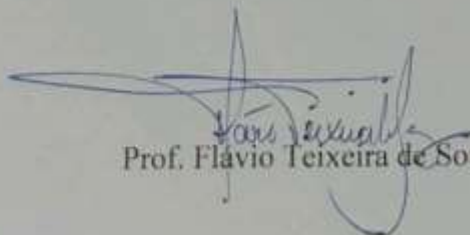
Esta dissertação foi apresentada em sessão pública e aprovada em dezenove de dezembro de 2017, pela Banca Examinadora composta pelos seguintes membros:



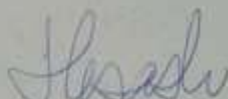
Prof. Geraldo Donizetti de Paula, D.Sc. – UFOP (Presidente)



Profa. Rovadavia Aline de Jesus Ribas, D. Sc. – UFOP



Prof. Flávio Teixeira de Souza, D. Sc. – IFMG



Prof. Hisashi Inoue, D. Sc. – UFSJ

Dedico este trabalho a Deus, que sempre está comigo, abençoando na caminhada, e aos meus pais, pelo apoio.

AGRADECIMENTO

Aos meus orientadores Geraldo Donizetti e Rovadávia Aline, pelo incentivo e orientação neste trabalho.

Aos professores do MECOM, por todo o conhecimento transmitido.

Aos professores da Universidade Federal de Juiz de Fora, que sempre foram grande inspiração para seguir em frente na engenharia civil.

Ao professor Álvaro, pela ajuda dada ao longo do mestrado.

Aos amigos do MECOM, que me ajudaram a vencer mais esta etapa.

Aos amigos de graduação: Diego, Alcino, Bruno e Anízio. Mesmo já se passando alguns anos de formados, são pessoas que vieram para ficar.

A MD Brasil Arquitetos, pelo material cedido para a elaboração deste trabalho.

RESUMO

O sistema misto de laje com forma incorporada *steel deck* é muito utilizado no Brasil. No entanto aplicam-se outros sistemas de construção em diversos países. Nesta dissertação faz-se um estudo comparativo do sistema *Slim Floor* com o *Steel Deck*. O sistema *Slim Floor* é caracterizado por proporcionar ganho na espessura final do pavimento, pois nesse sistema, as vigas se encontram incorporadas a laje. A utilização de estruturas mistas no Brasil é predominantemente feita com o sistema *Steel Deck*, dessa forma, este trabalho contribui para o conhecimento desta outra técnica, já usada em outros países. Foi feito um estudo comparativo da espessura final da laje de um pavimento do edifício do IFMG, na cidade de Ouro Branco-MG, que foi concebido no sistema misto *Steel Deck*, com uma laje calculada no sistema *Slim Floor*. Para o cálculo da laje do pavimento, foi utilizado o software CoSFB, da ArcelorMittal. Aplicando-se o sistema *Slim Floor* obteve-se uma redução de 45% na espessura final do pavimento (laje e viga) calculado como no sistema misto convencional.

Palavras-chave: *Slim Floor*, *Steel Deck*, pavimentos de pequena espessura, estruturas mistas, processo de montagem.

ABSTRACT

The mixed slab system with incorporated form in steel deck is widely used in Brazil. However, other construction systems are applied in different countries. This dissertation is a comparative study of the Slim Floor system with the Steel Deck is made. The Slim Floor system is characterized by providing gain in the final thickness of the floor, because in this system, the beams are incorporated into slab. The use of mixed structures in Brazil is dominated by the Steel Deck system, so this work contributes to the knowledge of this other technique, already used in other countries. A comparative study was made of the final thickness slab of an IFMG building floor in the city of Ouro Branco-MG, which was designed in the Steel Deck joint system, with a slab calculated in the Slim Floor system. For the calculation of the floor slab, ArcelorMittal's CoSFB software was used. Applying the Slim Floor system, a 45% reduction in the final thickness of the floor (slab and beam) calculated as in the conventional mixed system was achieved.

Key-words: Slim Floor, Steel Deck, composite structures, assembly process.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Laje apoiada em vigas metálicas.....	01
Figura 2: Sistema <i>Slim Floor</i>	02
Figura 3: Sistema <i>Slim Floor</i>	02
Figura 4: Sistema <i>jack-arch</i>	05
Figura 5: Sistema <i>filler joist</i>	06
Figura 6: Sistema <i>hat beam</i>	06
Figura 7: Sistema <i>Hat beam</i> e suas variações	07
Figura 8: Viga Delta Beam.....	08
Figura 9: <i>Delta Beam</i> para viga interior e de canto.....	09
Figura 10: Viga SFB.....	09
Figura 11: Viga IFB.....	10
Figura 12: Viga SFB e IFB com laje pré-moldada.....	11
Figura 13: IFB com laje pré-moldada.....	11
Figura 14: IFB com laje pré-moldada alveolar pronta para concretagem.....	12
Figura 15: Ligação viga IFB com laje por meio de barras de aço	13
Figura 16: Conector <i>Stud Bolt</i>	14
Figura 17: Vigas IFB e SFB com conector <i>Stud Bolt</i>	14
Figura 18: Viga IFB com ranhuras.....	15
Figura 19: Viga <i>Delta Beam</i> com laje alveolar.....	16
Figura 20: Viga <i>Delta Beam</i> com laje pré-moldada.....	16
Figura 21: <i>Slim Floor</i> com viga <i>Delta Beam</i>	17
Figura 22: Sistema para fixação do diafragma.....	18
Figura 23: Encaixe da forma do Slim Deck.....	18
Figura 24: Cofraplus 220.....	19
Figura 25: Tubulação passando pelo sistema <i>Slim Floor</i>	19
Figura 26: Dimensões da chapa ComFloor 225	20
Figura 27: Forma <i>ComFloor</i> 210	20
Figura 28: Ligação viga pilar.....	21
Figura 29: Detalhe da ligação.....	22
Figura 30: Detalhe da placa de ligação.....	22
Figura 31: Detalhe da ligação de pilar misto com viga.....	23

Figura 32: Detalhe de abertura para encaixe no console.....	24
Figura 33: Detalhe de posicionamento da viga.....	24
Figura 34: Detalhe do console PC Corbel em pilar metálico.....	25
Figura 35: Detalhe do console PC Corbel em pilar pré-moldado de concreto.....	25
Figura 36: Pilar pronto para receber a viga.....	26
Figura 37: Ligação parafusada	26
Figura 38 - Detalhe da ligação parafusada	27
Figura 39: ING Bank, Amsterdam.....	28
Figura 40: Detalhe interno da fachada.....	29
Figura: 41: Cité Internacionale.....	29
Figura 42: Laje do edifício Cité Internacionale.....	30
Figura 43: Laje com a passagem de dutos.....	30
Figura 44: Sistema <i>Slim Floor</i> com laje alveolar.....	31
Figura 45: Planta baixa do edifício residencial da Baía de Cardiff	32
Figura 46: Planta baixa do edifício IFMG.....	33
Figura 47: Detalhe da laje escolhida.....	34
Figura 48: Detalhe da disposição das vigas.....	35
Figura 49: Laje do pavimento em estudo.....	35
Figura 50: Detalhe da laje do pavimento em estud.....	36
Figura 51: Detalhe da laje do pavimento em estudo.....	37
Figura 52: Viga a ser analisada.....	38
Figura 53: Seção da viga <i>delta beam</i> de centro.....	48
Figura 54: Seção da viga <i>delta beam</i> de extremidade.....	49
Figura 55: Definição do sistema <i>Slim Floor</i> usado.....	51
Figura 56: Pré laje e espessura do pavimento.....	52
Figura 57: Definição da viga utilizada.....	53
Figura 58: Definição da chapa a ser soldada na parte inferior do perfil.....	54
Figura 59: Resistência do concreto.....	54
Figura 60: Conectores.....	55
Figura 61: Fatores de segurança para combinações de cargas	56
Figura 62: Sobrecarga de utilização	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Carga distribuída.....	39
Tabela 2 – Momentos solicitante e resistente	39
Tabela 3 – Esforço cortante resistente.....	40
Tabela 4 – Interação laje e viga do sistema Slim Floor.....	40
Tabela 5 – Momento resistente e cortante com interação laje e viga.....	41
Tabela 6 – Flecha inicial e final.....	41
Tabela 7 – Dimensões da viga delta beam.....	49
Tabela 8 – Dimensões da viga delta beam de extremidade.....	50

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1- O SISTEMA MISTO AÇO-CONCRETO.....	1
1.2- OBJETIVOS GERAIS.....	3
1.2.1- Objetivos Específicos.....	3
1.3- METODOLOGIA.....	3
1.4- JUSTIFICATIVA.....	3
1.5- ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	4
CAPÍTULO 2 - EVOLUÇÃO DO SISTEMA DE VIGAS MISTAS INCORPORADAS	5
2.1- ENQUADRAMENTO HISTÓRICO.....	5
2.1.1- Viga de Ferro Fundido Utilizada no Sistema <i>Jack-Arch</i>	5
2.1.2- Viga de Ferro Fundido Utilizada no Sistema <i>Filler Joist</i>	6
2.1.3- Viga <i>Hat Beam</i>	6
2.1.4- Variações do sistema de vigas <i>Hat Beam</i>	7
2.1.5- Vigas <i>Delta Beam</i>	8
2.1.6- Viga SFB.....	9
2.1.6- Viga IFB.....	10
CAPÍTULO 3 - ESTUDO DAS VIGAS SFB, IFB E DELTA BEAM	11
3.1- SISTEMA <i>SLIM FLOOR</i> COM VIGA SFB E IFB.....	11
3.1.1- Sistema de Ligação entre a Laje e a Viga.....	12
3.3- SISTEMA <i>SLIM FLOOR DELTA BEAM</i> :.....	15
3.3.1- Ligação da Laje com Viga Tipo <i>Delta Beam</i> :.....	15
3.4- VIGAS DO TIPO SFB, IFB OU <i>DELTA BEAM</i> :.....	17
3.4.1- <i>Slim Deck</i>	17
CAPÍTULO 4 - LIGAÇÃO DAS VIGAS DO SISTEMA <i>SLIM FLOOR</i> AOS PILARES	21
4.1- LIGAÇÃO DAS VIGAS IFB E SFB.....	21
4.1.1 Ligação Parafusada com Pilar Misto.....	23
4.1.2 Ligação das Vigas <i>Delta Beam</i>	23

CAPÍTULO 5 - EDIFICAÇÕES COM APLICAÇÃO DE VIGAS MISTAS INCORPORADAS	28
5.1 ING BANK (AMSTERDAM)	28
5.2 CITÉ INTERNACIONALE (LYON, FRANÇA)	29
5.3- EDIFÍCIO RESIDENCIAL (BAÍA DE CARDIFF, PAÍS DE GALES)	32
CAPÍTULO 6 - EDIFÍCIO A SER UTILIZADO COMO REFERÊNCIA NO ESTUDO	33
CAPÍTULO 7 - PARÂMETROS DE DIMENSIONAMENTO E RESULTADOS COM UTILIZAÇÃO DO <i>STEEL DECK</i>	37
CAPÍTULO 8 - DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO <i>SLIM FLOOR</i>	38
8.1 - RESULTADOS OBTIDOS NO DIMENSIONAMENTO	38
8.1.1 - Concreto no Estado Fresco	39
8.1.2 – Verificação dos <i>Stud Bolts</i>	40
8.1.3 – Sistema <i>Slim Flor</i> Atuando em Conjunto	40
8.1.4 - Verificação das Flechas	41
CAPÍTULO 9 - RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
CAPÍTULO 10 - CONSIDERAÇÕES E SUGESTÕES	44
10.1 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
10.2 - SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	44
REFERÊNCIAS	46
ANEXO 1	48
ANEXO 2	51

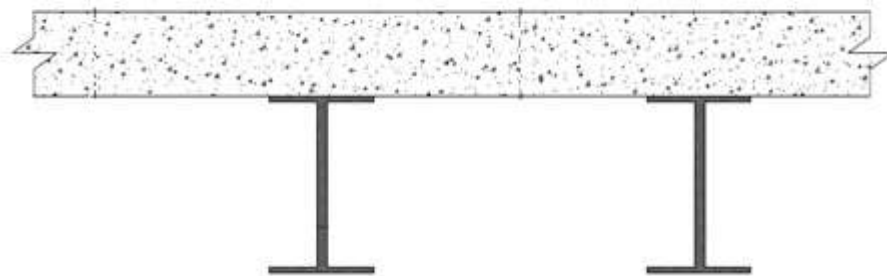
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1- O SISTEMA MISTO AÇO-CONCRETO

Atualmente a construção civil brasileira tem procurado uma busca de racionalização através da adoção de sistemas construtivos mais avançados, do ponto de vista técnico, evitando os processos tradicionais em que o retrabalho e desperdício caminham juntos. Com isto, o uso da estrutura metálica tem um papel importante através da utilização de elementos processados industrialmente, garantindo qualidade, facilidade e rapidez na montagem, bem como canteiros de obra menores e com menos custos (COSTA, 2004, p. 01).

Segundo Pfeil (2009) as estruturas mistas tiveram seu maior emprego a partir da II Guerra mundial. Antes, as estruturas mistas não tinham seu tratamento em função dos materiais trabalhando em conjunto, ou seja, a resistência a compressão da laje não era levada em consideração no dimensionamento, ficando a cargo do perfil metálico trabalhar tanto a compressão quanto a tração (Figura 1).

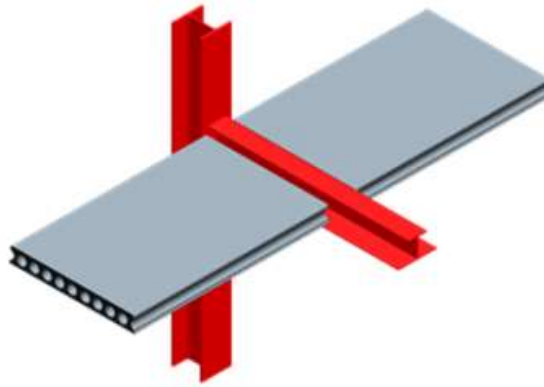
Figura 1- Laje apoiada em vigas metálicas



Fonte: ELLER; PAULA; FERREIRA (2012)

Como após a II Guerra o aço era um material escasso, passou-se a considerar essa contribuição do concreto a compressão para reduzir o tamanho do perfil metálico. Conseqüentemente, essa medida levaria a redução do gasto com o aço.

Há várias formas de estruturas mistas. Neste trabalho será focada a utilização das vigas mistas incorporadas, conhecidas também como *Slim Floors* na literatura estrangeira ou *Pavimentos Mistos de Pequena Altura*, no Brasil, conforme mostrado na Figura 2.

Figura 2- Sistema *Slim Floor*

Fonte: CONSTRUCTALIA (2017)

Barros (2011) descreve como é o sistema *Slim Floor*, suas aplicações e também mostra a formulação de cálculo desse sistema para vigas *Integrated Floor Beam* (IFB) e *Slim Floor Beam* (SFB). Segundo a autora, considerando as estruturas mistas convencionais, a laje de concreto apoia-se na mesa superior da viga metálica e a altura total da estrutura corresponde à soma da espessura da laje com a altura da viga metálica. Nos pavimentos tipo *Slim Floor*, são utilizadas vigas metálicas com altura reduzida e mesa inferior com uma maior largura que a superior, de modo que a laje possa aí se apoiar (Figura 3). Dessa forma, a viga permanece inserida na espessura de concreto, o que permite diminuir a altura total dos pavimentos (conjunto laje e viga).

Figura 3- Sistema *Slim Floor*

Fonte: PEIKKO (2017)

1.2- OBJETIVOS GERAIS

Esse trabalho tem como objetivo fazer um estudo de caso comparando o comportamento estrutural do sistema de lajes mistas *Steel Deck* com o sistema *Slim Floor*.

1.2.1- Objetivos Específicos

Como objetivos específicos pretende-se realizar as seguintes etapas:

- Apresentar a edificação do prédio do Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG) de Ouro Branco-MG, que foi dimensionado com o sistema *Steel Deck*;
- Realizar o dimensionamento do prédio com o *software CoSFB*, com a metodologia *Slim Floor*;
- Realizar uma comparação entre os dois sistemas mostrando a possibilidade de redução de espessura da laje com o sistema *Slim Floor*.

1.3- METODOLOGIA

Para o dimensionamento do sistema *Slim Floor*, é utilizado o *software CoSFB*, da ArcelorMittal. Esse *software* foi desenvolvido para auxiliar os engenheiros calculistas de estruturas metálicas no dimensionamento do sistema *Slim Floor*, baseado na norma Eurocode 1 a 4.

O dimensionamento é aplicado a uma laje do prédio do IFMG, em Ouro Branco (MG). Com o resultado do dimensionamento, é feita a comparação entre as espessuras do pavimento com o sistema *Steel Deck* e *Slim Floor* e verificando-se a possível redução de espessura no pavimento.

1.4- JUSTIFICATIVA

Segundo Ghosh, Maini e Mukerjee (2017), o sistema *Slim Floor* possui algumas vantagens, como rapidez em sua construção, diminuição da espessura do pavimento e economia se comparado ao sistema misto aço e concreto adotado atualmente. Porém, no Brasil, esse sistema não é difundido, apesar de muito utilizado outros países, principalmente da Europa. A atual norma brasileira de estruturas de aço, a NBR 8800 (ABNT, 2008) não contempla esse tipo de dimensionamento, que é pouco conhecido por profissionais da área.

Com isso, observa-se a necessidade de difusão desse tipo de sistema estrutural tendo-se adotado um estudo de caso, em que se aplica o sistema misto tradicional, que utiliza o *Steel Deck* e o sistema *Slim Floor*, comparando-se os dois métodos de dimensionamento, justificando-se assim a proposição desse trabalho.

1.5- ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho é constituído por 10 capítulos. No capítulo 1 faz-se uma introdução sobre o tema proposto, apresentam-se os objetivos, a metodologia e as justificativas. No capítulo 2 tem-se o enquadramento histórico do sistema, descrevendo como ele surgiu e suas primeiras aplicações. Mostram-se os vários tipos de vigas utilizadas até chegar no sistema *Slim Floor* atual.

Nos capítulos 3 e 4 são apresentados os vários tipos de vigas que compõem o atual sistema *Slim Floor*, assim como as ligações das vigas com a laje, para se ter a interação do sistema e também a ligação entre as vigas e os pilares.

No capítulo 5 tem-se a apresentação de obras em que o sistema estudado foi utilizado, suas vantagens e aspectos arquitetônicos obtidos. São descritas três obras situadas em três países, Holanda, França e País de Gales.

No capítulo 6 é mostrado o prédio utilizado como referência no estudo, localizado na cidade de Ouro Branco – MG. Esse edifício foi construído utilizando o sistema convencional de estrutura mista. Já no capítulo 7 têm-se os resultados obtidos ao se dimensionar essa estrutura a com o sistema *Steel Deck*, que é o utilizado no Brasil.

No capítulo 8 é feita a apresentação dos resultados obtidos no dimensionamento da laje do prédio utilizado neste trabalho com o sistema *Slim Floor*. O programa usado para o dimensionamento foi o CoSFB, da ArcelorMittal.

Por fim, no capítulo 9 são apresentados os resultados e discussões e no capítulo 10 estão as considerações finais e as sugestões para estudos futuros. A seguir mostram-se as referências e dois anexos.

CAPÍTULO 2 - EVOLUÇÃO DO SISTEMA DE VIGAS MISTAS INCORPORADAS

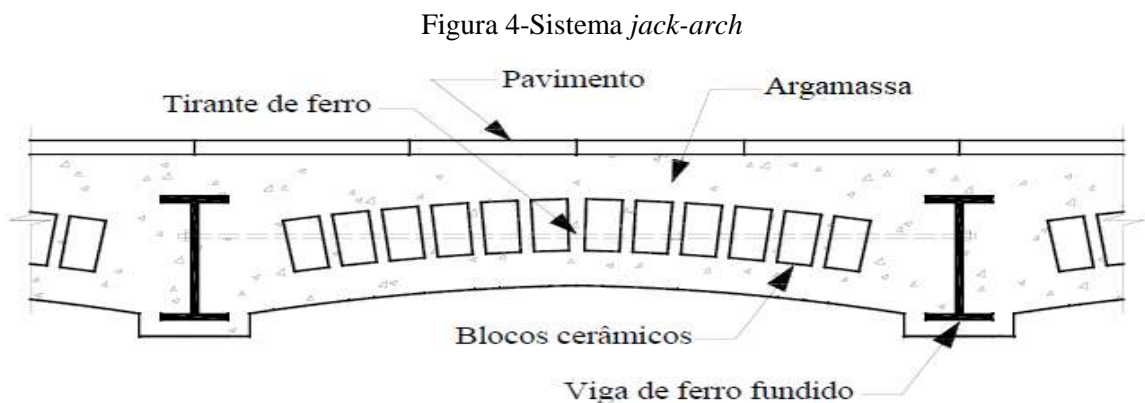
Nesse capítulo mostra-se a evolução do sistema de vigas mistas incorporadas, passando de modelos simples até os modelos utilizados atualmente, que são mais industrializados e, após décadas de pesquisa, se tornaram mais adequados para produção em maior escala, ou seja, de forma mais rápida.

2.1- ENQUADRAMENTO HISTÓRICO

De acordo com Souza (2016), os pisos do tipo *Slim Floor* possuem várias configurações de perfis e lajes. Os perfis metálicos laminados, soldados ou dobrados a frio podem ter diversas seções como seção caixão, “I”, entre outros. As lajes podem ser: maciças, pré-fabricadas, treliçada, entre outras. Nesse item é mostrado como surgiu o sistema *Slim Floor* e as primeiras vigas utilizadas.

2.1.1- Viga de Ferro Fundido Utilizada no Sistema *Jack-Arch*

Segundo Barros (2011), o sistema *Slim Floor* começou sua utilização na década entre 1790-1800, com a utilização dos sistemas de pavimento *jack-arch*. Esse sistema era constituído por arcos compostos de blocos cerâmicos que eram suportados pela mesa inferior de vigas de ferro fundido (Figura 4). As vigas de ferro fundido eram sustentadas nas suas extremidades pelas paredes vigas longitudinais e eram espaçadas de uma distância de 1 m a 1,5 m de centro a centro. Por fim, para regularizar a laje, era feita uma capa de argamassa, de cerca de 15 cm de altura.

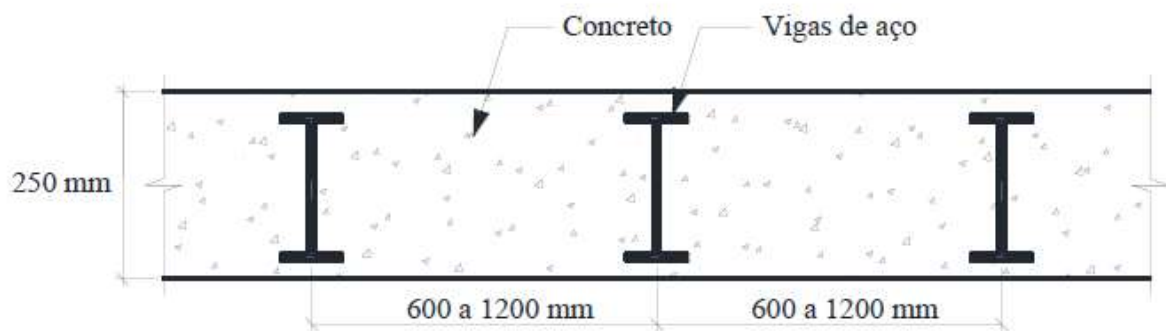


Fonte: MESQUITA (2016)

2.1.2- Viga de Ferro Fundido Utilizada no Sistema *Filler Joist*

Outro sistema *Slim Floor* intitulado de *filler joist* (ou *joist concrete*), surgiu no século XIX, que consistia na utilização de vigas de aço com um espaçamento entre 0,6 m a 1,2 m (podendo ser inferior), sendo posteriormente colocado o concreto de modo que o nível inferior do pavimento permanecesse no nível ou abaixo da mesa inferior da viga de aço (BARROS, 2011; Figura 5).

Figura 5- Sistema *filler joist*

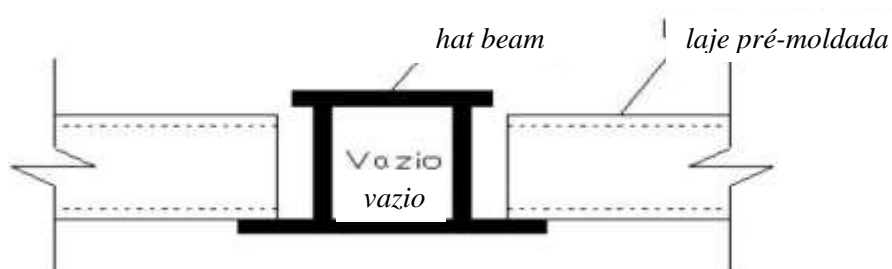


Fonte: MESQUITA (2016)

2.1.3- Viga *Hat Beam*

Na década de 1980, nos países nórdicos (Noruega, Finlândia, Dinamarca, Suécia e Islândia) começaram a se desenvolver outros tipos de vigas para a utilização em pavimentos *Slim Floor*. Uma das primeiras vigas com esta utilização foram as chamadas *hat beams*. A utilização dessas vigas na Suécia aumentou em 80% a utilização de estruturas de aço na década de 1980 (LAWSON; MULLETT; RACKHAN; 1997). Esse aumento revela o quanto esse tipo de sistema foi bem aceito por parte de engenheiros, arquitetos, construtores e clientes.

Figura 6- Sistema *hat beam*



Fonte: RAMOS (2010)

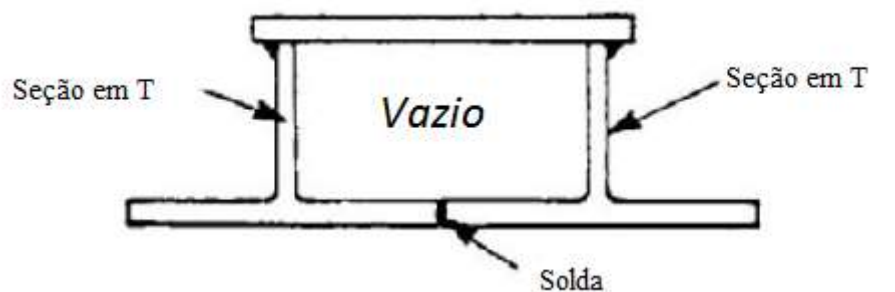
2.1.4- Variações do sistema de vigas *Hat Beam*

Outros tipos de seções de vigas *hat beam* surgiram, como pode ser visto a seguir. Na Figura 7(a), tem-se o sistema *hat beam* com a utilização de duas vigas com seção em T, as quais são soldadas por suas mesas e posteriormente são soldadas a suas almas uma chapa metálica. Outra variação desse sistema é com a utilização de três vigas com seção T, soldadas por suas mesas e almas conforme mostrado na Figura 7(b). Nessa situação a chapa soldada é substituída por uma das seções T central, tendo dois vazios na viga.

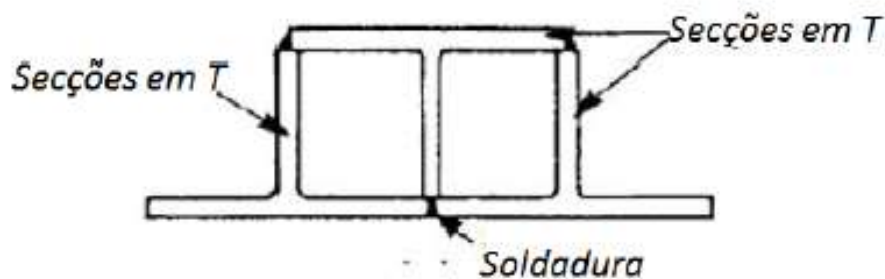
Na Figura 7 (c) na viga não são utilizados perfis em T, sendo um sistema mais fácil de se montar, pois constitui-se apenas de um perfil H na horizontal com duas chapas soldadas, pelas mesas, em cima e embaixo do perfil.

Na Figura 7(d) mostra-se a viga *thor beam*, que teve sua comercialização inicial na década de 1990, no Reino Unido, pela *Construc Thor*. Esse tipo de estrutura consiste de dois perfis U soldados a uma chapa pelas mesas inferiores e na mesa superior por uma pequena cantoneira.

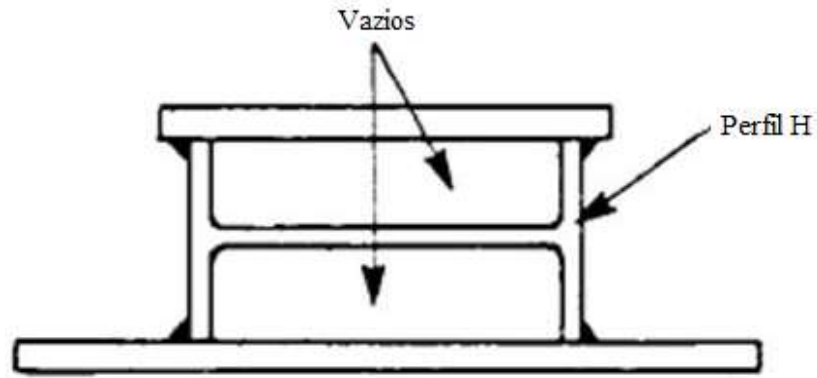
Figura 7- Sistema *Hat beam* e suas variações



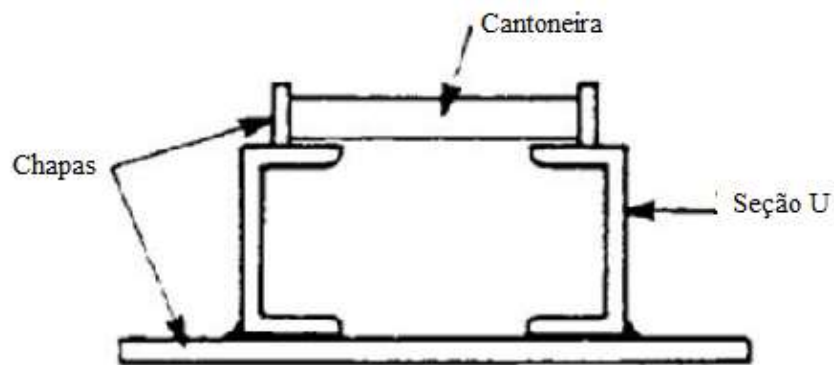
(a)



(b)



(c)



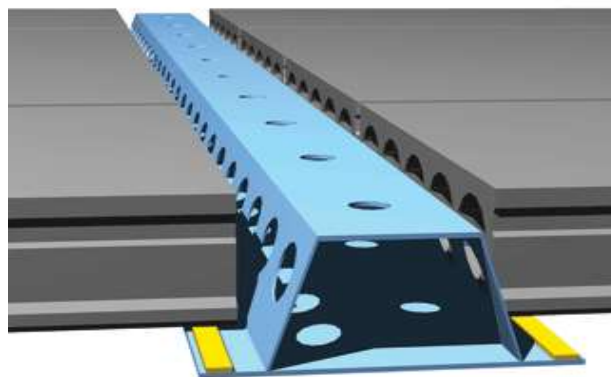
(d)

Fonte: BARROS (2011)

2.1.5- Vigas *Delta Beam*

O sistema de vigas *delta beam* surgiu na década de 1990 na Finlândia, é composto por quatro chapas soldadas, formando uma seção oca, possuindo nas laterais aberturas, por onde se preenche a parte oca com concreto e permite-se a passagem de armaduras adicionais, conforme Figura 8.

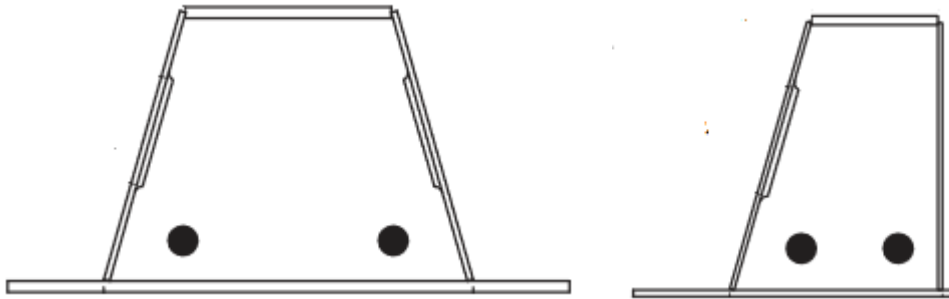
Figura 8– Viga Delta Beam



Fonte: PEIKKO (2014)

Esse tipo de estrutura possui dois tipos de vigas, sendo uma para vigas centrais e outra para vigas exteriores à edificação, conforme mostrado na Figura 9.

Figura 9- *Delta Beam* para viga interior e de canto

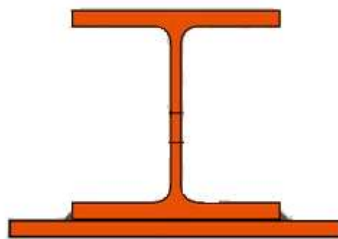


Fonte: PEIKKO (2014)

2.1.6- Viga SFB

Nos anos 90, com o crescente interesse no aprimoramento e utilização do sistema, no Reino Unido, a atual *Tata Steel* juntamente com o *Steel Construction Institute* desenvolveram um sistema de vigas para utilização em pavimentos mistos de pequena altura. Deram o nome desta viga de *Slimfloor Fabricated Beam* (SFB). De acordo com as fabricantes, essa seção consiste na utilização de um perfil laminado tipo *Universal Column* (UC) com uma chapa metálica soldada na sua mesa inferior, conforme mostrado na Figura 10. Sua mesa inferior varia de 28 cm a 51 cm de largura, com altura de 14 cm a 30 cm. Essas vigas são vendidas em tamanho comercial de 5 m a 8 m.

Figura 10- Viga SFB

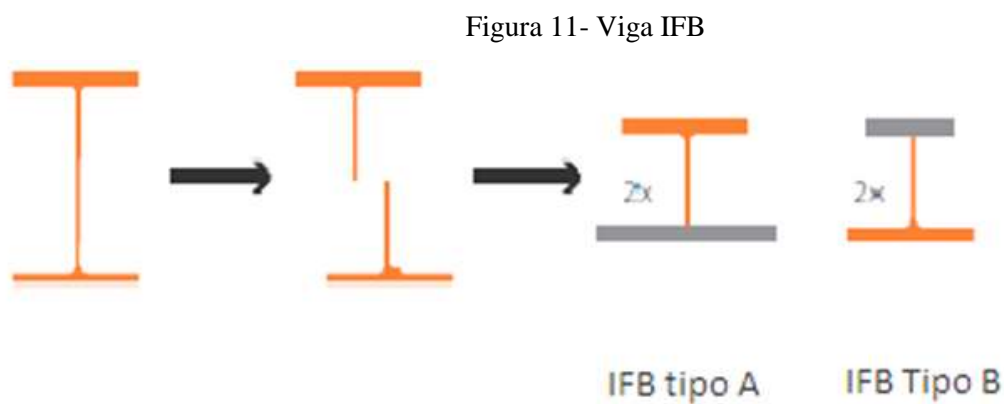


Fonte: TATA STEEL (2017)

2.1.6- Viga IFB

Como consequência das vigas SFB, surgiram as vigas IFB, que são formadas por um perfil I ou H cortado pela alma, ficando na forma de uma seção T e posteriormente recebe uma chapa que é soldada na alma do perfil cortado.

Há dois tipos de perfil IFB. No tipo A, à alma do perfil I ou H cortado é soldada uma chapa maior, tornando se assim um perfil assimétrico com a mesa soldada maior do que a original do perfil. Já no tipo B, tem-se o mesmo processo de fabricação, porém, solda-se uma chapa no perfil cortado, formando uma mesa para o perfil de tamanho menor do que a mesa original do perfil. Tanto o perfil tipo A quanto o tipo B podem ser vistos na Figura 11. Assim como a viga SFB, a viga IFB também possui sua mesa inferior com largura variando de 28 cm a 51 cm, e altura de 14 cm a 30 cm. Essas vigas são vendidas com comprimento comercial de 5 m a 8 m.



Fonte: ARCELORMITTAL (2017a)

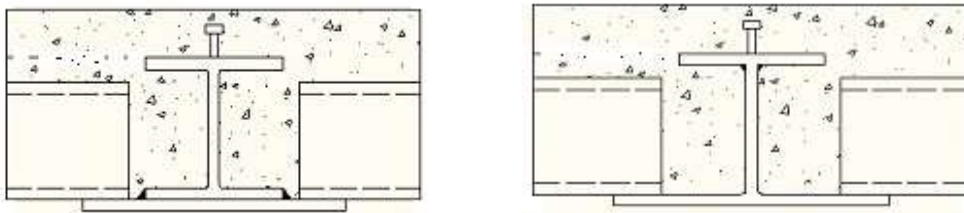
CAPÍTULO 3 - ESTUDO DAS VIGAS SFB, IFB E *DELTA BEAM*

Nesse capítulo será dada ênfase aos métodos que consistem na utilização das vigas SFB, IFB e *Delta Beam* por serem mais modernos. As vigas do tipo *Jack-Arch*, *Filler Joist*, assim como o modelo *Hat Beam* e suas variações, não fazem parte do estudo detalhado do sistema construtivo a ser utilizado no *Slim Floor*, pois se tratam de métodos antigos com utilizações pontuais mais utilizadas em recuperação de estruturas existentes com o objetivo de preservar o método usado.

3.1- SISTEMA *SLIM FLOOR* COM VIGA SFB E IFB

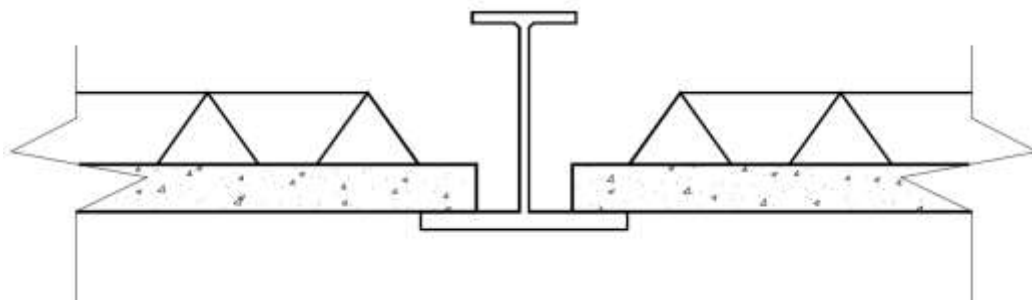
O sistema com as vigas SFB ou IFB é utilizado com lajes pré-moldadas (Figura 12). Esse sistema de lajes pré-moldadas pode ser feito de duas formas. A primeira com vigotas pré-fabricadas com posterior concretagem, conforme mostrado na Figura 13. Nesse tipo de estrutura pode ser dispensado o uso do escoramento, desde que a viga onde as lajes se apoiam possua resistência suficiente para suportar as cargas atuantes, que nessa fase, basicamente, é o peso próprio das lajes e viga’.

Figura 12- Viga SFB e IFB com laje pré-moldada



Fonte: BARROS (2011)

Figura 13- IFB com laje pré-moldada



Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

A segunda forma de montagem do sistema é com a utilização de laje alveolar, que é colocada apoiada na mesa inferior do perfil com concretagem posterior na interface entre o perfil e a laje. Esse sistema também dispensa o uso de escoramentos, desde que o perfil metálico resista aos esforços devido ao peso próprio do perfil e da laje. Esse sistema é mais racional e industrializado, pois a quantidade de concreto a ser utilizada é muito reduzida.

Figura 14- IFB com laje pré-moldada alveolar pronta para concretagem



Fonte: CONSTRUCTALIA (2017)

Somente a região indicada na Figura 14 recebe concreto, tendo-se um canteiro de obra mais limpo e uma rapidez de execução da construção muito maior.

3.1.1- Sistema de Ligação entre a Laje e a Viga

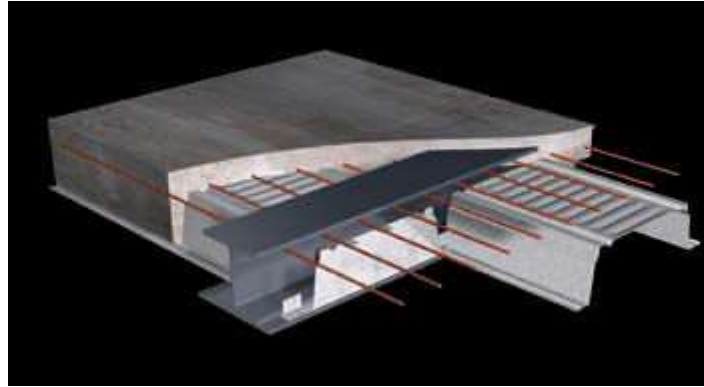
A ligação entre a laje de concreto e a viga pode ser realizada com a utilização de barras de aço, com conectores de cisalhamento por aderência.

3.1.1.1. Sistema de Ligação entre a Laje e a Viga com Utilização de Barras de Aço

A conexão entre a laje e a viga pode ser feita com a utilização de barras de aço estruturais. Nesse tipo de ligação, são feitos furos na alma do perfil para a passagem das barras de aço. Na Figura 15 mostra-se a utilização desse sistema, uma viga IFB com laje de concreto sobre uma

forma metálica e a ligação da viga com a laje por meio de barras transpassando a alma da viga. Esse sistema gera maior tempo de execução, pois a viga não vem com os furos, que devem ser feitos antes do içamento da viga.

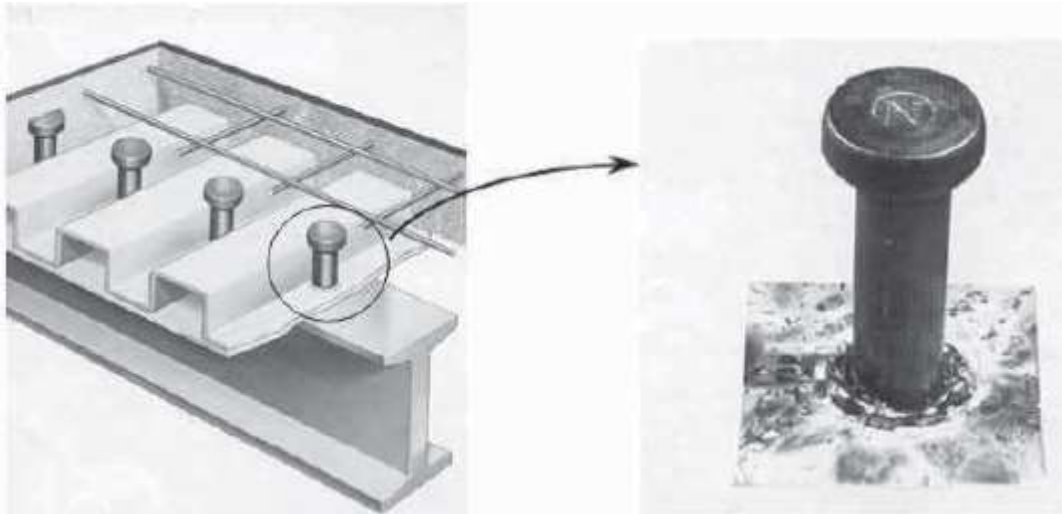
Figura 15- Ligação viga IFB com laje por meio de barras de aço



Fonte: ARCELORMITTAL (2017)

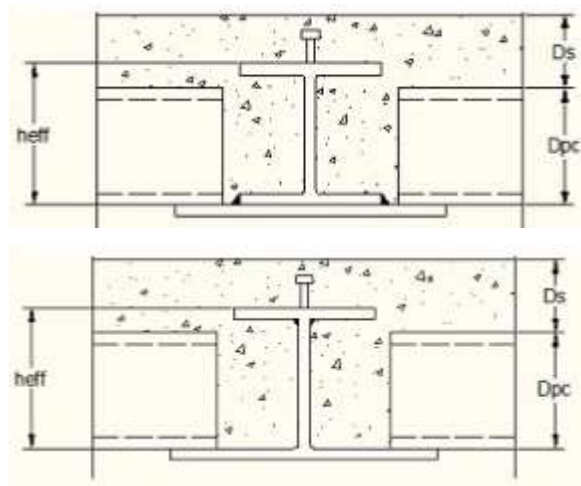
3.1.1.2- Sistema de Ligação entre a Laje e a Viga com Utilização de Conectores de Cisalhamento

Esse sistema é o adotado em lajes mistas convencionais utilizadas no Brasil, com a aplicação de *Steel Deck*. Os conectores de cisalhamento são os de pino com cabeça (*stud bolt*), que consistem de um fuste projetado para funcionar como eletrodo de solda por arco elétrico e, após a soldagem, como conector (Figura 16). Possuem uma cabeça com dimensões padronizadas para cada diâmetro. De modo geral, os fabricantes dispõem de conectores com diâmetros de 19 mm e 22 mm, embora, em edificações, o de 19 mm seja o mais utilizado. O aço utilizado na fabricação dos conectores de pino com cabeça é o ASTM A108 – Grau 1020, aço que deve ser produzido com resistência ao escoamento e à ruptura mínimas iguais a 345 MPa e 415 MPa, respectivamente (FAKURY; SILVA; CALDAS, 2016).

Figura 16- Conector *Stud Bolt*

Fonte: QUEIROZ.; PIMENTA; MARTINS (2012)

Dessa forma, com a utilização desses conectores de cisalhamento, a capa de concreto acima da viga trabalha a compressão, ajudando o perfil metálico a resistir ao esforço de compressão na parte superior da laje.

Figura 17- Vigas IFB e SFB com conector *Stud Bolt*

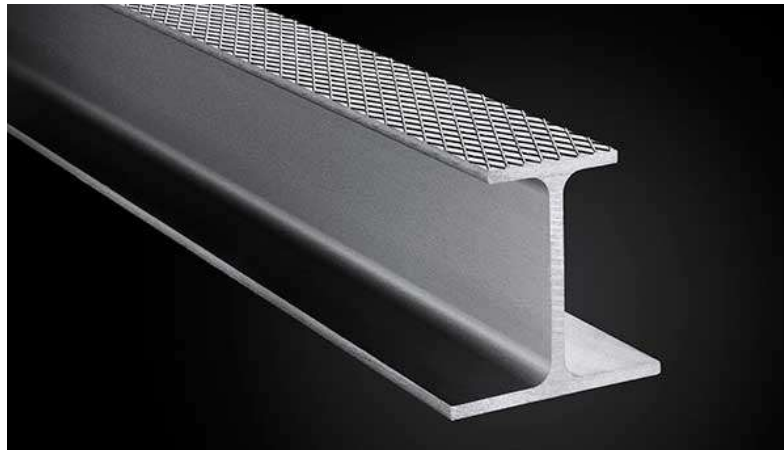
Fonte: BARROS (2011)

Em que D_{pc} é a altura da laje pré-moldada, D_s é a altura do topo da laje pré-moldada até a altura final do pavimento e h_{eff} é a altura da parte inferior da laje até o topo do perfil.

3.2.1.3- Ligação da Viga Metálica ao Concreto Por Aderência

Outra forma de interação entre a laje e a viga, para termos o sistema misto com a laje contribuindo para a resistência à compressão é por aderência. No item anterior, a união entre o concreto e o perfil metálico para trabalharem juntos se dava de forma mecânica, por conectores *stud bolts*. Nesse outro sistema, são as ranhuras que a viga tem na face superior de sua mesa superior que são as responsáveis por fazer com que o concreto e o perfil metálico trabalhem juntos. Entretanto, segundo Barros (2011), não existem informações técnicas que corroborem para sua utilização. Na Figura 18 apresenta-se um exemplo desse tipo de viga.

Figura 18- Viga IFB com ranhuras



Fonte: TATA STEEL (2017)

3.3- SISTEMA *SLIM FLOOR DELTA BEAM*:

3.3.1- Ligação da Laje com Viga Tipo *Delta Beam*:

Esse tipo de sistema é muito utilizado com lajes alveolares, podendo alcançar vãos de até 12 m, com lajes alveolares protendidas. As lajes pré-fabricadas também podem ser utilizadas, porém, a característica do sistema é favorecer a rapidez na execução do sistema, sendo assim, com a utilização de lajes pré-fabricadas tem-se a necessidade de fazer a concretagem da capa de concreto. Dessa forma, é necessária a entrada de caminhão com concreto mais vezes no canteiro, pois gasta-se mais concreto.

O objetivo principal é justamente o contrário, pois deseja-se um sistema mais rápido, com menor interferência de construção e o mais limpo possível. Assim, o sistema com laje alveolar

é o mais indicado, pois a concretagem só é feita na interface entre a viga e a laje, não perdendo tempo com grandes serviços de concretagem e podendo se alcançar vãos de até 12 m, segundo o fabricante Peikko (2014). De forma adicional, colocam-se armaduras de reforço para combater fissuração na interface entre a laje e a viga ou mesmo armadura negativa.

Figura 19- Viga *Delta Beam* com laje alveolar



Fonte: PEIKKO (2014)

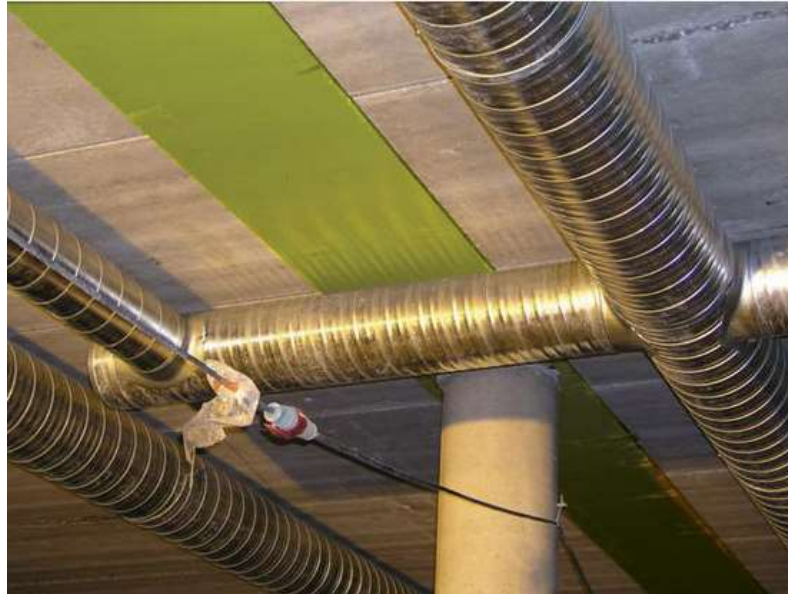
Figura 20- Viga *Delta Beam* com laje pré-moldada



Fonte: PEIKKO (2014)

Esse sistema permite um acabamento na parte inferior da laje muito bom, facilitando a passagem de tubos, devido ao seu aspecto plano.

Figura 21- *Slim Floor* com viga *Delta Beam*



Fonte: PEIKKO (2014)

3.4- VIGAS DO TIPO SFB, IFB OU *DELTA BEAM*:

Nesse item é realizado o estudo de um sistema desenvolvido com lajes que servem para pavimentos *Slim Floor* com as vigas SFB, IFB ou *Delta Beam*. Tratam-se de formas metálicas confeccionadas para atuarem em conjunto com essas vigas. As formas têm semelhança ao *Steel Deck*, utilizado em lajes mistas convencionais e são chamadas de *Slim Deck*.

3.4.1- *Slim Deck*

Em 1997 surgiu o sistema *Slim Deck*, desenvolvido pelo SCI e pela *British Steel*, que consiste na utilização de uma viga com a mesa inferior mais larga, conforme os modelos apresentados anteriormente. Nas vigas são fixados os diafragmas com a técnica *shot fire*. Na Figura 22 são apresentadas a pistola utilizada para a fixação do rebite e o rebite usado. Esse sistema trabalha sobre pressão.

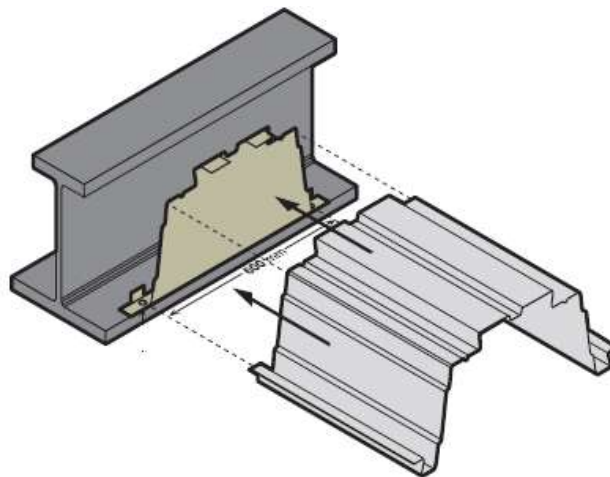
Figura 22- Sistema para fixação do diafragma



Fonte: HILTE (2017)

O diafragma é fixado na mesa inferior da viga e posteriormente a fôrma metálica, *Slim Deck*, é fixada ao diafragma, conforme mostra-se na Figura 23.

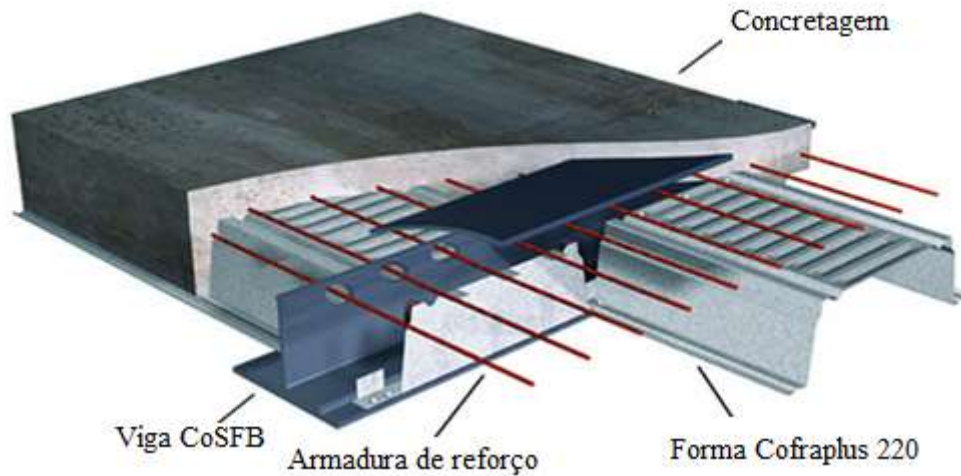
Figura 23- Encaixe da forma do Slim Deck



Fonte: TATA STEEL (2017)

Após a fixação, é feita a concretagem da laje, na forma convencional, conforme mostrado na Figura 24.

Figura 24- Fôrma Cofraplus 220



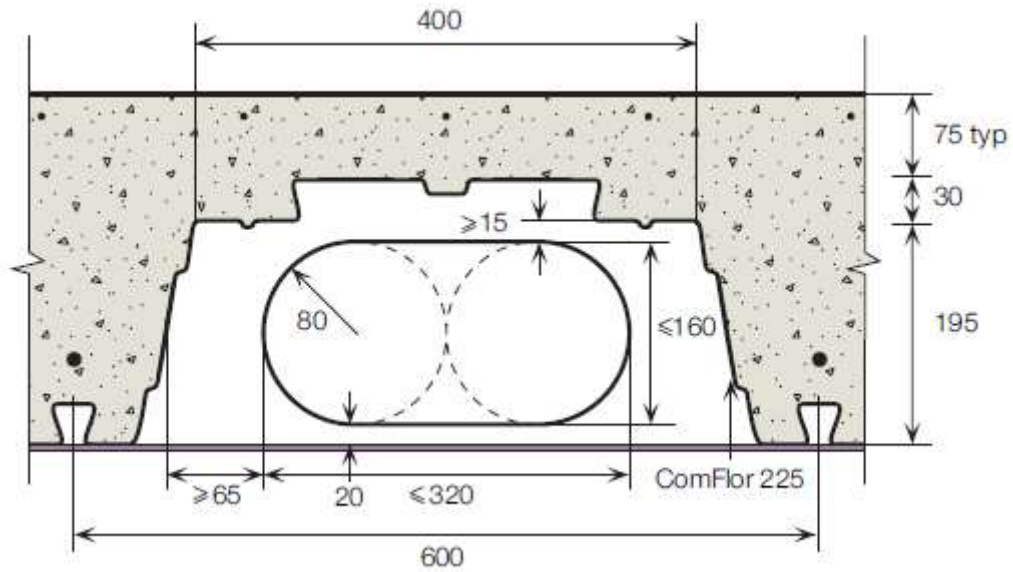
Fonte: ARCELORMITTAL (2017)

O sistema com a utilização do Cofraplus 220, segundo a ARCELORMITTAL (2017), é possível alcançar vãos de até 6,5 m sem escoramento e 9 m com escoramento e, devido à forma das nervuras, ainda permite a passagem de dutos por entre elas, conforme mostrado na Figura 25. Na Figura 26, têm-se as dimensões da chapa *ComFloor 225*, da *Tata Steel*, que é um sistema semelhante ao *Cofraplus*, e dimensões mínimas para espessura da capa de concreto, com a utilização de uma viga IFB e ligação ao concreto por aderência, conforme visto no item 3.2.1.3.

Figura 25- Tubulação passando pelo sistema *Slim Floor*

Fonte: TATA STEEL (2012)

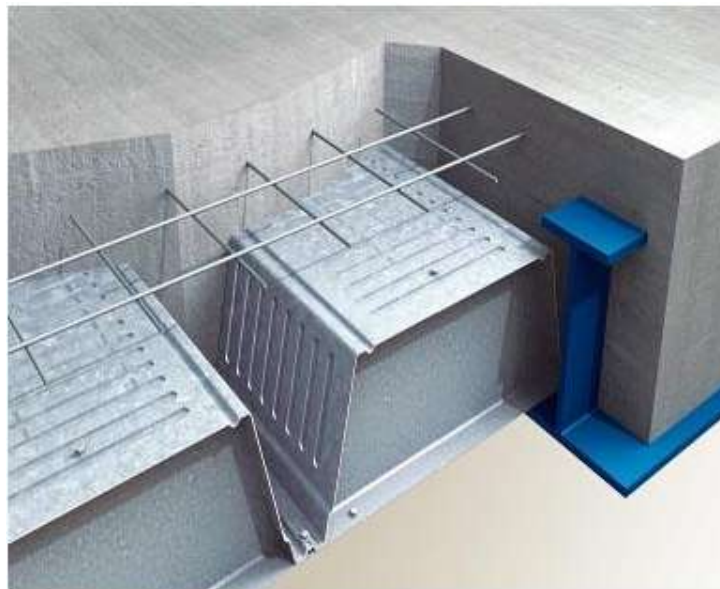
Figura 26- Dimensões da chapa ComFloor 225



Fonte: TATA STEEL (2012)

Além do formato da forma metálica, há outro tipo, de acordo com o a fabricante *Tata Steel* (2017), que é a forma *ComFloor 210*:

Figura 27- Forma *ComFloor 210*



Fonte: TATA STEEL (2017)

Nesse sistema, na capa de concreto, tem-se a colocação de uma armadura de fissuração, para evitar trincas indesejadas. Caso se deseje fazer uma laje com continuidade, deve-se colocar armadura negativa.

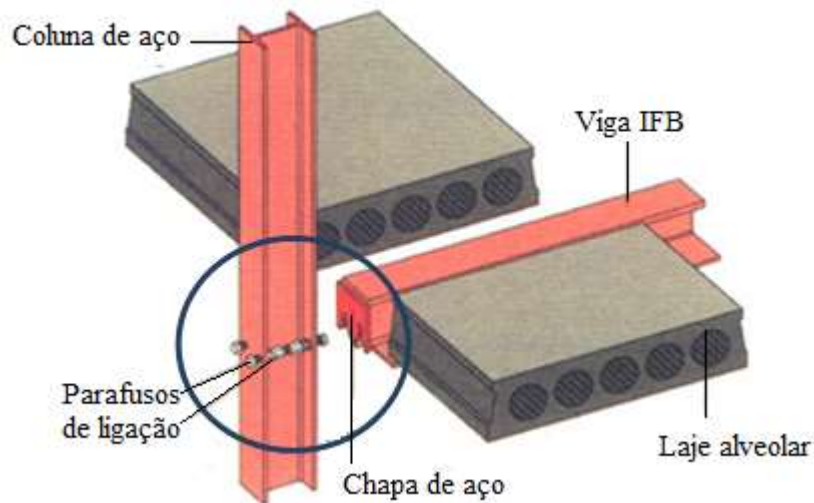
CAPÍTULO 4 - LIGAÇÃO DAS VIGAS DO SISTEMA *SLIM FLOOR* AOS PILARES

Nesse capítulo são feitas considerações da ligação entre as vigas tipo SFB, IFB e *Delta Beam* aos pilares.

4.1- LIGAÇÃO DAS VIGAS IFB E SFB

O sistema *Slim Floor* busca reduzir os inconvenientes de uma construção normal, com a utilização de formas, concreto e outros materiais, assim como melhorar o ganho econômico. Dentre os fatores econômicos, tem-se a diminuição de tempo na montagem da estrutura. O sistema das vigas *Slim Floor*, além de ter vantagens na redução de concretagem na obra, utiliza, na maioria das vezes, ligações parafusadas. As ligações das vigas com os pilares podem ocorrer com a utilização de ligações parafusadas realizadas com parafusos “passantes”, nomenclatura utilizada por Prion e McLellan (1992), conforme Figura 28. Na Figura 29, segue um detalhe ampliado da ligação parafusada utilizada nesse sistema.

Figura 28- Ligação viga pilar



Fonte: CONSTRUCTALIA (2017)

Figura 29- Detalhe da ligação

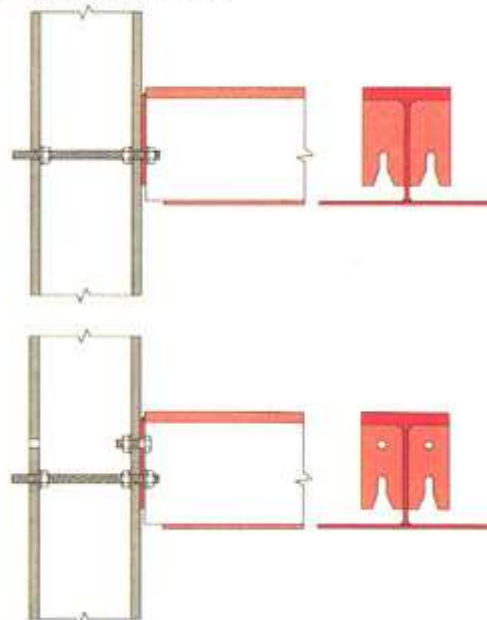


Fonte: CONSTRUCTALIA (2017)

Os elementos estruturais dos pilares são em perfis de aço normais, em formato “H”, devido as suas excelentes propriedades de união com as vigas e ampla variedade disponível no mercado. Juntamente com os parafusos, utiliza-se uma placa de topo, completando a ligação, conforme mostrado na Figura 30. Essa placa pode ser utilizada com dois ou quatro parafusos.

Figura 30- Detalhe da placa de ligação

Placa de topo para junção com 2 e 4 parafusos passantes



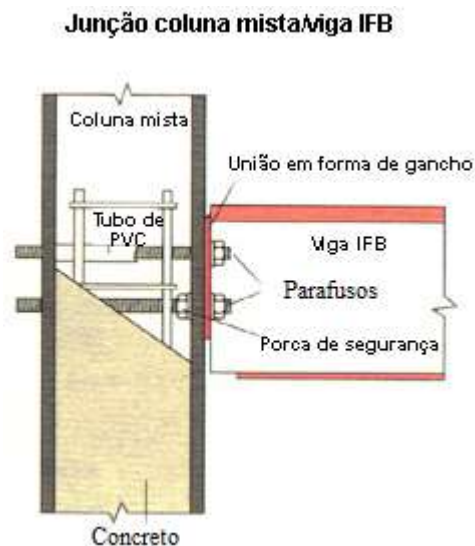
Fonte: CONSTRUCTALIA (2017)

4.1.1 Ligação Parafusada com Pilar Misto

De acordo com Nardin e El Debs (2007), a utilização de pilares mistos possuem algumas vantagens em aspectos estruturais, construtivos e econômicos. Entretanto, a ligação entre o pilar e outros elementos estruturais traz alguma preocupação devido ao confinamento, que dificulta essa ligação.

No pilar misto, o concreto não só exerce a função de proteção do perfil metálico, como também ajuda a suportar a carga. Quando se trabalha com esse tipo de estrutura, a diferença dessa ligação com a anterior é que nessa o parafuso utilizado para fazer a ligação entre o pilar e a viga passa por dentro de um tubo de PVC, evitando que ele fique envolto em concreto, perdendo seu movimento giratório (Figura 31).

Figura 31- Detalhe da ligação de pilar misto com viga



4.1.2 Ligação das Vigas *Delta Beam*

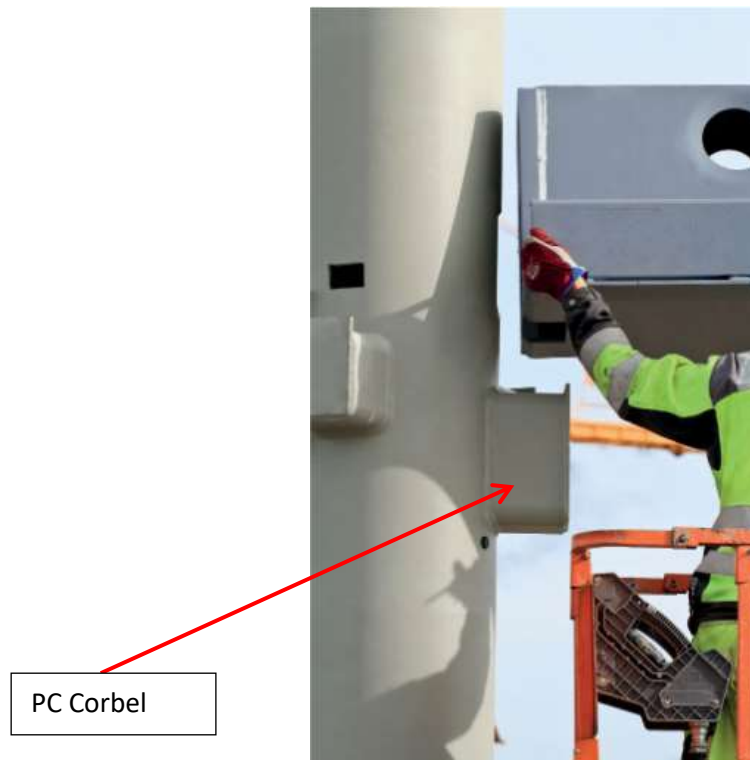
A ligação utilizada para sistemas *Slim Floor* com a utilização da viga *Delta Beam* é feita de maneira semelhante a que é utilizada em estruturas de concreto pré-moldado. A ligação da viga ao pilar é feita por um console, no qual a viga se apoia, chamado de PCs Corbel, conforme a fabricante Peikko (2014). Esse sistema pode ser utilizado para a ligação da viga *Delta Beam* com pilares metálicos e pilares de concreto. Uma abertura, mostrada na Figura 32 em destaque, se encaixa em um console, mostrado na Figura 33.

Figura 32- Detalhe de abertura para encaixe no console



Fonte: PEIKKO (2014)

Figura 33- Detalhe de posicionamento da viga



Fonte: PEIKKO (2014)

Nesse caso, o console é de um pilar de seção circular e foi soldado. Porém, existem consoles industriais fabricados e homologados pela Peikko (2014), que se adequam às vigas utilizadas por eles. O sistema funciona basicamente por pressão, na qual o console PC Corbel é fixado por meio do aperto dos parafusos que compõem o sistema (Figura 34).

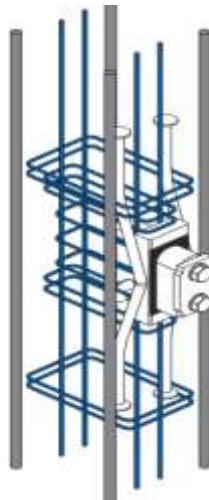
Figura 34- Detalhe do console PC Corbel em pilar metálico



Fonte: PEIKKO (2014)

Além da utilização das vigas com pilares de perfis metálicos, esse sistema permite a ligação das vigas *Delta Beam* com pilares pré-moldados de concreto, tendo um sistema igualmente eficiente e rápido. Nesse caso, deve-se passar a locação dos consoles e fixá-los antes da concretagem, com reforço na região de sua colocação com estribos devidamente calculados pelo engenheiro projetista (Figura 35). O aspecto final do pilar está mostrado na Figura 36.

Figura 35- Detalhe do console PC Corbel em pilar pré-moldado de concreto



Fonte: PEIKKO (2014)

Figura 36- Pilar pronto para receber a viga



Fonte: PEIKKO (2014)

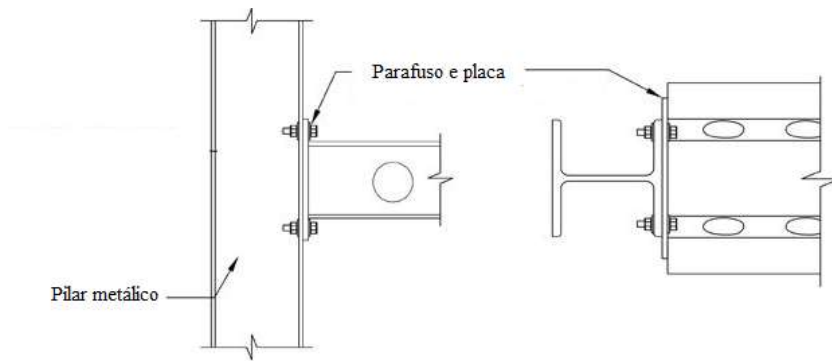
Outro recurso de ligação também bastante utilizado é o parafuso, onde solda-se uma chapa na viga *delta beam* que é parafusada ao pilar metálico, conforme mostrado nas Figuras 37 e 38.

Figura 37- Ligação parafusada entre viga e pilar metálico

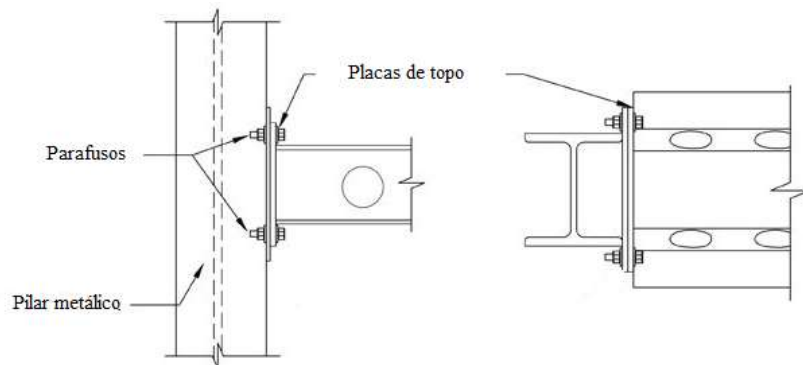


Fonte: PEIKKO (2014)

Figura 38 - Detalhe da ligação parafusada entre viga e pilar metálico



(a)



(b)

Fonte: PEIKKO (2014)

CAPÍTULO 5 - EDIFICAÇÕES COM APLICAÇÃO DE VIGAS MISTAS INCORPORADAS

Nesse capítulo são mostrados alguns edifícios construídos com a utilização de vigas mistas incorporadas, que são o ING Bank, situado em Amsterdam, o Cité Internationale, situado em Lyon, na França, e o Edifício Residencial da Baía de Cardiff, situado no País de Gales.

5.1 ING BANK (AMSTERDAM)

O edifício ING Bank teve sua conclusão no ano de 2002, em Amsterdam, na Holanda, e pertence ao ING Group, que é uma instituição financeira, sendo esta edificação a sede do banco. Essa obra foi realizada sob o sistema *Slim Deck*, com o emprego de painéis de fechamento em vidro e estrutura dos pilares também mista, com aço e concreto.

Como o solo da região da construção possui baixa tensão admissível, foi utilizado o sistema *Slim Deck*, para reduzir o peso total da laje e vigas. Dessa forma, os pórticos que formam os vãos possuem em torno de 7 m x 7 m e uma altura de 300 mm. Essa opção permitiu obter-se um pavimento com espessura reduzida, rapidez na execução e menor peso estrutural. O fato de se diminuir o peso estrutural trouxe como consequência a redução das cargas na fundação (Figura 39).

Figura 39 – ING Bank, Amsterdam



Fonte: MVSA-ARCHITECTS (2002)

Na Figura 40, mostra-se um detalhe do fechamento da estrutura em vidro, o que reduz o peso da fachada. Todo o prédio tem suas divisórias internas em vidro ou sistemas industrializados, o que proporciona além da redução do peso próprio, também um bom isolante acústico, quando especificados para isso, como em salas de reuniões.

Figura 40 – Detalhe interno da fachada



Fonte: MVSA-ARCHITECTS (2002)

5.2 CITÉ INTERNACIONALE (LYON, FRANÇA)

Em 2013 começou em Lyon, na França, um projeto para ampliação da Cité Internationale Universitaire de Paris. Esse projeto tinha como foco a ampliação do campus da universidade e a construção de residências para alunos e pesquisadores, totalizando 1800 novos alojamentos (Figura 41).

Figura: 41 – Cité Internationale



Fonte: ARCELORMITTAL (2013)

O sistema estrutural escolhido foi o de vigas mistas incorporadas. Na Figura 42, é possível observar a parte inferior da laje, totalmente lisa, com uma estética mais limpa e liberdade nos vãos. Esse sistema permitiu obter, facilmente, 60 minutos de resistência ao fogo, tendo só a parte inferior da viga exposta a incêndio, tendo que ter algum tratamento, o que levou a redução no custo de proteção contra fogo.

Figura 42- Laje do edifício Cité Internacionale



Fonte: ARCELORMITTAL (2013)

Com a utilização desse sistema as seguintes vantagens foram proporcionadas, de acordo a ArcelorMittal (2013):

- a) Redução de 25 a 40 cm na estrutura, possibilitando um pé direito maior, ou o edifício pode ser reduzido, o que é frequentemente necessário devido à requisitos urbanísticos;
- b) Possibilidade de passagem de dutos para ar condicionado, tubulações e redes elétricas, além de se ter uma laje lisa na parte inferior, diminuindo gastos com forros falsos (Figuras 43 e 44);

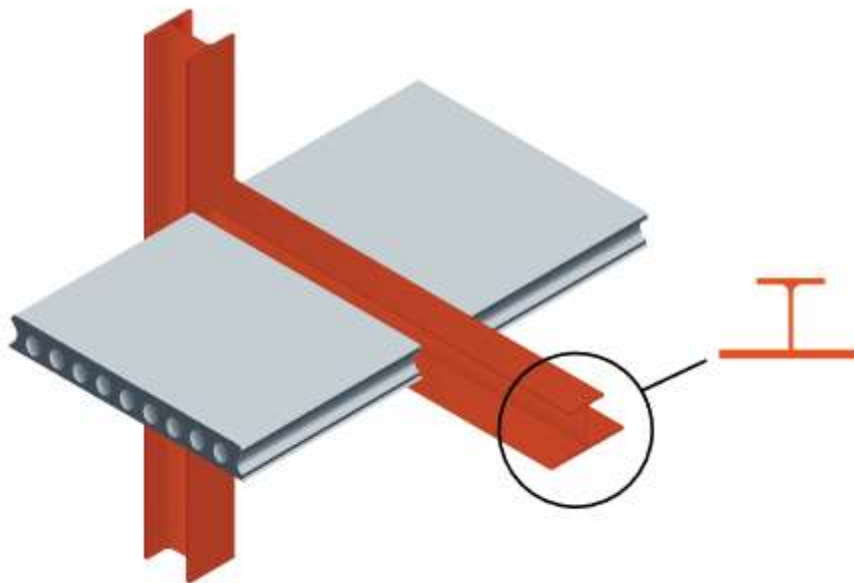
Figura 43- Laje com a passagem de dutos



Fonte: ARCELORMITTAL (2013)

- c) Maior área de trabalho, tendo vãos de até 12 m, o que permite uma grande variabilidade na utilização do edifício, podendo esse ser reaproveitado para outras funções futuras, como escritórios comerciais.
- d) Diminuição com gastos em proteção contra incêndio;
- e) Na Europa, esse sistema é competitivo, em relação a outros modelos construtivos, com redução de consumo de aço e utilização de elementos pré-moldados para o fechamento;
- e) Redução do custo de montagem da estrutura, observando-se que fatores climáticos não têm grande influência na montagem da estrutura, tornando mais fáceis os cumprimentos de prazos;
- f) A estrutura metálica é totalmente reciclável;
- g) Com o sistema estrutural utilizado houve uma expressiva redução do peso da estrutura para 200 kg/m², gerado pela utilização de materiais mais leves, e conseqüente economia na fundação.

Figura 44 – Sistema *Slim Floor* com laje alveolar



Fonte: BARROS (2011)

A altura reduzida das lajes e a proteção ao fogo que a estrutura proporcionou, com a redução de tempo de montagem, fizeram com que esse sistema fosse uma excelente solução para a construção do Cité Internationale.

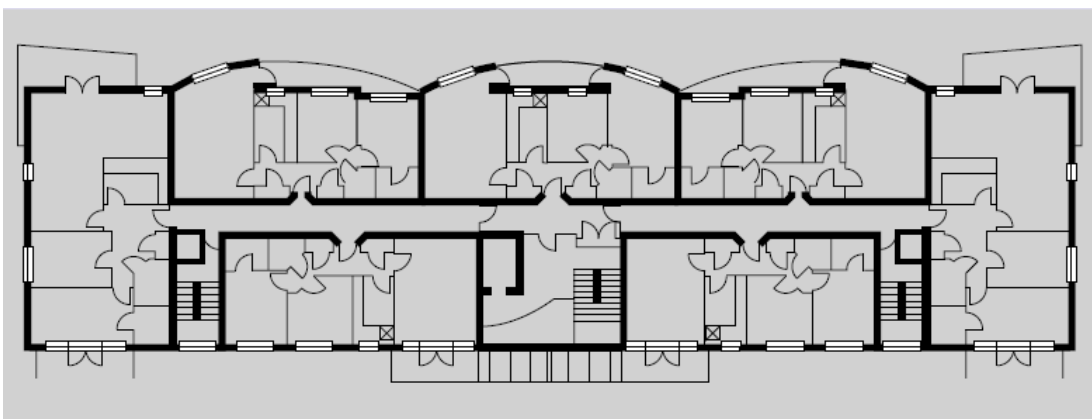
5.3- EDIFÍCIO RESIDENCIAL (BAÍA DE CARDIFF, PAÍS DE GALES)

O edifício residencial da Baía de Cardiff, cuja planta baixa está na Figura 45, está situado no País de Gales. Esta edificação foi concluída em 2002 e tem a peculiaridade de estar situado numa baía, onde o nível freático é elevado, levando ao uso de estacas na realização das fundações. Surge então a preocupação de se diminuir o peso da estrutura de forma que as cargas transmitidas às fundações sejam as menores possíveis.

De acordo com Barros (2011), o sistema *slim deck* é 40% mais leve que um pavimento de concreto armado equivalente, resultando na diminuição da quantidade de estacas a realizar. Além disso, o fato de se estar em uma zona que tem que ser protegida ambientalmente também levou à escolha desse sistema, uma vez que o volume de entrega dos materiais é menor, reduzindo o trânsito na vizinhança.

Esse projeto consistiu na realização de 71 apartamentos, em três blocos, com seis andares. A laje do pavimento possui uma espessura de 300 mm e as vigas utilizadas são do tipo 280 ASB 100, com vãos entre os 6 m e 7 m, havendo a possibilidade de se criar espaços livres. A construção da estrutura metálica, colocação da chapa nervurada e concretagem do pavimento duraram apenas 12 semanas, o que equivale a menos 10 semanas que uma estrutura equivalente de concreto.

Figura 45 – Planta baixa do edifício residencial da Baía de Cardiff



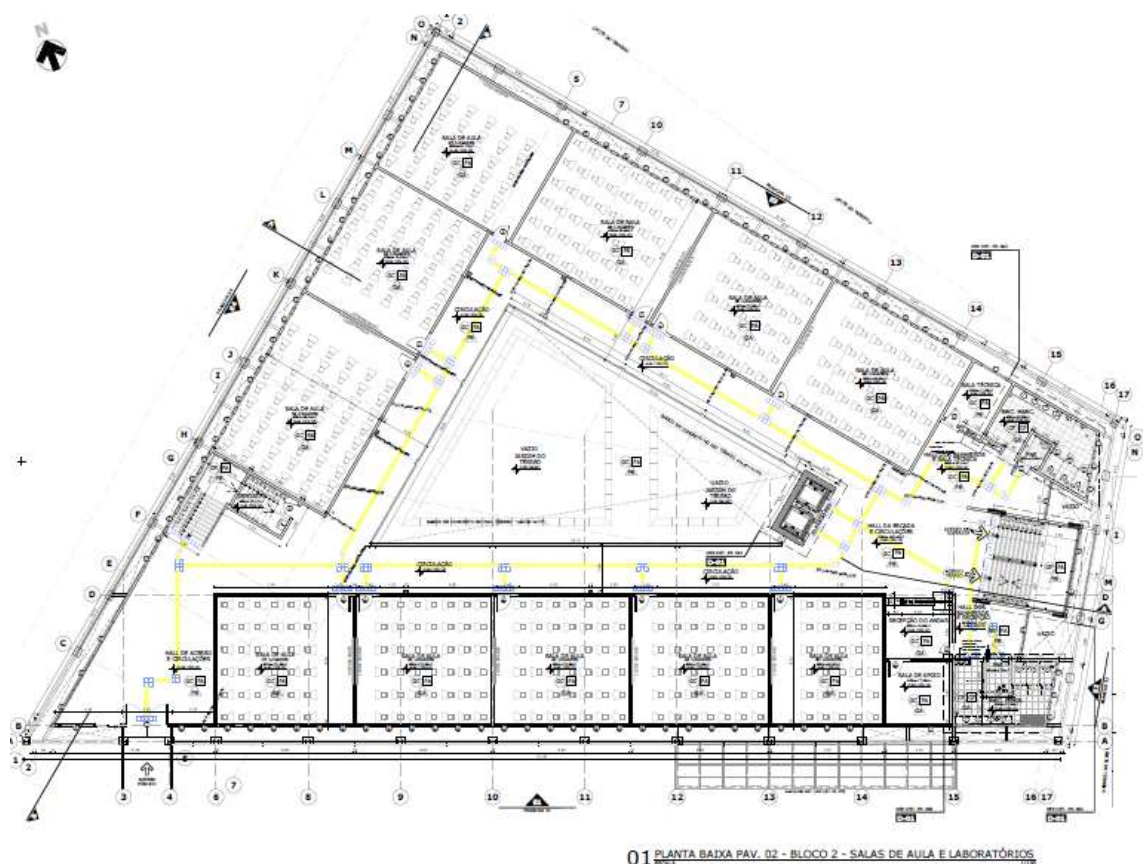
Fonte: BARROS (2011)

CAPÍTULO 6 - EDIFÍCIO A SER UTILIZADO COMO REFERÊNCIA NO ESTUDO

O edifício utilizado para dimensionado é um prédio do IFMG, localizado na cidade de Ouro Branco-MG, Rua Afonso Sardinha, nº 90. Essa edificação teve seu projeto desenvolvido pela empresa MD Brasil Arquitetos (2013). O edifício é uma ampliação do instituto federal, que já contava com um bloco. Ao bloco existente, foram acrescentados mais dois, um para sala de aulas e laboratórios, distribuídos em quatro andares, mais o terceiro bloco, para o auditório e biblioteca. O sistema que foi utilizado para sua construção foi o *steel deck* com divisórias internas de painéis em gesso acartonado e fechamento externo com esquadrias em alumínio.

O terreno para a implantação do prédio possui uma área de 8388,4 m², sendo que a área total construída foi de 10519,8 m². Para efeito de comparação, foi selecionado o 2º andar do prédio, que é composto por salas de aula, conforme mostrado nas Figuras 46 e 47.

Figura 46 – Planta baixa do edifício IFMG



Fonte: MD Brasil Arquitetos (2013)

Figura 47 – Detalhe da laje escolhida



Fonte: MD Brasil Arquitetos (2013)

Nesse edifício, as vigas de sustentação da laje utilizam uma modulação perfil W530x66, produzidos pela Gerdau. Essas vigas estão dispostas a cada 3 m, com um comprimento total de 9,35 m, conforme Figura 48, que mostra o detalhe da modulação escolhida para a viga. Já nas Figuras 49 e 50, têm-se a planta da laje e um detalhe da mesma, respectivamente.

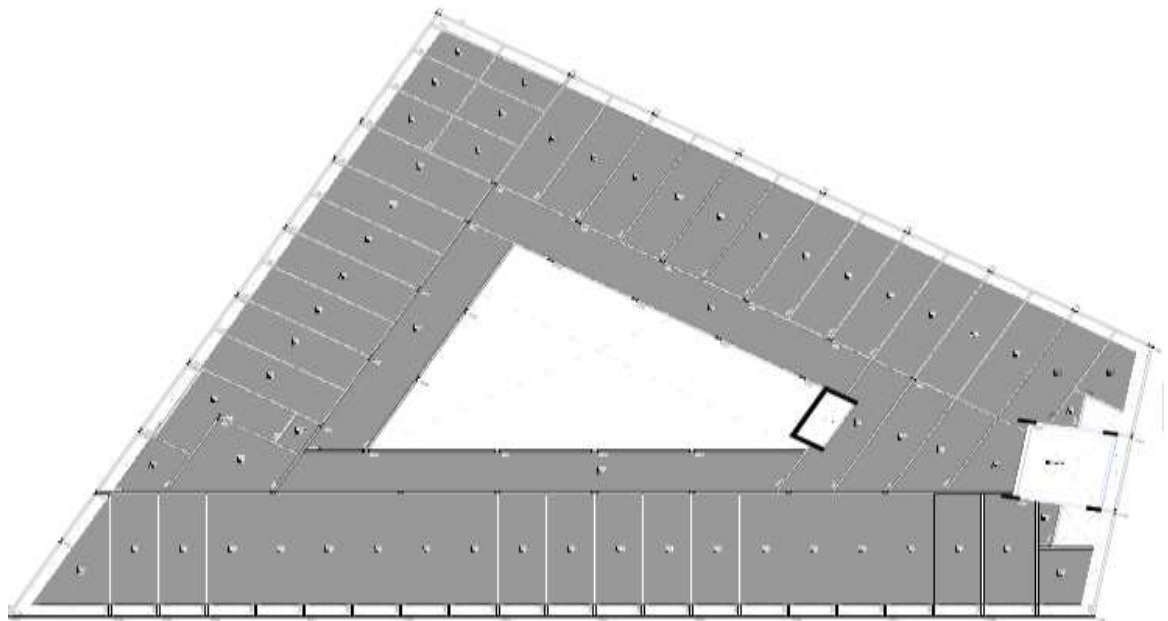
Figura 48 – Detalhe da disposição das vigas



Fonte: MD Brasil Arquitetos (2013)

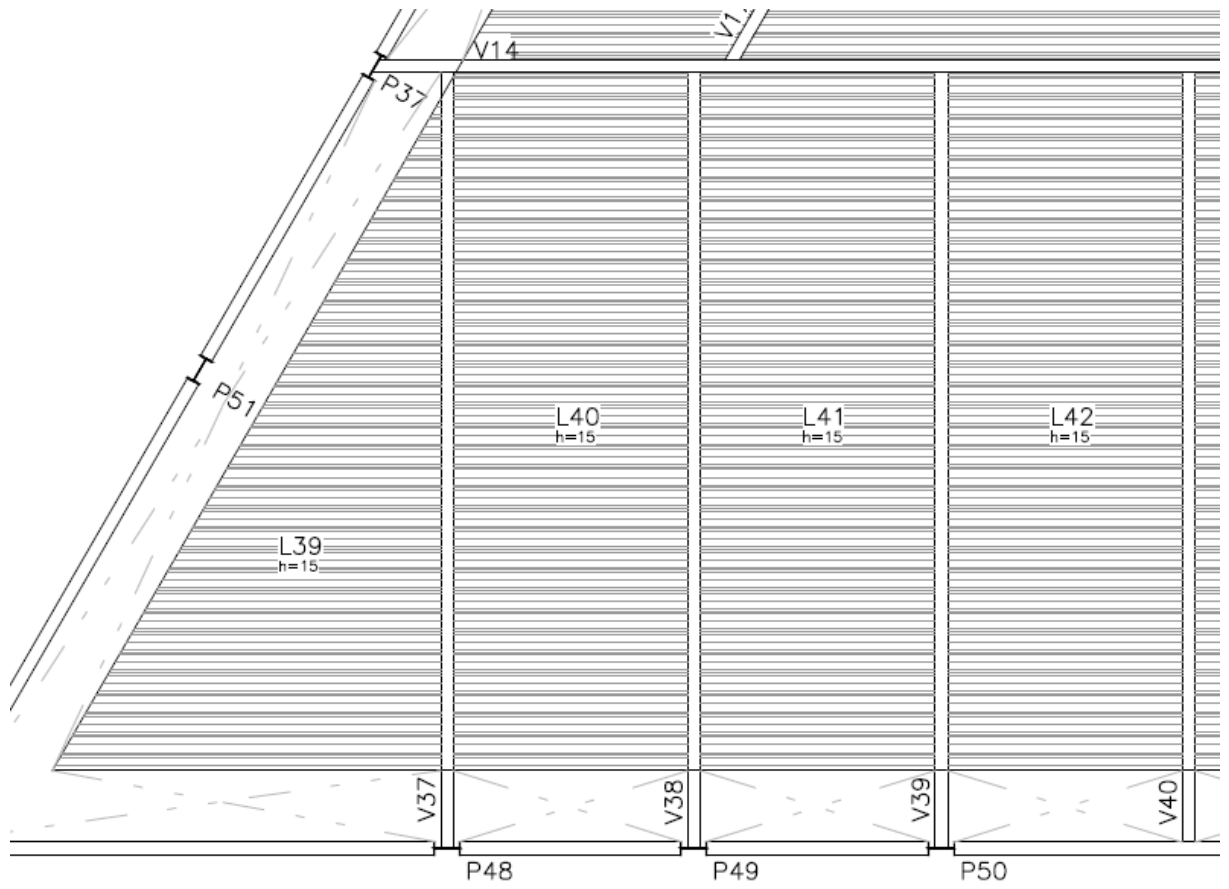
Ao efetuar o cálculo da laje no sistema *Slim Floor*, foi feita uma adaptação ao projeto, no qual não foi considerado um recuo de 60 cm existente entre a parte inferior da laje e a viga, ressaltado na figura 48.

Figura 49 – Laje do pavimento em estudo



Fonte: MD Brasil Arquitetos (2013)

Figura 50 – Detalhe da laje do pavimento em estudo



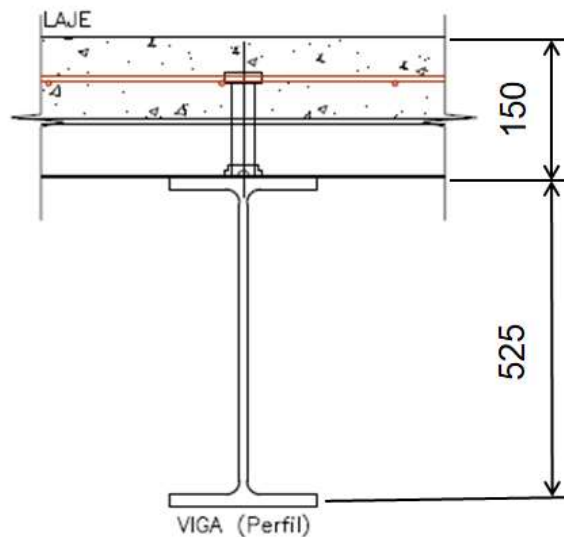
Fonte: MD Brasil Arquitetos (2013)

CAPÍTULO 7 - PARÂMETROS DE DIMENSIONAMENTO E RESULTADOS COM UTILIZAÇÃO DO *STEEL DECK*

A carga para dimensionamento do sistema *steel deck* é uma sobrecarga de 3 kN/m², de acordo com a NBR 6120 (ABNT, 1980). Essa sobrecarga é utilizada para salas de aula, conforme é o projeto arquitetônico apresentado. Além dessa sobrecarga, há o peso do revestimento em granilite, que representa uma carga permanente de 0,2 kN/m², considerando-se uma espessura de 10mm. Essas cargas foram especificadas, compondo-se os dados de entrada para serem utilizados no programa CoSFB. As cargas referentes ao peso próprio do sistema estrutural utilizado não foram discriminadas, pois é apresentado apenas o resultado do cálculo em *steel deck*, ou seja, a espessura final do pavimento, que consiste da viga mais a laje.

Com essas cargas, sobrecarga mais peso do revestimento, a MD Brasil Arquitetos encontrou um pavimento com espessura total (viga mais laje) de 675 mm, que é referente a uma laje de 15cm mais a altura do perfil W530x66 que é de 525 mm, que foi aplicado na construção.

Figura 51 – Detalhe da laje do pavimento em estudo



Fonte: MD Brasil Arquitetos (2013)

Com esse resultado, é realizada a comparação com o sistema *Slim Floor* visando checar se há um ganho de espessura no pavimento em estudo e de quanto é esse ganho. A comparação é feita do ponto de vista estrutural, não se fazendo uma análise que levasse em conta o tempo de execução.

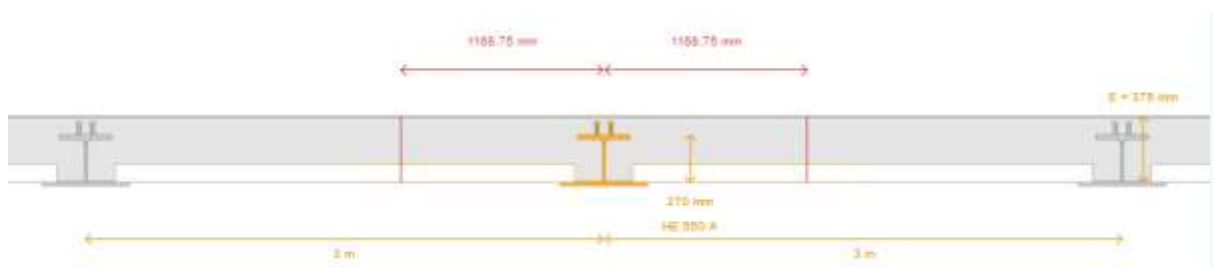
CAPÍTULO 8 - DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO *SLIM FLOOR*

Para o dimensionamento, em atendimento às normas NBR 6118 (ABNT, 2014) e NBR 8800 (ABNT, 2008), do pavimento *Slim Floor*, foram utilizadas as mesmas cargas citadas no capítulo 7, ou seja, carga permanente devido ao granilite de $0,2 \text{ kN/m}^2$ e a sobrecarga de utilização referente a uma sala de aula de 3 kN/m^2 , segundo a NBR 6120 (ABNT, 1980). Nesse processo é considerado um perfil tipo IFB tipo A, em que a carga permanente referente ao peso do perfil, é somente a metade de seu peso próprio, pois ele é utilizado cortado ao meio. O peso da chapa soldada ao perfil e o peso do concreto da vigota pré-moldada e da capa de concreto são calculados pelo próprio programa. Toda a montagem do cálculo se encontra no Anexo 2, onde se tem um exemplo bem detalhado, passo a passo da montagem do pavimento *Slim Floor* calculado para esse edifício.

8.1 - RESULTADOS OBTIDOS NO DIMENSIONAMENTO

Ao efetuar o dimensionamento, segundo Barros (2011) e Santos, Lima e Sakiyama (2016), que descrevem a metodologia de cálculo, têm que ser consideradas duas etapas importantes: a primeira, em que o concreto está fresco, nesse caso só a viga atua na resistência do pavimento, e a segunda, em que o concreto já está curado, atuando todo o sistema em conjunto. Na Figura 52 é mostrada a viga que será analisada.

Figura 52- viga a ser analisada



Fonte: *Software CoSFB*

8.1.1 - Concreto no Estado Fresco

No primeiro caso, no qual é feita a verificação no estado limite último, em que só a viga resiste aos esforços solicitantes, o Eurocode 3 (2010) usa para essa verificação, o fator de segurança de 1,35 para a carga permanente do sistema estrutural. A sobrecarga não é considerada nessa etapa, pois não há nenhuma sobrecarga atuando no piso nesse momento. A carga que atua, então, é a soma do peso próprio da viga e do peso próprio da laje de concreto (pré-laje mais a capa), resultando em uma espessura de 375 mm, no caso em estudo. O peso total do sistema *Slim Floor*, considerando a laje mais a viga escolhida – que foi um perfil HE 550 A – e a placa soldada na parte inferior, representa uma carga permanente de 9,84 kN/m². Como as vigas estão espaçadas de 3 m, isso resulta em uma carga distribuída de 29,52 kN/m. Levando em consideração que o sistema estrutural é composto por vigas bi apoiadas e um fator de segurança de 1,35, chega-se a um momento solicitante no meio do vão de 435,54 kNm. Na Tabela 1 mostra-se um recorte desses valores obtido no *software* CoSFB.

Tabela 1 – Carga distribuída

Carga na laje	9,84 kN/m ²	
Carga Distribuída na viga	Posição inicial (x=0)	Posição Final (9,35)
	29,52 kN/m	29,52 kN/m

Fonte: *Software* CoSFB (2017)

Nessa etapa, a viga resiste sozinha a um momento de 837,24 kNm, o que resulta em segurança estrutural em relação ao momento fletor atuante e na Tabela 2 mostra-se um recorte dos valores desses momentos obtido no *software* CoSFB.

Tabela 2 – Momentos solicitante e resistente

Posição X(m)	Med (kNm)	Mrd (kNm)
4,67	435,54	837,27

Fonte: *Software* CoSFB

O esforço cortante atuante na viga é de 186,33 kN, enquanto ela resiste a 833,77 kN, resultando, também, em segurança estrutural ao sistema nessa fase inicial de construção. Na Tabela 3 tem-se um recorte do valor do esforço cortante resistente obtido no *software* CoSFB.

Tabela 3 – Esforço cortante resistente

$V_{pL,Rd}$ (kN)	833,77
------------------	--------

Fonte: *Software* CoSFB

8.1.2 – Verificação dos *Stud Bolts*

Foi feita a análise para verificar se a quantidade de conectores *stud bolts* utilizada seria o suficiente para haver interação entre a laje e a viga, tendo-se aplicadas duas linhas de conectores espaçados de 170 mm. Para que haja interação parcial entre os dois elementos, teria que se ter uma interação mínima de 0,60. A interação existente foi de 0,83, na qual o valor do esforço horizontal de cálculo foi de 3477,03 kN e a força resistente do conector de 2897,67 kN, conforme mostra-se na Tabela 4, que é um recorte obtido no *software* CoSFB. Isso significa que tem-se uma interação parcial.

Tabela 4 – Interação laje e viga do sistema *Slim Floor*

x(m)	Ncd(kN)	Nstuds(kN)	η	$\eta_{\text{mín}}$	OK
4,68	3477,03	2897,67	0,83	0,6	

Fonte: *Software* CoSFB

8.1.3 – Sistema *Slim Flor* Atuando em Conjunto

Nessa etapa, o sistema trabalha em conjunto, sendo que a laje e a viga resistem conjuntamente aos esforços solicitantes. Além do peso próprio do sistema, tem-se a sobrecarga atuando, de 3 kN/m², referente a uma sala de aula (ABNT, 1980). O Eurocode 4 (2004) considera, para o estado limite último, a combinação de cargas com os fatores de segurança de 1,35 para o peso próprio e 1,5 para a sobrecarga. Com esses coeficientes, tem-se uma carga distribuída de 53,35 kN/m. Isso resulta em um momento solicitante de 582,83 kNm e um esforço cortante de 249,44 kN, enquanto os esforços resistidos pela interação entre a viga e a laje são de 1347,09 kNm e 833,77 kN, respectivamente, conforme mostra-se na Tabela 5, que é um recorte obtido no *software* CoSFB. O sistema, do ponto de vista estrutural, considerando o ELU, mostra-se bastante seguro, mas deve-se verificar o ELS.

Tabela 5 – Momento resistente e cortante com interação laje e viga

Med=	582,83 kNm	≤	1347,09 kNm (Mpl, red.)	OK
Ved=	249,44kN	≤	833,77 kN (Vpl,rd)	OK

Fonte: *Software CoSFB*

8.1.4 - Verificação das Flechas

A verificação das flechas é feita segundo o estado limite de serviço, no qual o coeficiente de segurança utilizado é 1,0, tanto para a carga permanente quanto para a sobrecarga de utilização. Nessa etapa, a verificação foi feita pelo *software CoSFB* em 2 passos, sendo o inicial, com apenas a viga trabalhando, e outro final, com o sistema trabalhando em conjunto.

Segundo Barros (2011), os parâmetros para verificação da flecha em estruturas do tipo *Slim Floor*, são diferentes das estruturas convencionais, sendo permitida uma flecha de $L/200$. A norma NBR 8800 (ABNT, 2008) prevê uma flecha admissível de $L/350$ para pisos. Como o trabalho segue normas europeias, é admitida a flecha de $L/200$, que resulta em uma flecha admissível de 4,68 cm.

Na verificação nesse estudo, foi encontrada uma flecha inicial de 4,53 cm e uma final de 4,75 cm, o que está dentro do limite aceitável, conforme é mostrado na Tabela 6, recorte obtido no *software CoSFB*. Portanto, o sistema também está bem dimensionado, respeitando o limite da flecha admissível.

Tabela 6 – Flecha inicial e final

V _{máx} =	4,53 cm
V _{máx} =	4,75 cm

Fonte: *Software CoSFB*

CAPÍTULO 9 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente trabalho teve como objetivo análise de um pavimento de acordo com o sistema *Slim Floor*, que se caracteriza pela viga se encontrar dentro da laje. Esse processo construtivo possui algumas vantagens a serem consideradas, como: menor espessura do pavimento, proteção contra o fogo para a viga, mais rapidez na execução, dentre outras vantagens já citadas. Por ser um sistema bastante difundido na Europa e no Brasil se encontrar em estágio inicial, optou-se por estudá-lo nessa dissertação.

Os resultados obtidos ao se dimensionar uma laje do IFMG em Ouro Branco foi fazer uma comparação entre o sistema adotado na construção do prédio, que foi o de viga mista convencional e o *Slim Floor*. Uma das principais características do *Slim Floor* é a pequena espessura. Como comparação, no dimensionamento estrutural feito para a referida edificação, chegou-se em uma espessura de pavimento da ordem de 675 mm, somando a altura da laje, que foi de 150mm mais o perfil, um W530x66, da fabricante Gerdau, com 525 mm de altura. Ao se utilizar o sistema de dimensionamento *Slim Floor*, chegou-se em uma espessura do pavimento de 375 mm, uma redução de 300mm. Essa redução representa 45% da altura do pavimento convencional, ou seja, o *Slim Floor* representa 55% da altura do pavimento convencional, e, em uma edificação de múltiplos andares, pode significar o acréscimo de mais um andar ao prédio.

Dentro da proposta de se mostrar uma alternativa mais viável quanto ao uso do sistema *Slim Floor*, esse se mostrou muito competitivo, pois resultou em considerável redução da espessura do pavimento. Porém, em relação ao tamanho do vão da laje, que foi de 9,35 m, que é considerado elevado para esse sistema, resultou em uma flecha grande, de 4,75 cm. No entanto, esse valor flecha é aceitável dentro do limite estabelecido pelo Eurocode 3 (2010), que é de $L/200$. Se for considerar o disposto na norma NBR 8800 (ABNT, 2008), que, para vigas de piso, estabelece um limite de $L/350$, o que resulta em uma flecha de 2,67 cm, o sistema não atenderia.

Sendo assim, no Brasil, para vãos maiores, devido a essa imposição da norma, fica inviável sua utilização, o que não quer dizer que o sistema não seja efetivo. Seria adequado, nesse caso, adequar o projeto arquitetônico à utilização do sistema *Slim Floor*, pensando-se em vãos menores. Com isso, a flecha ficaria reduzida e aceitável ao modelo da norma nacional que o projeto de estrutura metálica teria que atender.

Devido à flecha excessiva, teve-se que utilizar um perfil de dimensões maiores, o que resultou em uma folga considerável no tocante ao momento fletor e esforço cortante. Para o momento fletor, o momento final resistido pelo sistema *Slim Floor* foi de 1347,09 kNm, enquanto o esforço solicitante foi de 582,83 kNm, ou seja, 2,3 vezes maior que o necessário.

Para o esforço cortante ocorreu a mesma condição, na qual o esforço que o sistema resiste é de 833,77 kN, e o atuante foi de 249,44 kN, ou seja, o sistema *Slim Floor* resiste a um esforço cortante 3,3 vezes maior que o necessário. Então, para se atender a limitação da flecha, foi necessário que aumentar a espessura do pavimento, fazendo com que a viga ficasse com uma segurança exagerada em relação ao momento fletor e ao esforço cortante, o que gera um aumento de custos.

Dessa forma, o que se sugere é que, tendo se optado por esse sistema, sejam aplicados vãos menores, para que se atenda ao limite das flechas nos pavimentos e não seja necessário utilizar perfis de maiores dimensões, encontrando-se valores de esforços solicitantes e resistentes mais próximos.

CAPÍTULO 10 - CONSIDERAÇÕES E SUGESTÕES

10.1 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nessa dissertação fez-se um estudo comparativo do sistema *Slim Floor* com o *Steel Deck*. Ficou caracterizado que a aplicação do sistema *Slim Flor* proporciona um ganho na espessura final do pavimento quando comparado ao sistema de vigas aliado ao *Steel Deck*, muito utilizado no Brasil.

Aplicando-se o sistema *Slim Floor* obteve-se uma redução de 45% na espessura final do pavimento (laje e viga) calculado como no sistema misto convencional, o que, em um edifício de múltiplos andares, pode representar pavimentos a mais, promovendo uma considerável economia de espaço. Dessa forma, esse trabalho veio contribuir para a divulgação dessa técnica construtiva, bastante utilizada em outros países.

10.2 - SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros, recomendam-se:

- Montar uma simulação computacional projetando-se furos na alma da viga para a passagem de armadura de reforço e a queda na sua resistência, devido a esses recortes;
- Analisar a utilização do sistema *Slim Floor* com lajes alveolares, que possuem um peso próprio menor, o que levaria a uma redução do valor das flechas;
- Calcular com vigas do tipo SFB, que possuem uma chapa adicional soldada na mesa inferior do perfil. As vigas do tipo IFB, aplicadas nessa dissertação, são cortadas ao meio, na alma, e solda-se uma chapa nesse perfil, tendo-se um novo perfil. As vigas do tipo SFB têm uma chapa soldada a mesa inferior do perfil, sem o uso de cortes;
- O sistema utilizado foi com perfis convencionais, mas há uma outra variante do sistema, que é com a aplicação da viga tipo *delta beam*, da fabricante Peikko, que se mostra um sistema bastante eficiente, principalmente por conferir maior inércia à viga, que pode vencer vãos maiores, o que poderia ser analisado, devendo-se fazer um estudo comparativo entre a flecha utilizando o sistema *Slim Floor* convencional e o sistema aplicando-se a viga *delta beam*;

- Estudar sobre a ligação da mesa superior da viga à laje por aderência, no caso de se utilizar vigas com nervuras em substituição aos conectores *stud bolts*.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800. **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118. **Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120. **Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 1980.
- ARCELORMITTAL. Programa CoSFB. Disponível em: <<http://sections.arcelormittal.com/download-center/design-software/composite-solutions.html>>. Acesso em: 25 ago. 2017.
- ARCELORMITTAL. Cofraplus220. Disponível em: <http://ds.arcelormittal.com/construction/france/Products/steel_floor/Cofraplus_220/language/EN>. Acesso em: 10 jun. 2017.
- BARROS, M. O. **Análise e dimensionamento de pavimentos mistos *slim floor***. 2011. 132 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2011.
- COSTA, R. M. X. **O uso de perfis tubulares metálicos em estruturas de edifícios e sua interface com o sistema de fechamento vertical externo**. 2004. 181 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2004.
- CONSTRUCTALIA. **Slim Floor. An innovative concept for floors**. Manual da Arcelor Mittal, [1996]. Disponível em: <http://constructalia.arcelormittal.com/files/SlimFloor_EN--9b4c958d6dca408cc87f6fff15a8f4a.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2017.
- ELLER, P. R.; PAULA, G. D.; FERREIRA, W.G.; Pré-Dimensionamento de vigas mistas de aço e concreto para pontes de pequeno porte, 2012, Disponível em: <http://www.metalica.com.br/pg_dinamica/bin/pg_dinamica.php?id_pag=873>. Acesso em: 10 jun. 2017.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **Eurocode 4 – Design of composite steel and concrete structures – part 1-1: General rules and rules for buildings**. Bruxelas, 2004.
- _____.EN 1993-1-1: **Eurocode 3- Design of steel Structures – part 1-1: General rules and rules for buildings**. Bruxelas, 2010.
- FAKURY, R. H.; SILVA, A. L. R. C.; CALDAS, R.B.; **Dimensionamento de Elementos Estruturais de Aço e Mistos de Aço e Concreto**. 1ª Edição. São Paulo: Editora Pearson, 2016. p. 379-452.
- GHOSH, S. K.; MAINI, P. K.; MUKERJEE, D. **Use of I beams in Slim Floor Construction**. Zurich: Ramistrasse, 2017.
- LAWSON, R. M.; MULLETT, D. T.; RACKHAN, J. W. **Design of Asymmetric “Slim-Floor” Beams Using Deep Composition Decking**. London: Steel Construction Institute, 1997.
- MD BRASIL ARQUITETOS. Projeto do Instituto Federal de Minas Gerais de Ouro Branco. Fortaleza, 2013.

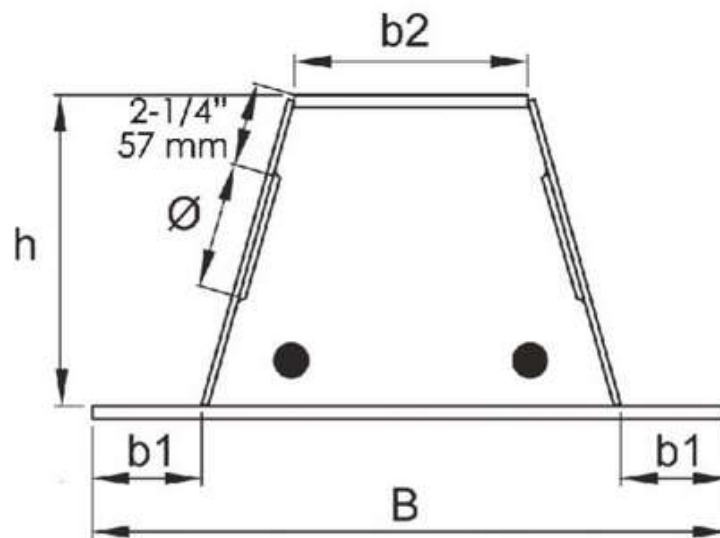
- MESQUITA, L. C. **Avaliação do comportamento estrutural de vigas mistas de slim floor com aberturas na alma**. 2016. 176 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia de Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.
- MVSA-ARCHITECTS. Projeto do Ing Bank. Amsterdam, 2002. Disponível em <<https://mvsa-architects.com/project/projects-ing-house-interior-design/>>. Acesso em: 10 out. 2017.
- NARDIN, S.; EL DEBS, A. L. H. C. **Detalhe de ligação entre pilares mistos preenchidos e vigas de aço: estudo experimental**. Caderno de Engenharia de Estruturas, São Carlos, v.9, n.36, p. 65-95, 2007.
- PFEIL, W.; PFEIL, M.; **Estruturas de Aço – Dimensionamento Prático**. 8ª Edição. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2009. p. 264-290.
- PEIKKO. Delta Beam. Slim Floor Structures. Technical Manual, 2014. Disponível em: <<https://media.peikko.com/file/dl/i/qS6c7g/rRibebICUQJvj7DtCwoE4w/DELTABEAMPeikkoGroup8-2014>>. Acesso em: 10 jun. 2017.
- PRION, H. G. L.; MCLELLAN, A. B.; Connecting Steel Beams to Concrete-Filled Steel Columns. Congresso de estruturas. American Society of Civil Engineers. Texas. 1992.
- QUEIROZ, G.; PIMENTA, R. J.; MARTINS, A. G.; **Estruturas Mistas**. 2ª Edição. Rio de Janeiro: Centro Brasileiro da Construção em Aço, 2012. v.1.
- RAMOS, A. L. **Análise numérica de pisos mistos aço-concreto de pequena altura**. 2010. 138 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.
- SOUZA, P. T. **Análise teórica e experimental de pisos mistos de pequena altura compostos por vigas metálicas e lajes alveolares de concreto**. 2016. 154 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.
- SANTOS, V. J. M.; LIMA, D. M.; SAKIYAMA, F. I. H.; **Slim Floor: método de dimensionamento e estudo paramétrico**. Revista Eletrônica de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, v.13, n° 1, 2017.
- TATA STEEL. ComFlor. Composite floor decking design and technical information. Manual da Tata Steel, [20??]. Disponível em: <https://www.tatasteelconstruction.com/static_files/Tata%20Steel/content/products/Building%20Systems/Comflor/ComFlor%20manual.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2017.
- TATA STEEL. Slimdek residential pattern book: For mult-storey residential buildings. London: Tata Steel Europe Limited, 2012. 36 p.

ANEXO 1

SEÇÃO DAS VIGAS DO TIPO *DELTA BEAM*

No anexo 1, são apresentadas as figuras 53 e 54, que são vigas do tipo *delta beam* utilizadas em vãos centrais e de canto de uma laje mista, respectivamente. São mostradas as tabelas 07 e 08, com dimensões comerciais das vigas citadas acima.

Figura 53 – Seção da viga *delta beam* de centro



Fonte: PEIKKO (2014)

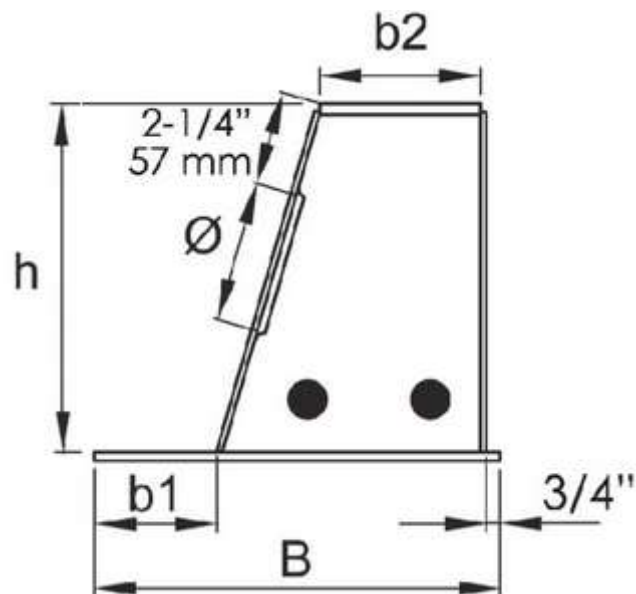
Tabela 7 – Dimensões da viga *delta beam*

	B		b2		b1		h		Ø**	
	[in]	[mm]	[in]	[mm]	[in]	[mm]	[in]	[mm]	[in]	[mm]
IDB 8-20	19-5/8	498	7	178	4	102	8	203	3-1/8	80
IDB 8-24	23-5/8	600	8-11/16	221	5	127	8	203	3-1/8	80
IDB 8-30	29-5/8	752	14-1/2	368	5	127	8	203	3-1/8	80
IDB 10-20	19-5/8	498	5-1/2	140	4	102	10	254	5-7/8	150
IDB 10-24	23-5/8	600	7-1/2	191	5	127	10	254	5-7/8	150
IDB 10-30	29-5/8	752	12-13/16	326	5	127	10	254	5-7/8	150
IDB 12-20	19-5/8	498	4-1/2	114	4	102	12	305	5-7/8	150
IDB 12-24	23-5/8	600	6-1/8	156	5	127	12	305	5-7/8	150
IDB 12-30	29-5/8	752	12-13/16	326	5	127	12	305	5-7/8	150
IDB 14-24	23-5/8	600	5-1/2	140	5	127	14	356	5-7/8	150
IDB 14-30	29-5/8	752	11-1/2	284	5	127	14	356	5-7/8	150
IDB 16-30	29-5/8	752	10-1/4	258	5	127	16	406	5-7/8	150

*Plates thicknesses varies from 3/16" to 2"

**c/c distribution for web holes is always 12" (305 mm)

Fonte: PEIKKO (2014)

Figura 54 – Seção da viga *delta beam* de extremidade

Fonte: PEIKKO (2014)

Tabela 8 – Dimensões da viga *delta beam* de extremidade

	B		b2		b1		h		Ø**	
	[in]	[mm]	[in]	[mm]	[in]	[mm]	[in]	[mm]	[in]	[mm]
EDB 8-15	14-5/8	371	7	178	4	102	8	203	3-1/8	80
EDB 10-15	14-5/8	371	7	178	4	102	10	254	3-1/8	150
EDB 12-15	14-5/8	371	7	178	4	102	12	305	3-1/8	150
EDB 14-16	15 5/8	397	7	178	4	102	14	356	5-7/8	150
EDB 16-20	19-5/8	498	9-1/2	241	5	127	16	406	5-7/8	150

*Plates thicknesses varies from 3/16" to 2"

**c/c distribution for web holes is always 12" (305 mm)

Fonte: PEIKKO (2014)

ANEXO 2

Montagem do cálculo no programa CoSFB

É mostrado a seguir, como foi feita, passo a passo, a montagem da estrutura analisada no *software* CoSFB.

1- DIMENSÕES DA VIGA DO PROJETO

A modelagem da viga, Figura 55, foi realizada conforme o projeto apresentado, com uma dimensão de 9,35 m, espaçada a cada 3 m. A viga utilizada foi do tipo IFA-A com conectores pino com cabeça tipo *stud bolts*.

Figura 55 – Definição do sistema *Slim Floor* usado

The screenshot shows the 'General parameters' dialog box with the following settings:

- 1. Type of beam:** IFB-A Section (selected), SFB Section, IFB-B Section.
- 2. Type of shear connection:** Stud connection (selected), Dowel connection.
- 3. Available width:** Intermediate beam (selected), Symmetrical beam (checked), Beam spacing: 3 m (L1=L2).
- 4. Total beam span:** Main span length: 9,35 m (L).

Buttons for 'Cancel' and 'Ok' are visible at the bottom right.

Fonte: Programa COSFB

2- PRÉ-LAJE UTILIZADA

A laje escolhida foi uma laje pré-moldada, com uma espessura inicial de 10 cm, conforme Figura 56.

Figura 56 – Pré laje e espessura do pavimento

Slab selection

- Cofradal slab
- Steel profiled sheeting
- Concrete solid slab
- Concrete slab with precast slab
- Other type of slabs

Slab configuration

Total Depth of Floor system (E) <small>80 mm ≤ E ≤ 1050 mm</small>	375 mm
Concrete height above precast slab ($h_c = E - h_p$)	275 mm
Precast slab thickness (h_p) <small>Valid values are : 30 mm ≤ h_p ≤ 120 mm</small>	100 mm

Section with additional support for the slab

The verification of the slab and the bearing width is not done by the software.

Fonte: Programa CoSFB

3- VIGA UTILIZADA

A Figura 57 mostra a seção da viga utilizada, uma HE 310A, conforme classificação europeia, com um grau S355, segundo a norma EN 10025.

Figura 57 – Definição da viga utilizada



Fonte: Programa CoSFB

4- CHAPA DE AÇO UTILIZADA

Foi utilizada uma chapa de aço com as mesmas propriedades do aço estrutural, com uma espessura de 22 mm e largura de 500 mm; o cordão de solda tem espessura de 5 mm, conforme Figura 58.

Figura 58 – Definição da chapa a ser soldada na parte inferior do perfil

Steel grade	Quality	Reduction curve
S460	M/ML	EN 10025-4
S355	M/ML	EN 10025-4
S275	M/ML	EN 10025-4
S450	J0	EN 10025-2
S355	JR/J0/J2/K2	EN 10025-2
S235	JR/J0/J2	EN 10025-2
S275	JR/J0/J2	EN 10025-2

Fonte: Programa CoSFB

5- CONCRETO UTILIZADO

A Figura 59 mostra a escolha do concreto a ser utilizado na pré laje e na capa de concreto a ser colocada sobre a pré laje. O concreto escolhido foi o de 25 MPa.

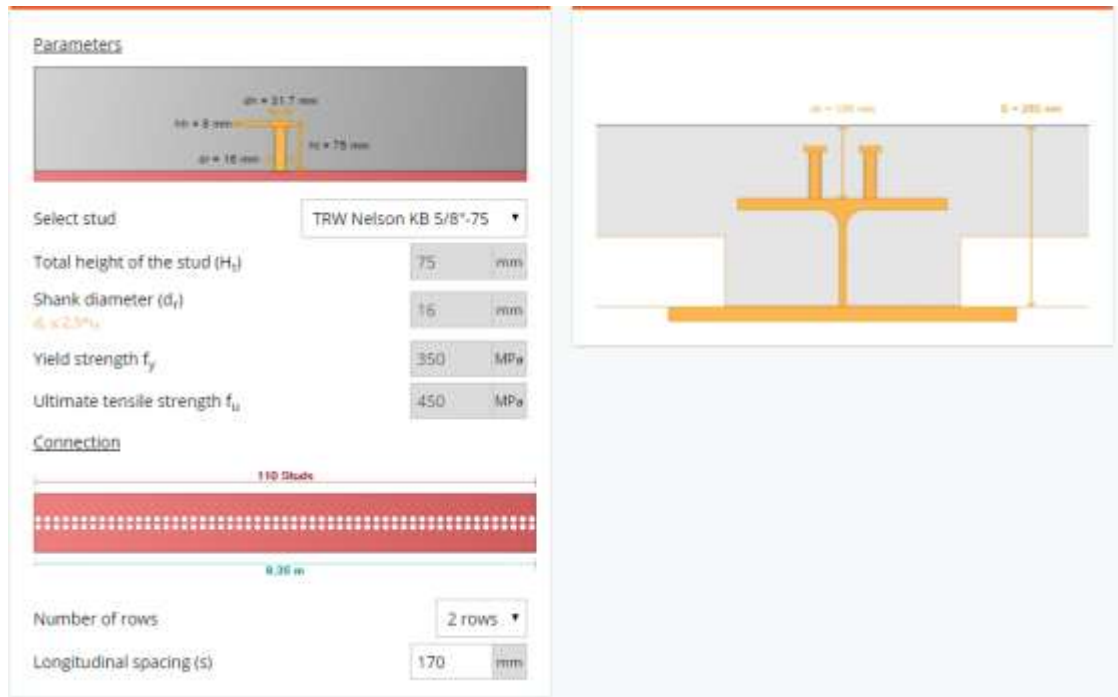
Figura 59 – Resistência do concreto

Fonte: Programa CoSFB

6- CONECTORES

Os conectores utilizados, Figura 60, foram os *stud bolts*, com diâmetro de 16 mm e altura de 75 mm. Eles foram colocados em duas linhas, espaçados de 170 mm.

Figura 60 – Conectores



Fonte: Programa CoSFB

7- FATORES DE SEGURANÇA

Os fatores de segurança utilizados estão de acordo com o Eurocode 3, os quais são 1,35 para carga permanente e 1,50 para sobrecargas. Esses fatores são mostrados abaixo, na Figura 61.

Figura 61 – Fatores de segurança para combinações de cargas

Eurocode combinations		
<input checked="" type="checkbox"/> Combination n°1	$\gamma_{G,Sup} G$	$+ \gamma_Q Q1$
	1.35 G	+ 1.50 Q1

Fonte: Programa CoSFB

8- CARGAS NA ESTRUTURA

As cargas utilizadas no cálculo, mostradas na Figura 62 são:

Figura 62 – Sobrecarga de utilização

Load cases	Surface load	Reactions
<input type="radio"/> G Permanent loads	Width of application: 3 m	Left end: 42,08 kN
<input checked="" type="radio"/> Q1 Live loads 1	Uniform load: 3 kN/m ²	Right end: 42,08 kN
<input type="radio"/> Q2 Live loads 2	Resulting vert. force: 84,15 kN	Sum: 84,15 kN
<input type="radio"/> CS Construction Stage		

Fonte: Programa CoSFB