



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ESTRUTURAL E CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

RENATO EVANGELISTA LUNA CRUZ

**DESENVOLVIMENTO DO DIMENSIONAMENTO DA LIGAÇÃO DO MIDWEST
OFFICE SYSTEM (MOS) DURANTE ETAPA DE MONTAGEM**

FORTALEZA

2013

RENATO EVANGELISTA LUNA CRUZ

**DESENVOLVIMENTO DO DIMENSIONAMENTO DA LIGAÇÃO DO MIDWEST
OFFICE SYSTEM (MOS) DURANTE ETAPA DE MONTAGEM**

Trabalho apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Augusto Teixeira de Albuquerque

FORTALEZA

2013

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- C964d Cruz, Renato Evangelista Luna.
Desenvolvimento do dimensionamento da ligação do Midwest Office System (MOS) durante etapa de montagem / Renato Evangelista Luna Cruz. – 2013.
40 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2013.
Orientação: Profa. Dra. Augusto Teixeira de Albuquerque.
1. Concreto pré-moldado. 2. Ligação semi-rígida. 3. Viga Mista. I. Título.

CDD 620

RENATO EVANGELISTA LUNA CRUZ

**DESENVOLVIMENTO DO DIMENSIONAMENTO DA LIGAÇÃO DO MIDWEST
OFFICE SYSTEM (MOS) DURANTE ETAPA DE MONTAGEM**

Trabalho apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Augusto Teixeira de Albuquerque (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Joaquim Eduardo Mota
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^ª. Dr^ª. Magnólia Maria Campêlo
Universidade Federal do Ceará (UFC)

*“Pois dEle, por Ele e para Ele são todas as coisas.
A Ele seja a glória para sempre! Amém.”Romanos 11:36*

Bíblia Sagrada (Versão NVI)

AGRADECIMENTOS

Principalmente a Deus, pelo seu imenso amor e cuidado demonstrado todos os dias pela minha vida, embora eu não sendo merecedor de imenso amor.

Aos meus pais, Francisco Evangelista da Cruz e Maria Ivoneide de Luna Cruz, por todo carinho e afeto, e por sempre confiar em mim. Tudo que sou como homem devo a eles.

Aos Engenheiros Marcelo Siveira, Denise Silveira e Alexandre Teixeira, pela oportunidade que tive de trabalhar com pessoas tão especiais e competentes, eles serão sempre um exemplo para mim, e a todos os amigos da MD engenheiros Associados.

Ao professor Augusto Teixeira de Albuquerque pela orientação no presente trabalho e a todos os professores do Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil – DEECC.

A Dona Iolanda, pelo seu carinho para comigo e pelas suas palavras de conforto, de esperança e pelas suas orações.

Aos amigos do curso de engenharia civil, amigos que tive a oportunidade de dividir os momentos tristes e alegres. Em especial a Renato de Oliveira, Victor Gurgel, Alex Duarte, Ruam Magalhães, Messias Romário, Maurício Barreto e a tantos outros que estiveram comigo durante o curso.

RESUMO

As estruturas de concreto pré-moldado, devido às suas qualidades, tais como rápida execução, baixa mão de obra, menor influência nas condições climáticas e melhor controle de qualidade das peças produzidas, vivencia um grande aumento no seu uso. Mas apesar de tantas vantagens, o uso de estruturas de concreto pré-moldado apresenta entraves pelas suas ligações viga-pilar. O presente trabalho mostra como dimensionar a ligação do MIDWEST OFFICE SYSEM (MOS) na etapa de montagem, fomentando seu uso na construção.

Palavras-chave: Concreto Pré-moldado, Ligação Semi-rígida, Viga Mista

ABSTRACT

The precast concrete structures, due their qualities, such as fast execution, low labor, less influence in the climate conditions and better quality control of the produced parts, experiences a large increase in its use. But despite many advantages, the use of precast concrete structures presents barriers for its connection beam-pillar. This present work shows how to scale the connection of the MIDWEST OFFICE SYSEM (MOS) in the assembly stage, encouraging its use in construction.

Keywords: Precast concrete, Semi-rigid connection, Composite beam

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Deformabilidade ao Momento Fletor de Uma Ligação Viga-Pilar.....	17
Figura 2 – Curvas Momento Fletor-Rotação.....	18
Figura 3 – Valores de f_y e f_u dos Aços Correntes Segundo Especificações da ASTM.....	19
Figura 4 – Diagramas Tensão-Deformação do Aço.....	20
Figura 5 – Perfil Cantoneira Simples de Abas Iguais.....	21
Figura 6 – Tipos de Vigas Mistas de Aço e Concreto.....	22
Figura 7 – Distribuição de Tensões de Vigas Mistas de Alma Cheia Sob Momento Positivo com Linha Neutra na Laje.....	24
Figura 8 – Distribuição de Tensões de Vigas Mistas de Alma Cheia Sob Momento Positivo com Linha Neutra na Viga de Aço.....	25
Figura 9 – Perspectiva de Viga Pré-Moldada.....	27
Figura 10 – Seção da Viga no Meio do Vão.....	28
Figura 11 – Corte na Extremidade da Viga.....	28
Figura 12 – Perspectiva do Pilar.....	29
Figura 13 – Perspectiva da Ligação Viga-Pilar Durante a Etapa de Montagem.....	29
Figura 14 – Seção Invertida da Ligação Viga-Pilar durante a Etapa de Montagem.....	30
Figura 15 – Área de Contato Entre a Viga e o Pilar.....	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dimensões Geométricas do Perfil Cantoneira Simples de Abas Iguais Selecionado Para Exemplo	33
Tabela 2 – Momento Resistente de Cálculo.....	37

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1	Concreto Pré-Moldado.....	14
2.2	Ligações Semi-Rígidas.....	16
2.3	Perfis Estruturais em Aço.....	18
<i>2.3.1</i>	<i>Perfil Cantoneira Simples de Abas Iguais.....</i>	<i>20</i>
2.4	Viga Mista.....	21
2.5	Dimensionamento de vigas mistas segundo a NBR 8800:2008.....	22
3	MIDWEST OFFICE SYSTEM (MOS).....	27
3.1	Características Dos Elementos Estruturais.....	27
<i>3.1.1</i>	<i>Viga.....</i>	<i>27</i>
<i>3.1.2</i>	<i>Pilar.....</i>	<i>28</i>
3.2	Montagem da Estrutura.....	29
4	ROTEIRO DE CÁLCULO DO MOMENTO RESISTENTE DE CÁLCULO DO MOS NA ETAPA DE MONTAGEM.....	31
4.1	Exemplo de cálculo do momento resistente de cálculo utilizando o perfil cantoneira simples de abas iguais.....	34
4.2	Geração da tabela com os momentos resistentes de cálculo utilizando utilizando o perfil cantoneira simples de abas iguais.....	36

5	CONCLUSÕES.....	39
	REFERÊNCIAS.....	40

1. INTRODUÇÃO

As estruturas de concreto pré-moldado devido às suas qualidades, tais como rápida execução, baixa mão de obra, menor influência das condições climáticas e maior controle de qualidade das peças produzidas, vivencia um grande aumento no volume de suas obras.

Segundo a NBR 9062, o concreto pré-moldado é definido como o “elemento que é executado fora do local de utilização definitiva na estrutura, com controle de qualidade”. Podemos utilizar também a definição de Brumati (2008):

“É aquela em que os elementos estruturais, como pilares, vigas, lajes e outros, são moldados e adquirem certo grau de resistência, antes do seu posicionamento definitivo na estrutura.”

Mesmo com tanto crescimento, as estruturas de concreto pré-moldado ainda enfrentam algumas dificuldades para a sua devida viabilização plena. Entre as limitações, encontra-se o transporte, locomoção e sobre tudo, a necessidade de se estabelecer ligações entre os vários elementos que fazem parte da estrutura.

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas – Projeto Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado (NBR 9062/85):

“Ligações são Dispositivos utilizados para compor um conjunto Estrutural a partir de seus elementos, com a finalidade de transmitir os esforços solicitantes em todas as fases de utilização, dentro da condição de projeto.”

Nas Estruturas de Concreto Pré-Moldado as ligações podem variar entre rígidas, articuladas ou semi-rígidas, onde ligações rígidas transmitem momento fletor entre os elementos, articuladas não transmitem e semi-rígidas transmitem parcialmente.

Portanto a forma da ligação entre os elementos irá ditar o comportamento estrutural. É por base da ligação que será permitido encontrar os esforços atuantes na estrutura e garantir sua estabilidade estrutural.

Segundo Baldissera (2006) os estudos sobre o comportamento das ligações de concreto pré-moldado iniciaram a partir da década de 60, tendo o objetivo de aumentar o

banco de dados, compreender e sistematizar os projetos de ligações de concreto pré-moldado, a partir de então diversas pesquisas foram sendo desenvolvidas.

Os Estudos sobre as ligações de concreto pré-moldado iniciaram na escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP), tendo prestado grande contribuição nesta área.

1.1 JUSTIFICATIVA

Este trabalho foi elaborado para verificar o momento resistente de cálculo da ligação do Midwest Office System (MOS), durante a etapa de montagem, onde a ligação provisória entre a viga e o pilar deve resistir aos esforços oriundos do processo de montagem.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral do presente trabalho consisti em realizar o desenvolvimento do dimensionamento da ligação do Midwest Office System (MOS), auxiliando os projetistas a utilizarem a ligação em seus projetos de concreto pré-moldado.

1.3 METODOLOGIA

Para o dimensionamento da ligação do MOS, será utilizada as formulações apresentadas no anexo O da NBR 8800, vigas mistas de aço e concreto, fazendo algumas adaptações das formulações para se aplicar a ligação em questão.

1.4 APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

No capítulo 1 é feita uma breve introdução sobre estruturas de concreto pré-moldado, bem como a ligação entre os seus elementos, listando as justificativas e objetivos deste trabalho.

No capítulo 2 é realizada uma revisão bibliográfica sobre concreto pré-moldado, ligações semi-rígidas, perfis estruturais em aço, perfil cantoneiras simples de abas iguais e vigas mistas segundo a NBR 8800. Serão apresentados os principais estudos encontrados na literatura sobre o tema.

No capítulo 3 será realizada uma descrição detalhada da ligação em estudo (MOS), apresentando suas características principais que diferem dos outros sistemas encontrados na literatura.

No capítulo 4 será realizado o desenvolvimento do dimensionamento da ligação, verificando o momento resistente de cálculo utilizando o perfil cantoneira simples de abas iguais.

No capítulo 5 serão apresentadas as considerações finais, conclusões sobre os resultados encontrados no capítulo 4 e recomendações para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica presente no trabalho tem como objetivo abordar as estruturas de concreto pré-moldado, ligações semi-rígidas, estruturas mista e dimensionamento vigas mistas de aço e concreto.

2.1 Concreto Pré-Moldado

Segundo Vasconcelos (2002), não se pode estabelecer uma data específica em que iniciou o uso da pré-moldagem, tendo em vista que o próprio início do uso do concreto armado ocorreu com a pré-moldagem dos elementos fora do local de sua utilização. Portanto, pode-se afirmar que a pré-moldagem iniciou juntamente com o nascimento do concreto armado.

A utilização do concreto pré-moldado está fortemente relacionada com a industrialização da construção civil, mas de acordo com Revel (1973), foi apenas no período após a Segunda Guerra Mundial, principalmente no continente Europeu, que verdadeiramente iniciou o uso de estruturas pré-fabricadas como “manifestação mais significativa da industrialização na construção”, onde a utilização intensiva do pré-fabricado ocorreu com a necessidade de se construir obras destruídas pela guerra.

Com relação à história de pré-fabricação no Brasil, a primeira grande obra a utilizar elementos pré-fabricados foi o hipódromo da gávea, onde segundo Vasconcelos (2002), os elementos pré-fabricados foram usados nas fundações e no muro que contorna todo o perímetro do hipódromo. Segundo o mesmo autor, as obras pré-moldadas começaram a aparecer principalmente na década de 50, onde merece destaque a obra industrial do Curtume Franco Brasileiro, em Barueri, onde se utilizou concreto pré-moldado em canteiro na execução dos pavilhões da fábrica.

Segundo Salas (1988), a utilização de pré-fabricados de concreto deve ser dividida em três etapas:

- De 1950 a 1970 – Período em que se utilizou elementos pré-fabricados para se construir diversas edificações, tanto habitacionais quanto escolares, hospitais e industriais, pela falta de edificações ocasionados pela segunda guerra mundial. Nesse Período, segundo Oliveira (2011), surgiu o conceito de industrialização de ciclo fechado, que consiste de uma empresa ou prestadora de serviço ter exclusividade sobre o processo de produção de um determinado elemento, de

forma que diferentes empresas não possuem similaridade entre os seus produtos, portanto não possibilitando a combinação entre seus produtos, ocorrendo assim o empobrecimento da produção e a limitação de adaptação às necessidade demandadas.

- De 1970 a 1980 – Período em que ocorreram grandes acidentes estruturais em edificações que utilizavam painéis pré-fabricados. Nesse Período ocorreu um forte declínio na utilização dos elementos pré-fabricados.
- Pós 1980 – Caracterizada em primeiro plano pela demolição de grandes conjuntos habitacionais, justificado pelo quadro crítico e pela rejeição social, e em segundo plano pela consolidação de uma pré-fabricação de ciclo aberto, à base de componentes compatíveis de origens diversos. Segundo Ferreira (2003), os pré-fabricados de ciclo aberto surgiram na Europa com a proposta de padronização dos componentes, os quais poderiam ser associados a produtos de outros fabricantes.

Segundo Doniak e Gutstein (2012), os conceitos elementares que estão envolvidos na concepção, produção e montagem de estruturas pré-fabricadas, são:

- Racionalização, conjunto de ações reformadoras que se propõe a substituir práticas rotineiras convencionais por recursos e métodos baseados em raciocínio sistemático, visando eliminar a casualidade das decisões;
- Industrialização, emprego de forma racional e mecanizada de materiais, meios de transporte e técnicas construtivas, para se obter maior produtividade;
- Pré-moldagem, processo de construção em que elementos estruturais ou parte da estrutura de uma obra são moldados fora do local de sua utilização definitiva;
- Pré-fabricação, processo de construção em que elementos estruturais ou parte da estrutura de uma obra são moldados em instalações industriais;

As principais vantagens com a utilização do pré-moldado estão relacionadas com a rápida execução, alto padrão de qualidade nas peças estruturais, mínimo gastos com fôrmas, racionalização e organização do canteiro de obra e redução dos desperdícios.

As principais desvantagens encontradas são os custos altos, limitações a certos projetos arquitetônicos, peças dimensionadas para o transporte e montagem, e dificuldade de adaptações caso encontre necessidade de alteração no projeto arquitetônico.

Segundo Elliot (2002), existe uma terceira geração de sistema pré-fabricado para edificações que vem tomando forma nos últimos anos na Europa. Esse sistema é caracterizado pelo alto grau de especificações, aliado com a alta qualidade nos acabamentos dos elementos pré-moldados.

Apesar das grandes vantagens que a utilização de elementos pré-fabricados incrementam, ainda existem limitações que impedem a sua utilização plena e em maior quantidade. Uma limitação que merece especial atenção é necessidade de se promover ligações entre os vários elementos que compõem a estrutura da edificação.

As ligações entre os elementos estruturais de pré-moldados podem se comportar como rígidos, articulados, ou quando semi-rígidos, quando a um comportamento intermediário a nós rígidos e articulados.

2.2 Ligações Semi-Rígidas

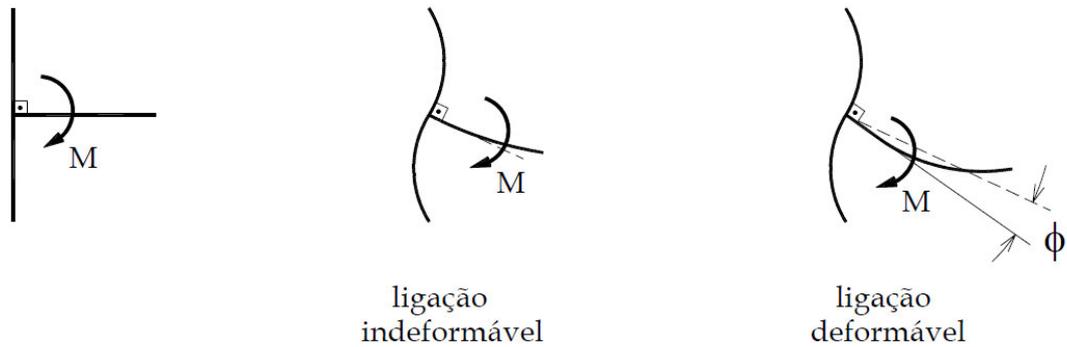
Segundo Baldissera (2006), as ligações entre elementos de concreto pré-moldado não se comportam da forma que são concebidas na análise estrutural, pelo fato de ocorrer simplificações de cálculo, porém tais ligações pode apresentar um comportamento semi-rígido, ou seja, são capazes de transmitir esforços e possuem certa rigidez.

Com o intuito de se conhecer o comportamento da semi-rigidez das ligações, diversos métodos e procedimentos foram desenvolvidos, contudo, segundo o mesmo autor, a forma mais usual para se levar em consideração o comportamento semi-rígido é utilizando os parâmetros de deformabilidade ou rigidez e resistência última das ligações extraídas de curvas força-deslocamento.

Segundo El Debs (2002), a deformabilidade de uma ligação é o deslocamento relativo entre os componentes que compõem a ligação, quando um força unitária é aplicada na direção deste deslocamento.

Segundo Miotto (2002), a deformabilidade ao momento fletor da ligação entre uma viga e um pilar está associado à rotação da viga em relação à forma indeformada do nó, conforme a figura 1.

Figura 1 – Deformabilidade ao Momento Fletor de Uma Ligação Viga-Pilar.



FONTE: El Debs (2002).

Com base a figura 1, temos que:

$$D_m = \frac{\phi}{M} \quad (1)$$

$$K_m = \frac{M}{\phi} \quad (2)$$

Onde:

D_m é a deformabilidade ao momento fletor da ligação;

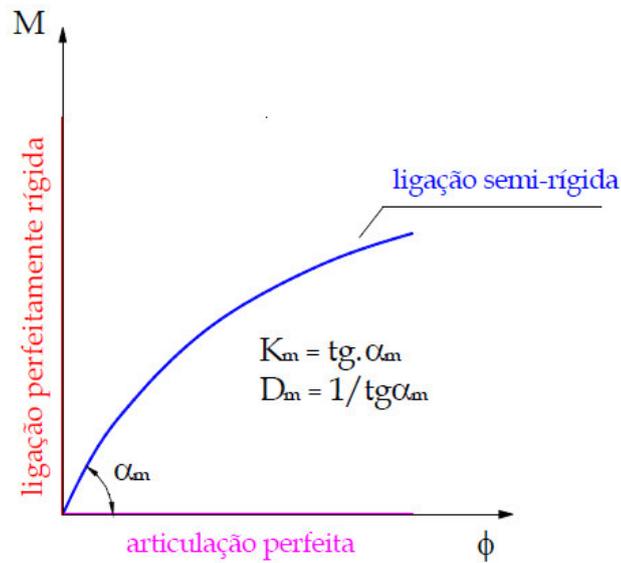
ϕ é a rotação da ligação;

M é o momento fletor atuante na ligação;

K_m é a rigidez ao momento fletor da ligação.

Segundo Miotto (2002), a maneira usualmente empregada para apresentar a deformabilidade ao momento fletor de uma ligação é através da sua relação momento fletor-rotação, ou apenas momento-rotação. Na figura 2 é apresentada o diagrama momento-rotação de uma ligação rígida, semi-rígida e articulada.

Figura 2 – Curvas Momento Fletor-Rotação.



FONTE: Miotto (2002).

2.3 Perfis Estruturais em Aço

Segundo Souza (2010), os aços estruturais são ligas metálicas, composta basicamente por pequenas quantidades de carbono, este responsável pela sua resistência, e por ferro, podendo ser adicionado outros tipos de materiais com o objetivo de adquirir determinadas propriedades especiais, como resistência a altas temperaturas, bem como resistência ao fogo.

Grandes são as vantagens da utilização dos perfis estruturais na construção civil, uma das vantagens estrutural de sua utilização é o fato do material ser homogêneo, não existindo grande diferença de resistência entre peças de mesmo lote. Com isso sua caracterização torna-se mais simples e objetiva.

Deve também ser notado que a utilização de perfis metálicos reduz o peso próprio da estrutura, diminuindo as cargas nas fundações, facilitando as instalações em canteiros e reduzindo os custos e prazos na construção, possibilita a desmontagem e seu posterior reaproveitamento em outro local, possibilitando assim o reaproveitamento do material em estoque.

A NBR 8800:2008 exige aços estruturais com $f_y < 450 \text{ MPa}$ e $f_u/f_y > 1,18$. Na figura 3 está representado os valores nominais da resistência ao escoamento, f_y , e resistência à ruptura,

f_u , dos aços mais usados, definidos pela norma ASTM, cujos aços atendem os requisitos apresentados anteriormente.

Figura 3 – Valores de f_y e f_u dos Aços Correntes Segundo Especificações da ASTM.

Denominação	f_y (MPa)	f_u (MPa)	Produto	Grupo ou faixa de espessura	Grau	Classificação	
ASTM A36	250	400 a 550	Perfis	1, 2 e 3	-	Aço carbono	
			Chapas e barras	$t \leq 200$ mm			
ASTM A500	230	310	Perfis	4	A		
	290	400			B		
ASTM A572	290	415	Perfis	1, 2 e 3	42	Baixa liga e alta resistência mecânica	
	345	450			50		
	380	485			55		
	415	520	Chapas e barras	1 e 2	60		
	450	550			65		
	290	415			Chapas e barras		$t \leq 150$ mm
	345	450	$t \leq 100$ mm	50			
	380	485	$t \leq 50$ mm	55			
	415	520	$t \leq 31,5$ mm	60			
	450	550			65		
ASTM A242	345	485	Perfis	1	-	Baixa liga e alta resistência mecânica e resistente à corrosão (patinável)	
	315	460		2	-		
	290	435		3	-		
	345	480	Chapas e barras	$t \leq 19$ mm	-		
	315	460		$19 \leq t \leq 37,5$ mm	-		
	290	435		$37,5 \leq t \leq 100$ mm	-		
ASTM A588	345	485	Perfis	1 e 2	-	Baixa liga e alta resistência mecânica e resistente a corrosão (patinável)	
	345	480	Chapas e barras	$t \leq 100$ mm	-		
	315	460		$100 \leq t \leq 125$ mm	-		
	290	435		$125 \leq t \leq 200$ mm	-		

Grupo 1 – perfis com espessura de mesa inferior ou igual a 37,5 mm.

Grupo 2 – perfis com espessura de mesa superior a 37,5 mm e inferior ou igual a 50 mm.

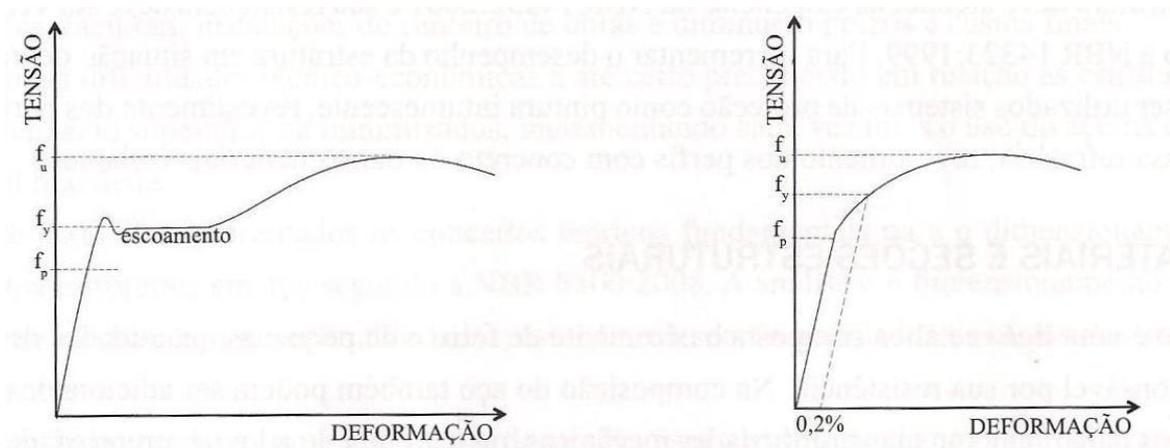
Grupo 3 – perfis com espessura de mesa superior a 50 mm.

Grupo 4 – perfis tubulares.

FONTE: Souza (2010).

Para se projetar uma estrutura que contará com perfis metálicos, é necessário o entendimento das propriedades mecânicas que tais perfis apresentam. Para tanto, deve-se conhecer os diagramas tensão-deformação, onde se representa a resistência ao escoamento (f_y), onde o aço passa a sofrer deformações permanentes, e a resistência à ruptura (f_u). Na figura 4, está sendo representados dois tipos de diagramas tensões-deformações, a primeira representa perfis típicos de aço virgens, no segundo caso representa perfis por tratamento a frio, como o encruamento.

Figura 4 – Diagramas Tensão-Deformação do Aço.



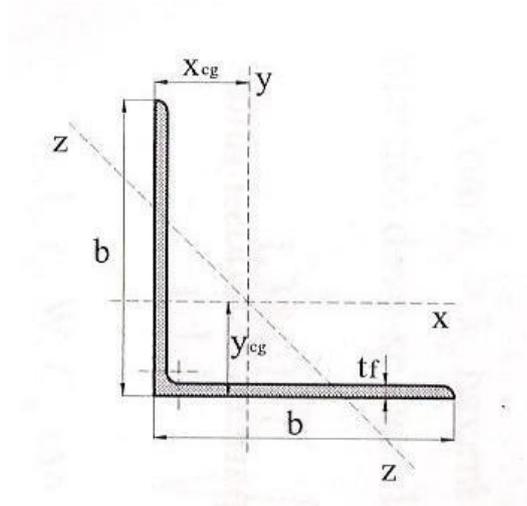
FONTE: Souza (2010).

Segundo Souza (2010), em razão do processo de fabricação, os perfis são classificados em três grupos, perfis formados a frio, perfis laminados e perfis soldados.

2.3.1 Perfil Cantoneira simples de abas iguais

Os perfis cantoneiras apresentam grande potencial de emprego nas construções, podendo ser utilizando como elemento de ligação estrutural, ou como elementos estruturais resistentes. Sua classificação tem como base as dimensões de suas abas e espessuras das chapas.

Figura 5 – Perfil Cantoneira Simples de Abas Iguais.



FONTE: Souza (2010).

Onde:

X_{cg} é a distância do centroide à face externa do perfil de aço, na direção do eixo x ;

Y_{cg} é a distância do centroide à face externa do perfil de aço, na direção do eixo y ;

t_f é a espessura da aba;

b é a largura da parte plana da aba;

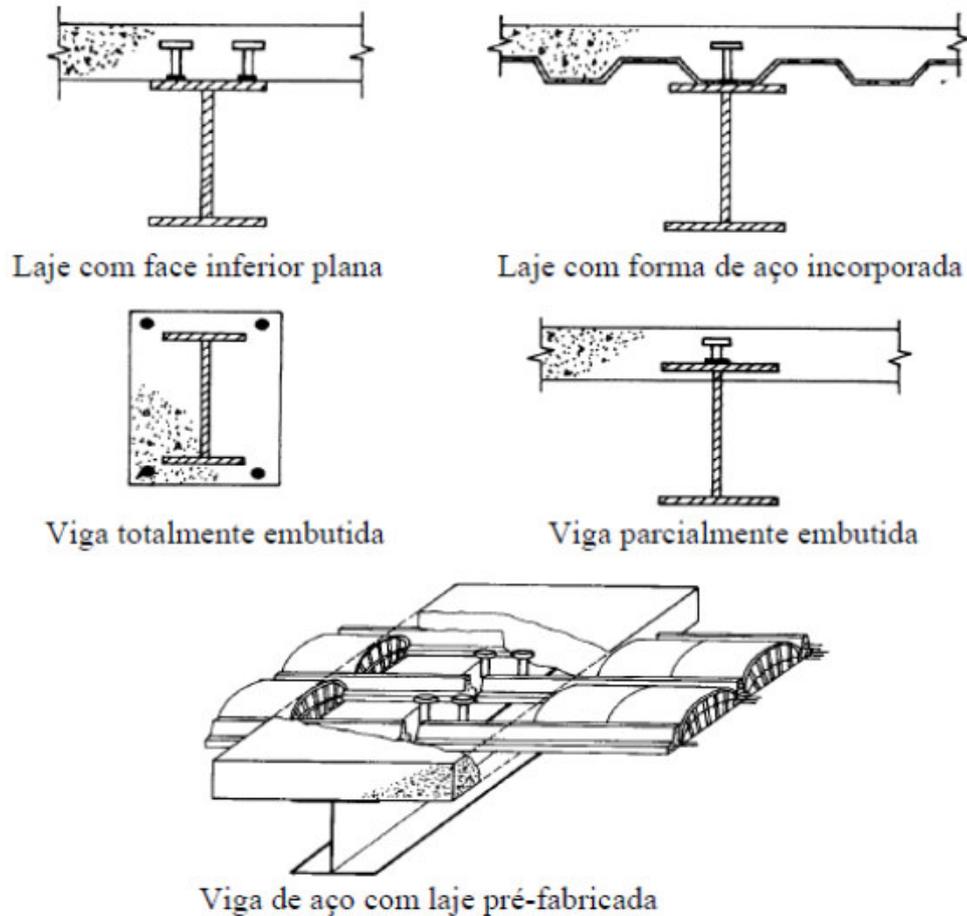
Para sua identificação, utiliza-se a simbologia definida a seguir:

L, b(mm) x t(mm)

2.4 Viga Mista

Viga Mista de aço e concreto consiste segundo a NBR 8800, de um perfil de aço simétrico ao seu plano de flexão (perfil I), ou uma treliça e uma laje de concreto em sua face superior. A ligação entre os dois materiais é feita por conectores mecânicos, soldados à mesa superior do perfil. A figura 6 mostra alguns tipos de vigas mistas utilizadas na prática.

Figura 6 – Tipos de Vigas Mistas de Aço e Concreto.



FONTE: Malite (1990).

2.5 Dimensionamento de Vigas Mistas Segundo a NBR 8800:2008

O cálculo do momento resistente de cálculo para o dimensionamento de vigas mistas é determinado no regime plástico. Para efetuarmos os cálculos devemos estabelecer algumas considerações:

- Não consideração da Resistência à tração do concreto;
- Tensão de aço de valor igual a $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{a1}}$ em toda a região tracionada e comprimida da seção de aço;
- Não haverá deslizamento entre o concreto e o perfil de aço, portanto a interação será completa;

- Tensão uniforme de valor igual a $f_{cd} = 0,85 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$ na área efetiva de concreto.

A máxima resultante de compressão é definida como:

$$C_{cd} = 0,85 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot t_c \quad (3)$$

Onde:

C_{cd} é a força resistente de cálculo da espessura comprimida da laje de concreto;

f_{cd} é resistência de cálculo do concreto;

b é a largura efetiva da laje de concreto;

t_c é a altura da laje de concreto. (se houver pré-laje de concreto pré-moldada, é a espessura acima desta pré-laje e, se houver laje com forma de aço incorporada, é a espessura acima das nervuras)

A máxima resultante de tração será:

$$T_{ad} = f_{yd} \cdot A_a \quad (4)$$

Onde:

T_{ad} é a força resistente de cálculo da espessura tracionada do perfil de aço;

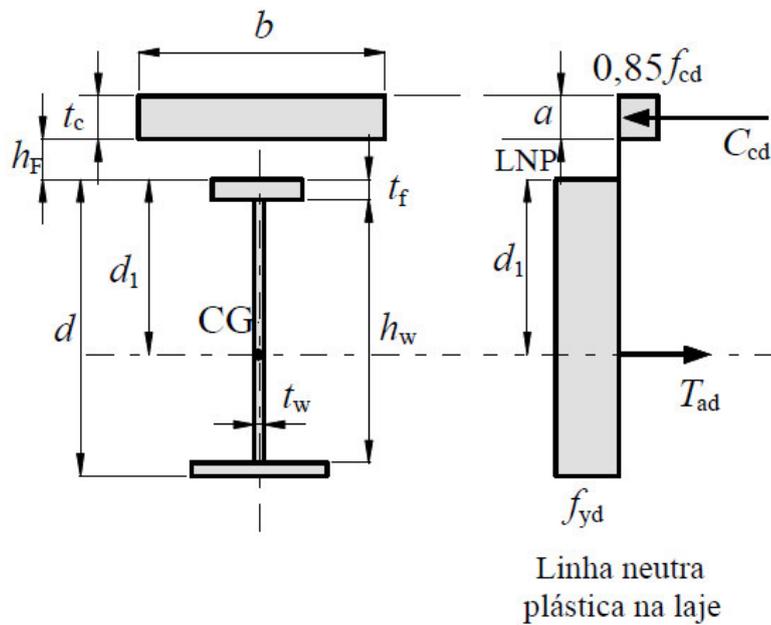
f_{yd} é a resistência de cálculo ao escoamento;

A_a é a área do perfil de aço.

Como os valores calculados deve-se definir a posição da linha neutra na viga. Ocorrem duas possibilidades:

- 1º Caso – $C_{cd} > T_{ad}$, a linha neutra encontra-se na laje de concreto como indica na figura 7.

Figura 7 – Distribuição de Tensões em Vigas Mistas de Alma Cheia Sob Momento Positivo com Linha Neutra na Laje.



FONTE: ABNT NBR 8800 (2008).

A linha neutra se encontra na posição:

$$a = \frac{T_{ad}}{0,85 \cdot f_{cd} \cdot b} < t_c \quad (5)$$

E o momento resultante de cálculo é obtido, como indicado abaixo:

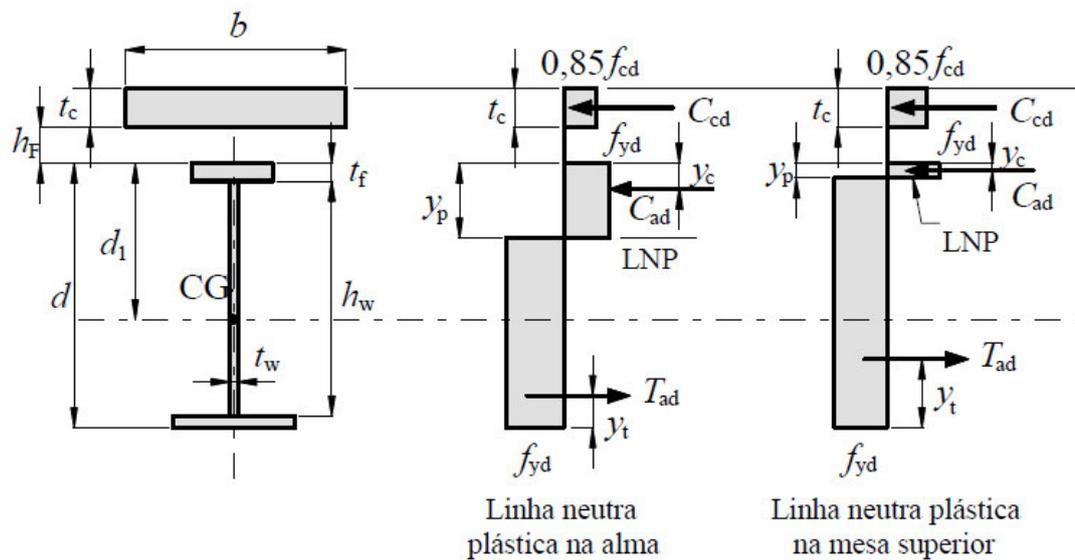
$$M_{Rd} = T_{ad} \cdot \left(d_1 + h_F + t_c - \frac{a}{2} \right) \quad (6)$$

Onde:

- a é a espessura da região comprimida da laje;
- d_1 é a distância do centro geométrico do perfil de aço até a face superior desse perfil;
- h_F é a espessura da pré-laje pré-moldada de concreto ou a altura das nervuras da laje com fôrma de aço incorporada (se não houver pré-laje ou fôrma de aço incorporada, $h_F = 0$)

- 2º Caso – $C_{cd} < T_{ad}$, a linha neutra encontra-se no perfil de aço, como indica na figura 8.

FIGURA 8 – Distribuição de Tensões em Vigas Mistas de Alma Cheia Sob Momento Positivo com Linha Neutra na Viga de Aço.



FONTE: ABNT NBR 8800 (2008).

Nesta configuração, a força resultante C_{cd} estará sendo contribuída pela força C_{ad} pelo fato de uma parte da seção de aço estar sendo comprimida a uma altura y .

A resultante de tração será:

$$T_{ad} = C_{cd} + C_{ad} \quad (7)$$

A força resistente de cálculo da espessura comprimida da laje de concreto e da região comprimida do perfil de aço, é calculado pelas formulações abaixo:

$$C_{cd} = 0,85 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot t_c \quad (8)$$

$$C_{ad} = \frac{1}{2} \cdot (A_a \cdot f_{yd} - C_{cd}) \quad (9)$$

A posição da linha neutra na seção plastificada, deve ser determinada com a relação a posição da linha neutra no perfil de aço, como indicado:

- Caso $C_{ad} < A_{af} \cdot f_{yd}$, a linha neutra estará situada na mesa superior:

$$y_p = \frac{C_{ad}}{A_{af} \cdot f_{yd}} \cdot t_f \quad (10)$$

- Caso $C_{ad} > A_{af} \cdot f_{yd}$, a linha neutra estará na alma;

$$y_p = t_f + h_w \cdot \left(\frac{C_{ad} - A_{af} \cdot f_{yd}}{A_{aw} \cdot f_{yd}} \right) \quad (11)$$

Com o momento resistente sendo calculado pela equação abaixo:

$$M_{Rd} = [C_{ad} (d - y_t - y_c) + C_{cd} \left(\frac{t_c}{2} + h_F + d - y_t \right)] \quad (12)$$

3 MIDWEST OFFICE SYSTEM – MOS

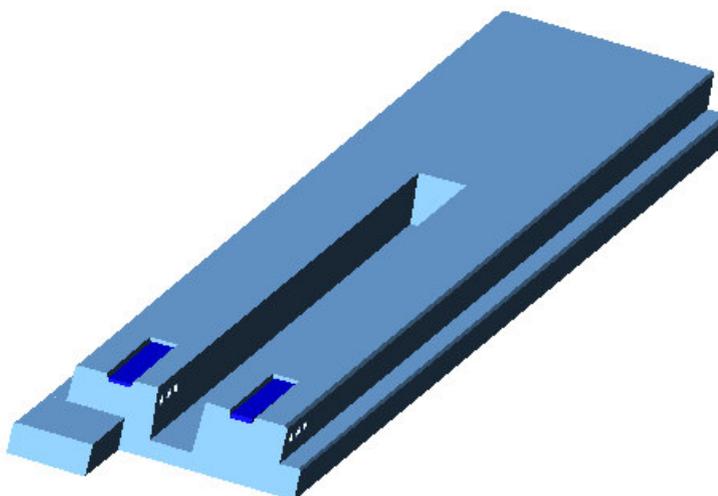
Desenvolvida pelo Professor Dr. Augusto Teixeira de Albuquerque, o Midwest Office System, MOS, se enquadra na utilização em edifícios comerciais, em que as necessidades arquitetônicas requerem áreas livres de 9,0m por 9,0m e onde existe sempre um forro falso para a passagem das instalações.

3.1 Características Dos Elementos Estruturais

3.1.1 Viga

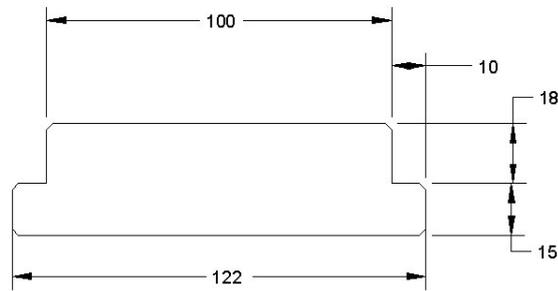
Como pode ser observado na figura 9, a viga possui em sua extremidade um detalhe por um dos lados do pilar para eliminar a necessidade de possível forma (necessidade essa estabelecida após as reuniões com montadores onde foi pedido a utilização do mínimo de forma possível). Deve ser observada a existência de placas metálicas na parte superior das vigas e luvas metálicas cruzando a viga na direção transversal para conferir a ligação viga-pilar maior estabilidade na etapa de montagem e a existência de uma reentrância (pocket) de aproximadamente 1,5m de comprimento para a colocação de barras de armaduras positivas e negativas que irão conferir maior rigidez a ligação. Na figura 10 e 11 podemos ver as dimensões em planta das seções da viga.

Figura 9 – Perspectiva da Viga Pré-Moldada.



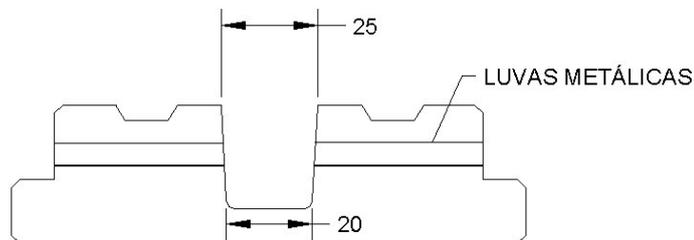
FONTE: Albuquerque (2007).

Figura 10 – Seção da Viga no Meio do Vão.



FONTE: Albuquerque (2007).

Figura 11 – Corte na Extremidade da Viga.

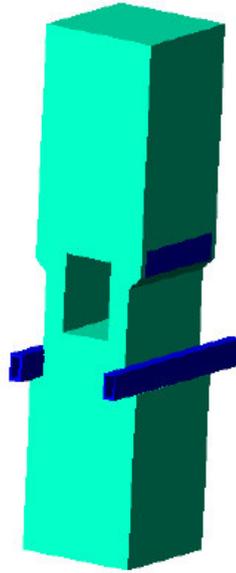


FONTE: Albuquerque (2007).

3.1.2 Pilar

Na figura 12, é representada a perspectiva do pilar empregado no sistema, o grande diferencial é a existência de uma abertura dentro do pilar para garantir a passagem de armaduras para efetivar a ligação entre as vigas e o pilar. A existência dessa abertura é possível com a colocação de um tubo metálico que confere ao pilar resistência suficiente para suportar as ações das fases transitórias, já que as lajes são montadas antes do preenchimento do pilar.

Figura 12 – Perspectiva do Pilar.

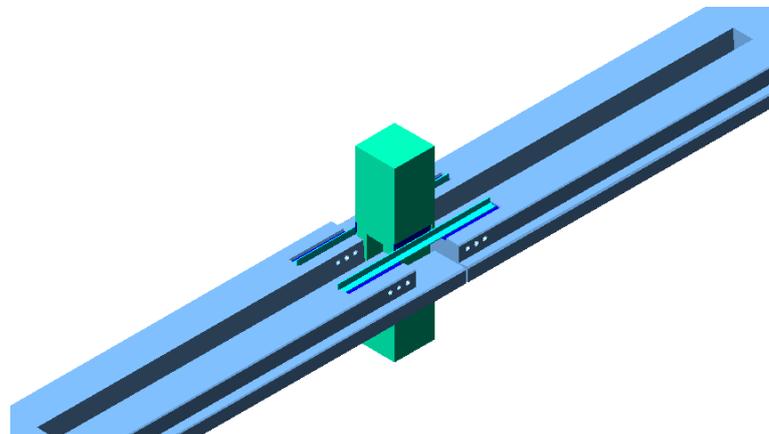


FONTE: Albuquerque (2007).

3.2 Montagem da Estrutura

As vigas devem primeiramente ser ligadas ao pilar usando um perfil metálico em “L”, soldados em placas metálicas que estão embutidas nas laterais dos pilares (como pode ser observado na figura 13) e no topo das vigas. É por conta da utilização do perfil metálico que será eliminado o uso de consoles nos pilares, ficando assim a estrutura esteticamente mais limpa, após a ligação viga-pilar ser estabelecida o perfil metálico poderá ser retirado do pilar.

Figura 13 – Perspectiva da Ligação Viga-Pilar Durante Etapa da Montagem.



FONTE: Albuquerque (2007).

Para essa etapa da montagem a ligação possui a característica de viga mista de aço e concreto, pois existe uma interação entre um perfil metálico e um elemento de concreto. Na ligação em questão está sendo aplicado um momento fletor negativo, pelo fato de ser um apoio. Se invertermos a seção e aplicarmos o momento fletor positivo, podemos analisar a essa ligação como uma viga mista, utilizando todas as formulações, uma vez que a ligação não foge da viga mista especificada na NBR 8800, possuindo um perfil metálico na parte inferior e um elemento de concreto na parte superior. A figura 14, mostra a seção em que será realizado o cálculo do Momento Resistente de Cálculo.

Figura 14 – Seção Invertida da Ligação Viga-Pilar Durante a Etapa de Montagem.



FONTE: Próprio Autor (2012).

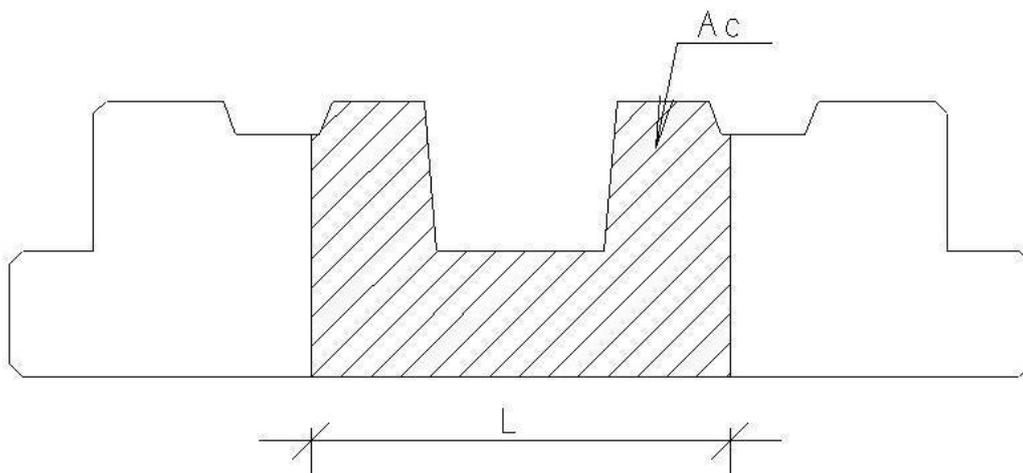
4 ROTEIRO DE CÁLCULO DO MOMENTO RESISTENTE DE CÁLCULO DO MOS NA ETAPA DE MONTAGEM

Para a determinação do Momento resistente de cálculo da ligação do MOS durante a etapa de montagem, é necessário em primeiro lugar o conhecimento da posição da linha neutra, tendo em vista que sua posição irá determinar as formulações utilizadas para o seu dimensionamento. Como visto no capítulo 3, caso $C_{cd} > T_{ad}$ a linha neutra estará na viga de concreto, caso $T_{ad} > C_{cd}$ a linha neutra estará situada no perfil metálico.

- Cálculo do C_{cd}

O valor do C_{cd} estará associado com a dimensão do lado do pilar em que a viga do MOS estará apoiada. Pois apenas a região que estiver em contato com o pilar estará sendo comprimida. A figura x indica a área em contato entre a viga do MOS e uma pilar com dimensão L.

Figura 15 – Área de Contato Entre a Viga e o Pilar.



FONTE: Próprio autor (2012)

Onde:

A_c é a área da viga que está em contato com o pilar

Portanto, o valor do C_{cd} será:

$$C_{cd} = f_{cd} \cdot A_c \quad (13)$$

- Cálculo do T_{ad}

Pelo fato de se ter na ligação em questão dois perfis metálicos simétricos em relação ao eixo da viga, o valor do T_{ad} será:

$$T_{ad} = f_{yd} \cdot 2 \cdot A_a \quad (14)$$

Onde:

A_a é a área do perfil de aço

Caso $C_{cd} > T_{ad}$ a linha neutra estará situada na viga de concreto, podendo ser determinado sua posição pela fórmula abaixo:

$$a = \frac{T_{ad}}{0,85 \cdot f_{cd} \cdot \frac{A_c}{33}} < t_c \quad (15)$$

E o momento resultante é calculado, como indicado abaixo:

$$M_{Rd} = T_{ad} \left(d_1 + t_c - \frac{a}{2} \right) \quad (16)$$

Caso $T_{ad} > C_{cd}$ a linha neutra estará situada no perfil metálico e para a determinação de sua localização devemos conhecer o valor de C_{ad} , força resistente de cálculo da região comprimida do perfil de aço, e o valor de $2 \times A_{af} \times f_{yd}$, onde A_{af} , é a área da aba horizontal do perfil cantoneira.

$$C_{ad} = \frac{1}{2} (2 \cdot A_a \cdot f_{yd} - C_{cd}) \quad (17)$$

Caso $C_{ad} \leq 2 \cdot A_{af} \cdot f_{yd}$, a linha neutra estará situada na aba horizontal, caso $C_{ad} > 2 \cdot A_{af} \cdot f_{yd}$, a linha neutra estará situada na aba vertical, para cada caso, pode-se calcular o valor da distância da linha neutra da seção plastificada até a face superior do perfil de aço.

- $C_{ad} \leq 2 \cdot A_{af} \cdot f_{yd}$ - Linha neutra na aba horizontal

$$y_p = \frac{C_{ad}}{2 \cdot A_{af} \cdot f_{yd}} \cdot t_f \quad (18)$$

- $C_{ad} > 2 \cdot A_{af} \cdot f_{yd}$ - Linha neutra na aba vertical

$$y_p = t_f + h_w \left(\frac{C_{ad} - 2 \cdot A_{af} \cdot f_{yd}}{2 \cdot A_{aw} \cdot f_{yd}} \right) \quad (19)$$

E o momento resistente, calculado como mostra a equação abaixo:

$$M_{Rd} = [C_{ad} (d - y_t - y_c) + C_{cd} \left(\frac{t_c}{2} + d - y_t \right)] \quad (20)$$

4.1 Exemplo do cálculo do Momento resistente de cálculo utilizando o perfil cantoneira

Para o exemplo de cálculo, utilizaremos como exemplo o perfil cantoneira simples L 51 x 9,50 mm extraído de Souza (2010), as dimensões do perfil estão mostrados na tabela 1, e o pilar em que a viga estará sendo apoiada tem dimensão 40x40cm.

O perfil estrutural possui $f_y = 250$ MPa e o concreto possui $f_{ck} = 25$ MPa.

Tabela 1 – Dimensões Geométricas do Perfil Cantoneira Simples de Abas Iguais Selecionado Para Exemplo.

Dimensões (pol.)		Dimensões (mm)		Área	Peso	$I_x=I_y$	$W_x=W_y$	$r_x=r_y$	r (min)	$X_g=Y_g$
h (pol.)	t (pol.)	b (mm)	t (mm)	(cm ²)	(Kg/m)	(cm ⁴)	(cm ³)	(cm)	(cm)	(cm)
2x2	0,38	51,00	9,50	8,76	6,99	17,48	4,91	1,52	0,99	1,54

FONTE: Souza (2010)

- Determinação da área de contato entre a viga e o pilar

$$A_c = 15 \cdot 40 + 2 \cdot (8,5 \cdot 18) + 2 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot 1,5 \cdot 18\right)$$

$$A_c = 933 \text{ cm}^2$$

- Determinação da posição da linha neutra

$$C_{cd} = 0,85 \cdot f_{cd} \cdot A_c$$

$$C_{cd} = 0,85 \cdot \frac{2,5}{1,4} \cdot 933$$

$$C_{cd} = 1416,16 \text{ kN}$$

$$T_{ad} = f_{yd} \cdot 2 \cdot A_a$$

$$T_{ad} = \frac{25}{1,1} \cdot 2 \cdot 8,76$$

$$T_{ad} = 398,18kN$$

Pelo fato de $C_{cd} > T_{ad}$, a posição da linha neutra estará situada na viga de concreto, portanto pode-se determinar a posição da linha neutra.

$$a = \frac{T_{ad}}{0,85 \cdot f_{cd} \cdot \frac{A_c}{33}}$$

$$a = \frac{398,18}{0,85 \cdot \frac{2,5}{1,4} \cdot \frac{933}{33}}$$

$$a = 9,28 \text{ cm}$$

Agora pode-se determinar o valor do momento resistente de cálculo

$$M_{Rd} = T_{ad} \left(d_1 + t_c - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_{Rd} = 398,18 \left(3,56 + 33 - \frac{9,28}{2} \right)$$

$$M_{Rd} = 127,10kN \cdot m$$

4.2 Geração de tabela com o momento resistente de cálculo utilizando todos os perfis possíveis do MOS.

Para facilitar a utilização da ligação do MOS, foi produzido uma tabela com os momentos resistente de cálculo com todos os perfis cantoneiras possíveis de serem utilizados na ligação. A tabela em questão irá indicar qual seria o momento resistente de cálculo na etapa de montagem, para cada perfil cantoneira simples de abas iguais.

Foi utilizado perfis cantoneiras simples de abas iguais, com valor de b menor que 10 cm, pelo fato da reentrância da viga possuir esta medida.

A tabela com os momentos resistentes de cálculo podem ser utilizadas para vigas com qualquer valor de f_{ck} e pilares com todas as medidas. A planilha foi calculada para o caso, pilar com 30 cm de largura e f_{ck} de 20MPa, tendo em vista que mudanças no f_{ck} e na largura do pilar, resultaria em mudança mínima no resultado do momento resistente de cálculo. O perfil de aço possui $f_y = 250MPa$.

Tabela 1 – Momento Resistente de Cálculo

Dimensões (pol.)		Dimensões (mm)		Área	Peso	$I_x=I_y$	$W_x=W_y$	$r_x=r_y$	r (min)	$X_g=Y_g$	M_{Rd}
h (pol.)	t (pol.)	b (mm)	t (mm)	(cm ²)	(Kg/m)	(cm ⁴)	(cm ³)	(cm)	(cm)	(cm)	kNm
7/8 x 7/8	1/8	22,00	3,20	1,35	1,04	0,58	0,37	0,66	0,48	0,66	20,35
1 x 1	1/8	25,00	3,20	1,48	1,19	0,83	0,49	0,76	0,51	0,76	22,35
1 x 1	3/16	25,00	4,76	2,19	1,73	1,24	0,65	0,76	0,48	0,81	32,30
1 ^{1/4} x 1 ^{1/4}	1/8	32,00	3,20	1,93	1,50	1,66	0,81	0,96	0,63	0,91	29,22
1 ^{1/4} x 1 ^{1/4}	3/16	32,00	4,76	2,77	2,20	2,49	1,14	0,96	0,61	0,96	40,80
1 ^{1/4} x 1 ^{1/4}	1/4	32,00	6,30	3,61	2,86	3,32	1,47	0,93	0,61	1,01	51,68
1 ^{1/2} x 1 ^{1/2}	1/8	38,00	3,20	2,32	1,83	3,32	1,14	1,19	0,76	1,06	35,18
1 ^{1/2} x 1 ^{1/2}	3/16	38,00	4,76	3,42	2,68	4,57	1,63	1,16	0,73	1,11	50,04
1 ^{1/2} x 1 ^{1/2}	1/4	38,00	6,30	4,45	3,48	5,82	2,13	1,14	0,73	1,19	62,81
1 ^{3/4} x 1 ^{3/4}	1/8	44,00	3,20	2,70	2,14	5,41	1,63	1,39	0,88	1,21	41,02
1 ^{3/4} x 1 ^{3/4}	3/16	44,00	4,76	3,99	3,15	7,49	2,29	1,37	0,88	1,29	58,08
1 ^{3/4} x 1 ^{3/4}	1/4	44,00	6,30	5,22	4,12	9,57	3,11	1,34	0,86	1,34	72,87
1 ^{3/4} x 1 ^{3/4}	5/16	44,00	8,00	6,45	5,05	11,23	3,77	1,32	0,86	1,39	86,21

Tabela 1 – Momento Resistente de Cálculo (Continuação)

Dimensões (pol.)		Dimensões (mm)		Área	Peso	I _x =I _y	W _x =W _y	r _x =r _y	r (min)	X _g =Y _g	M _{Rd}
h (pol.)	t (pol.)	b (mm)	t (mm)	(cm ²)	(Kg/m)	(cm ⁴)	(cm ³)	(cm)	(cm)	(cm)	kNm
2 x 2	3/16	51,00	4,76	4,58	3,63	7,90	2,13	1,60	1,01	1,39	66,66
2 x 2	1/4	51,00	6,30	6,06	4,76	11,23	3,11	1,57	0,99	1,44	83,88
2 x 2	5/16	51,00	8,00	7,41	5,83	14,56	4,09	1,54	0,99	1,49	97,74
2 x 2	3/8	51,00	9,50	8,76	6,99	17,48	4,91	1,52	0,99	1,54	109,85
2 ^{1/2} x 2 ^{1/2}	3/16	64,00	4,76	5,80	4,57	23,00	4,90	1,98	1,24	1,75	83,60
2 ^{1/2} x 2 ^{1/2}	1/4	64,00	6,30	7,67	6,10	29,00	6,40	1,96	1,24	1,83	103,59
2 ^{1/2} x 2 ^{1/2}	5/16	64,00	8,00	9,48	7,44	35,00	7,87	1,93	1,24	1,88	119,83
2 ^{1/2} x 2 ^{1/2}	3/8	64,00	9,50	11,16	8,78	41,00	9,35	1,91	1,24	1,93	132,09
3" X 3"	3/16	76,00	4,76	7,03	5,52	40,00	7,21	2,39	1,50	2,08	100,08
3" X 3"	1/4	76,00	6,30	9,29	7,29	50,00	9,50	2,36	1,50	2,13	122,27
3" X 3"	5/16	76,00	8,00	11,48	9,10	62,40	11,60	2,33	2,94	2,21	138,97
3" X 3"	3/8	76,00	9,50	13,61	10,70	74,90	14,00	2,35	2,92	2,26	150,94
3" X 3"	7/16	76,00	11,10	15,68	12,40	83,30	15,70	2,30	2,91	2,31	158,43

5 CONCLUSÕES

Foi obtido uma tabela que mostra o momento resistente de cálculo, para todos os perfis cantoneiras na etapa de montagem da ligação do Midwest Office System (MOS), auxiliando assim o engenheiro a escolher o perfil a ser usado.

Após o cálculo do momento solicitante de cálculo, levando em consideração o peso próprio da viga, o peso próprio da laje alveolar e eventuais cargas de montagens, o engenheiro com o auxílio da tabela apresentado no presente trabalho, pode escolher o perfil cantoneira a ser utilizado na etapa de montagem da ligação.

Sugere-se para trabalhos futuros, os ensaios experimentais, comparando assim os valores obtidos experimentalmente com os valores obtidos no presente trabalho.

REFERÊNCIAS

- ELLIOT, R. S.(2002). **Precast Frame Concepts, Economics and Architectural Requirements**. In workshop on Design & Construction of Precast Concrete Structures. Construction Industry Training Institute. Singapore.
- FERREIRA, M.A. (2003). **A importância dos sistemas flexibilizados**, 2003. 8p. (Apostila).
- GILSON Q., P.R.J., M.A.G. **Manual de construção em aço – Estruturas mistas – Voll**. 2010 Rio de Janeiro. Instituto Aço Brasil – Centro de Construção em Aço.
- MIOTTO, A.M. **Ligações viga-pilar de estrutura de concreto pré-moldado: Análise com ênfase na deformabilidade ao momento fletor**. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia de estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- OLIVEIRA, L. F. (2011). **Análise Crítica de sistemas estruturais utilizando soluções em concreto pré-moldado**. Monografia (Graduação em engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- REVEL, M. (1973). **La prefabricacion em la construccion**, 1.ed. Bilbao: Urmo. 457p.
- SALAS, S. J. (1988). **Construção Industrializada: pré-fabricação**. São Paulo: Instituto de pesquisas tecnológicas.
- SOUZA, A.S.C. **Dimensionamento de elementos estruturais em aço**. 2010. São Carlos: EESC-USP.
- VASCONCELOS, A. C. (2002). **O Concreto no Brasil: pré-fabricação, monumentos, fundações**. Volume III. Studio Nobel. São Paulo.