



**Cesar Augusto de Oliveira Ferrante**

**Estudo Teórico-Experimental do  
Comportamento à Flexão de Vigas Mistas  
com Perfil Assimétrico Parcialmente  
Embutido**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio.

Orientador: Sebastião Arthur Lopes de Andrade

Rio de Janeiro  
Junho de 2015



**Cesar Augusto de Oliveira Ferrante**

**Estudo Teórico-Experimental do  
Comportamento à Flexão de Vigas Mistas  
com Perfil Assimétrico Parcialmente  
Embutido**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Civil do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. Sebastião Arthur Lopes de Andrade**

Orientador

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

**Prof. José Guilherme Santos da Silva**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro

**Prof. Ney Augusto Dumont**

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

**Prof. José Eugênio Leal**

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 26 de Junho de 2015

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

### **Cesar Augusto de Oliveira Ferrante**

Graduou-se em Engenharia Civil pela UFPA (Universidade Federal do Pará). Na UFPA participou de pesquisas experimentais na área de estruturas de concreto armado. Na PUC-Rio desenvolveu seu trabalho de pesquisa com ênfase em Estudos Experimentais de vigas mistas.

#### Ficha Catalográfica

Ferrante, Cesar Augusto de Oliveira

Estudo Teórico-Experimental do Comportamento à Flexão de Vigas Mistas com Perfil Assimétrico Parcialmente Embutido. / Cesar Augusto de Oliveira Ferrante; orientador: Sebastião Arthur Lopes de Andrade. – Rio de Janeiro: PUC-Rio, Departamento de Engenharia Civil, 2015.

v., 139 f: il. ; 29,7 cm

1. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil.

Inclui referências bibliográficas. 1. Engenharia civil – Tese. 2. Vigas-mistas. 3. Sistemas construtivos pré-fabricados. 4. Perfis celulares assimétricos. 5. Experimentação estrutural. I. Andrade, Sebastião A. L. de. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. III. Título.

CDD:624

## Agradecimentos

À Deus pelo dom da vida, por prover-me de sabedoria, paciência, inspiração, força, fé e perseverança para vencer os obstáculos em todos momentos durante esta jornada. À minha mãe, Soelia, pelo amor, carinho e suporte incondicional durante toda a minha vida. À minha família pelo apoio e incentivo, especialmente meus irmãos, Nathalia, Guilherme, Luciana, Claudia e Cintia, ainda que distante fisicamente, ando sempre com vocês em meus pensamentos. Aos meus sobrinhos, Cayro, Letícia, Isabele, Julia e Laura pelo amor e carinho.

Ao professor Sebastião Arthur Lopes de Andrade pela orientação e confiança depositada no desenvolvimento deste trabalho, direcionando leituras e autores, assim como, proporcionando momentos de discussão intelectual durante nossos encontros. Além da amizade e atenção destinada ao longo destes anos, o meu mais sincero obrigado.

À minha amiga e colega, Raquel Silva, que me ajudou, apoiou e incentivou na realização deste trabalho principalmente durante a fase dos ensaios experimentais, e vivenciou os melhores e piores momentos ao meu lado. Aos meus colegas e amigos do departamento de engenharia estrutural: André, Carlos, Gustavo, Hélivio, João, Luiz, Magno, Meline, Murilo, Patrick, Rafael, Raquel e Ronaldo, entre tantos que participaram das horas de estudo, dos momentos de descontração, e a cada conversa com vocês era uma injeção de ânimo que me permitia continuar.

Aos funcionários do Laboratório de Estruturas e Materiais da PUC-Rio, Euclides, José Nilson, Rogério, Alex, Max e Carlos, pela colaboração e empenho durante a montagem e execução dos ensaios, e com muita atenção e amizade me auxiliaram a desenvolver este estudo proporcionando um excelente ambiente de trabalho. Ao professor Flávio pela amizade e contribuições na realização dos ensaios.

À empresa Metalfenas pelo serviço de fabricação dos perfis metálicos, e à empresa Periplásticos pelo fornecimento de espaçadores plásticos.

Ao CNPq pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa.

## Resumo

Ferrante, Cesar Augusto de Oliveira; Andrade, Sebastião Arthur Lopes (Orientador) **Estudo Teórico-Experimental do Comportamento à Flexão de Vigas Mistas com Perfil Assimétrico Parcialmente Embutido**. Rio de Janeiro, 2015. 139p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Nesta dissertação, foi desenvolvido um estudo teórico-experimental de um sistema pré-fabricado de vigamentos mistos de pisos de edificações. O modelo estrutural consiste em vigas mistas do tipo duplo T, onde as nervuras são constituídas por uma viga celular formada a partir de um perfil I laminado, parcialmente embutido na laje de concreto. Após a montagem das vigas-mistas na obra, é feito um capeamento de concreto armado para solidarização do conjunto. Uma grande vantagem deste sistema é proporcionar a integração do piso com o sistema de instalações prediais, por meio da passagem de dutos pelas aberturas do perfil metálico. São apresentados os detalhes do sistema construtivo, bem como as recomendações de projeto. Foi executada uma análise paramétrica para avaliação do comportamento estrutural em termos de eficiência estrutural, visando-se principalmente a redução de custos de fabricação e velocidade de montagem. Com base neste estudo, foi desenvolvido um programa experimental no Laboratório de Estruturas e Materiais da PUC-Rio, para análise do comportamento carga/deformação e da resistência última à flexão dos protótipos submetidos a um carregamento estático. Com os dados obtidos, fez-se uma comparação com os resultados previstos. Os resultados experimentais confirmaram as previsões de resistência fornecidas pelas recomendações de projeto.

## Palavras-chave

Vigas-mistas; sistemas construtivos pré-fabricados; perfis celulares assimétricos; experimentação estrutural.

## Abstract

Ferrante, Cesar Augusto de Oliveira; Andrade, Sebastião Arthur Lopes (Advisor) **Theoretical and Experimental Study of Flexural Behaviour of Composite Beams using Asymmetric Steel Section partially encased.** Rio de Janeiro, 2015. 139p. MSc. Dissertation – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

In this research, is present a theoretical and experimental study of the prefabricated composite beams system. The structural model consists of composite beams of double T type where the ribs are constituted by an asymmetric I-section cellular beam, partially embedded in the concrete slab. After installation of the beams in the work, it is made a reinforced concrete capping for solidarity assembly. A great advantage of this system is integrate the floor with the building installations system, by passing ducts through the openings of the metal profile. This dissertation presents the system with the general details of construction and design. A parametric analysis was performed to assess the structural behavior in terms of structural efficiency. It is mainly aimed at reducing manufacturing costs and speed of assembly. Based on this study, was developed an experimental program in the Structure and Materials Laboratory at PUC-Rio, to analyze the behavior load / deformation and ultimate flexural strength of prototypes subjected to a static loading. With the obtained data, a comparison is made with the expected results analytically. The experimental results confirmed the estimated strength given by the design recommendations.

## keywords

Composite beams; prefabricated systems; Asymmetric cellular steel section; structural testing.

# Sumário

<b>1 Introdução</b>	<b>21</b>
1.1. Contexto e Motivação	21
1.2. Revisão Bibliográfica	23
1.3. Objetivo	28
1.4. Apresentação e Organização da Dissertação	29
<b>2 Estudo da Arte</b>	<b>31</b>
2.1. Propriedade das Vigas Mistas	31
2.2. Comportamento Estrutural	32
2.3. Estado Limite de Serviço	35
2.4. Vigas Mistas Parcialmente Revestidas com Abertura na Alma	38
2.4.1. Critérios de Projeto	44
<b>3 Sistema Proposto de Vigas Mistas Pré-fabricadas</b>	<b>48</b>
3.1. Descrição do Sistema	48
3.2. Fabricação da Viga Mista	50
3.3. Vantagens e Desvantagens do Sistema	51
3.4. Modelo de Cálculo	53
3.4.1. Resistência ao Cisalhamento Vertical	53
3.4.2. Mecanismo de Transferência de Forças Horizontais	54
3.4.3. Resistência Última à Flexão	55
3.5. Estudo Paramétrico dos Resultados Teóricos	60
<b>4 Programa Experimental</b>	<b>66</b>
4.1. Parâmetros de Projeto	66
4.2. Fabricação das Vigas Metálicas	67
4.3. Descrição dos Modelos de Ensaio	69
4.3.1. Viga Mista 01	69
4.3.2. Viga Mista 02	71
4.4. Levantamento da Geometria dos Elementos Empregados nos	

Testes	73
4.5. Preparação dos Modelos em Escala Real	74
4.5.1. Montagem dos Perfis Celulares	75
4.5.2. Forma e Armadura	76
4.5.3. Concreto	78
4.5.4. Alterações Realizadas para o Ensaio 2	79
4.6. Caracterização dos Materiais	80
4.6.1. Concreto	80
4.6.2. Aço	81
4.7. Instrumentação	82
4.7.1. Instrumentação do Modelo VM-01	82
4.7.2. Instrumentação do Modelo VM-02	85
4.8. Sistema de Ensaio	86
4.8.1. Ensaio do Protótipo VM-01	86
4.8.2. Ensaio do Protótipo VM-02	89
<b>5 Resultados Experimentais</b>	<b>91</b>
5.1. Introdução	91
5.2. Resultados Experimentais do Teste 01	91
5.2.1. Comportamento Momento Fletor/Deslocamento no Centro do Vão	92
5.2.2. Comportamento e Fissuração	93
5.2.3. Interface Aço-concreto e Comportamento da Conexão entre os Materiais	94
5.2.4. Monitoramento das Tensões	95
5.3. Resultados Experimentais do Teste 02	97
5.3.1. Comportamento Momento Fletor/Deslocamento no Centro do Vão	98
5.3.2. Comportamento e Fissuração	100
5.3.3. Interface Aço-concreto e Comportamento da Conexão entre os Materiais	101
5.3.4. Monitoramento das Tensões	103
<b>6 Avaliação Teórica da Resistência</b>	<b>105</b>

6.1. Resistência da Seção com Abertura da Viga Mista	105
6.1.1. Modelo VM-01	106
6.1.2. Modelo VM-02	108
6.2. Carga Máxima Aplicada no Teste Experimental	110
6.2.1. Modelo VM-01	110
6.2.2. Modelo VM-02	111
6.3. Flecha	111
6.4. Resumo dos Resultados	112
6.5. Análise a Flexo-Tração	112
6.5.1. Modelo VM-01	112
6.5.2. Modelo VM-02	115
<b>7 Análise dos Resultados Teóricos e Experimentais</b>	<b>118</b>
7.1. Resistência	118
7.2. Deslocamentos	121
7.3. Inspeção dos Protótipos Após os Ensaios	122
<b>8 Considerações Finais e Conclusões</b>	<b>125</b>
8.1. Considerações Finais	125
8.2. Conclusões	126
8.2.1. Análise Experimental	126
8.2.2. Análise Comparativa Teórico-Experimental	128
8.3. Recomendações para Trabalhos Futuros	128
<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>130</b>
<b>Anexo A Modelagem das Vigas Mistas no Programa Ftool</b>	<b>135</b>

## Lista de Figuras

Figura 1.1 - Edifício One World Trade Center e detalhe da planta baixa de um dos seus pavimentos tipo (Fonte: One WTC).	22
Figura 1.2 - Sistema de vigas mistas proposto por Frangi et al. (2008).	25
Figura 1.3 - Vista conceitual do modelo proposto por Ju et al. (2009).	25
Figura 1.4 - Configuração dos três modelos ensaiados por Ju et al. (2009).	26
Figura 1.5 - Modelo representativo dos protótipos SCFB 1 e 2 do ensaio experimental conduzido por Chen et al. (2015).	28
Figura 2.1 - Tipos de vigas mistas (Fonte: Universidade de Coimbra)	32
Figura 2.2 - Interação aço-concreto em vigas mistas, David (2007).	33
Figura 2.3 - Classificação do tipo de vigas mistas quanto a interação aço-concreto, figura adaptada de Pfeil (2009).	34
Figura 2.4 - Distribuição de tensões longitudinais na laje considerando o efeito shear lag, (Alva & Malite, 2005).	35
Figura 2.5 - Tipos de Fissuras na laje de estruturas mistas, figura adaptada de Oehlers (1989).	37
Figura 2.6 - Mecanismo de ruptura por cisalhamento longitudinal, Oehlers (2010).	38
Figura 2.7 - Sistemas mistos utilizando perfis celulares incorporados à laje de concreto.	39
Figura 2.8 - Tipos de conexão entre aço-concreto para vigas mistas parcialmente embutidas, adaptada de Nardin et al. (2009).	40
Figura 2.9 - Forças que atuam na abertura de uma alma sob momento fletor positivo, adaptada de Darwin (1990).	41
Figura 2.10 - Diagrama de Interação momento-cisalhamento, adaptado de Darwin (1990).	42
Figura 2.11 - Modos de ruptura de vigas mistas com abertura na alma, Fahmy e Hassanein (2002).	43
Figura 2.12 - Armadura de reforço sobre uma abertura em viga mista, Veríssimo et al. (2012).	47
Figura 3.1 - Viga mista no formato duplo T.	48
Figura 3.2 - Montagem das vigas mistas em um edifício.	49
Figura 3.3 - Possibilidade de ligação entre a viga mista e a viga principal.	49
Figura 3.4 - Máquina corta laser (Fonte: Voortman).	50
Figura 3.5 - Perfil celular com chapa soldada no topo.	50

Figura 3.6 - Sistema de piso utilizando perfis celulares embutidos no concreto.	51
Figura 3.7 - Detalhe da passagem de dutos pelas aberturas na alma do perfil.	53
Figura 3.8 - Mecanismo de transferência de forças entre o aço e o concreto.	54
Figura 3.9 - Modelo de cálculo da viga mista quando a linha neutra plástica cai sobre a espessura da laje acima do perfil.	56
Figura 3.10 - Modelo de cálculo com linha neutra plástica atingindo a mesa do perfil metálico.	58
Figura 3.11 - Modelo de cálculo com linha neutra plástica sobre o concreto abaixo da mesa do perfil metálico.	59
Figura 3.12 - Dimensões proporcionalmente determinadas para uma viga castelada, adaptado de Grünbauer.	60
Figura 3.13 - Dimensões de uma viga mista com 1/2 Perfil W.	61
Figura 3.14 - Carregamento distribuído x Vão, variando a largura efetiva para cada perfil.	63
Figura 3.15 - Taxa de aço x Vão livre.	64
Figura 3.16 - Estudo da relação taxa de aço pelo momento resistente para cada vão da viga mista.	64
Figura 4.1 - Modelo do corte no perfil metálico.	67
Figura 4.2 - Vigas formadas a partir de um perfil W com chapa metálica soldada no topo da alma.	67
Figura 4.3 - Projeto de fabricação dos perfis celulares (dimensões em mm).	68
Figura 4.4 - Projeto de fabricação das vigas de apoio e elementos de ligação (dimensões em mm).	69
Figura 4.5 - Detalhamento das dimensões e posicionamento das armaduras no modelo VM-01 (dimensões em mm).	70
Figura 4.6 - Detalhe da ligação da VM-01 com a viga de apoio (dimensões em mm).	71
Figura 4.7 - Seção longitudinal do modelo VM-02 (dimensões em mm).	71
Figura 4.8 - Detalhamento das dimensões e posicionamento das armaduras no modelo VM-02, após as modificações (dimensões em mm).	72
Figura 4.9 - Modelo do apoio da viga VM-02 com a viga H e cantoneiras.	73
Figura 4.10 - Dimensão dos elementos: a) perfil celular; b) perfil U; c) laje de concreto; d) detalhe da abertura de alma.	73
Figura 4.11 - Vigas metálicas posicionadas no Laboratório de Estruturas da PUC-Rio.	75

Figura 4.12 – a) e b) Vigas montadas em baixo do pórtico de reação c) e d) detalhe dos aparelhos de apoio fixo e móvel, respectivamente.	75
Figura 4.13 - Ligação da Viga metálica com a viga de apoio.	76
Figura 4.14 – Detalhe da forma de madeira para a laje de concreto.	77
Figura 4.15 – Detalhes das armaduras transversais e da malha de aço posicionadas na forma.	77
Figura 4.16 - Realização do slump test.	78
Figura 4.17 - Concretagem das vigas mistas.	78
Figura 4.18 - Perfil U soldado na mesa inferior da viga mista VM-02.	79
Figura 4.19 - Detalhe do apoio do modelo 2.	79
Figura 4.20 - Corpos de prova a serem ensaiados aos 28 dias e corpo de prova após ensaio.	80
Figura 4.21 - Dimensões dos corpos-de-prova de aço ASTM A 572 (dimensões em mm).	81
Figura 4.22 - Corpos-de-prova do aço a) antes do ensaio e b) após o ensaio.	82
Figura 4.23 - Extensômetros nas mesas superior e inferior da VM-01.	83
Figura 4.24 - Posicionamento dos extensômetros na V-01.	83
Figura 4.25 - Transdutores de deslocamento posicionados: um vertical sobre cada apoio, um vertical no vão central e um horizontal em cada extremidade da viga.	84
Figura 4.26 - Posicionamento dos transdutores de deslocamento na viga VM-01 (dimensões em mm).	84
Figura 4.27 - Extensômetros na mesa superior e em um dos lados da mesa inferior e do perfil U da VM-02.	85
Figura 4.28 - Posicionamento dos extensômetros no perfil 2 e no perfil U.	85
Figura 4.29 - Posicionamento dos transdutores de deslocamento na viga VM-02 (dimensões em mm).	86
Figura 4.30 - Pórtico de reação e sistema de ensaio para o modelo VM-01.	86
Figura 4.31 - Lçamento do protótipo.	87
Figura 4.32 - Sistema de transmissão de cargas.	87
Figura 4.33 - Bomba hidráulica com sistema de controle de aplicação de carga.	88
Figura 4.34 - Sistema de aquisição de dados.	88
Figura 4.35 - Esquema do sistema de ensaio para a VM-01 (dimensões em mm).	89
Figura 4.36 - Esquema do sistema de ensaio para a VM-02 (dimensões em mm).	90

Figura 5.1 - Configuração do modelo VM-01 após ensaio.	91
Figura 5.2 - Resultados viga mista VM-01: Momento Fletor x Deslocamento vertical no meio do vão.	92
Figura 5.3 - Configuração das fissuras no modelo VM-01.	94
Figura 5.4 - Resultados viga mista VM-01: Momento Fletor x Deslizamento na interface aço-concreto.	95
Figura 5.5 - Posicionamento e identificação dos extensômetros no protótipo VM-01 (ver localização das seções A e B na Figura 4.24).	95
Figura 5.6 - Resultados do modelo VM-01: Momento Fletor x Deformação.	96
Figura 5.7 - Modelo VM-01: Momento Fletor x Tensão.	97
Figura 5.8 - Configuração do protótipo VM-02 após ensaio.	98
Figura 5.9 - Resultados viga mista VM-02: Momento Fletor x Deslocamento vertical no meio do vão.	99
Figura 5.10 – VM-02: Fissuras no meio do vão de ambos os lados da laje de concreto.	100
Figura 5.11 - VM-02: Fissuras na face superior da laje de concreto (a) e esmagamento do concreto na abertura próximo a alma do perfil metálico (b e c).	101
Figura 5.12 - Resultados viga mista VM-02: Momento Fletor x Deslizamento na interface aço-concreto.	102
Figura 5.13 - Modelo indicando a posição da ruptura da solda na viga VM-02 (dimensões em mm).	102
Figura 5.14 - Posicionamento e identificação dos extensômetros no protótipo VM-02 (ver localização das seções A, B e C na Figura 4.28).	103
Figura 5.15 - Resultados do modelo VM-02: Momento Fletor x Deformação.	103
Figura 5.16 - Modelo VM-02: Momento Fletor x Tensão.	104
Figura 6.1 - Dimensões e diagrama de distribuição de tensões elásticas para o protótipo VM-01.	106
Figura 6.2 - Dimensões e diagrama de distribuição de tensões limites para o protótipo VM-01.	107
Figura 6.3 - Dimensões e diagrama de distribuição de tensões elásticas para o protótipo VM-02.	108
Figura 6.4 - Dimensões e diagrama de distribuição de tensões limites para o protótipo VM-02.	109
Figura 6.5 - Esquema estático dos modelos.	110
Figura 6.6 - Modelo estrutural simplificado para o protótipo VM-01 (dimensões em mm).	113
Figura 6.7 - Diagrama de momento fletor (kN.m) e força axial (kN) do modelo estrutural para o protótipo VM-01.	114

Figura 6.8 - Modelo de cálculo para o tê inferior do perfil submetido à flexo-tração.	114
Figura 6.9 - Modelo estrutural simplificado para o protótipo VM-02 (dimensões em mm).	115
Figura 6.10 - Diagrama de momento fletor (kN.m) e força axial (kN) do modelo estrutural para o protótipo VM-02.	116
Figura 6.11 - Modelo de cálculo para o tê inferior e perfil U submetidos à flexo-tração.	117
Figura 7.1 - Flecha teórica e experimental.	121
Figura 7.2 - Ligação da VM-01 com o apoio após o ensaio.	122
Figura 7.3 - Inspeção da laje de concreto na região de abertura de alma próxima da extremidade da viga VM-02.	123
Figura 7.4 - Perfil celular V-01 após o ensaio.	124
Figura 7.5 - Perfil celular V-02 após o ensaio.	124

## Lista de Tabelas

Tabela 3.1 - Dimensões do Perfil	61
Tabela 3.2 - Propriedades do Perfil	61
Tabela 3.3 - Soluções mais eficientes para o vão necessário.	65
Tabela 4.1 - Dimensões medidas dos Perfis metálicos e da abertura na alma. (valores médios)	74
Tabela 4.2 - Dimensões medidas da laje de concreto. (valores médios)	74
Tabela 4.3 - Resistência à compressão do concreto.	80
Tabela 4.4 - Peso próprio da viga mista mais sistema de transmissão de carga.	89
Tabela 5.1 - Dados experimentais do modelo VM-01	93
Tabela 5.2 - Dados experimentais do modelo VM-02.	99
Tabela 6.1 - Propriedades dos modelos VM-01 e VM-02.	105
Tabela 6.2 - Dimensões do modelo VM-01	106
Tabela 6.3 - Dimensões do modelo VM-02.	108
Tabela 6.4 - Distância entre forças, resistência dos modelos e peso próprio.	110
Tabela 6.5 - Resultados teóricos.	112
Tabela 6.6 - Dados de entrada no modelo estrutural para a viga VM-01.	113
Tabela 6.7 - Propriedades do tê inferior do perfil.	114
Tabela 6.8 - Valores de momentos e forças de tração, resistente e solicitante, da viga mista VM-01.	115
Tabela 6.9 - Dados de entrada no modelo estrutural para a viga VM-02.	116
Tabela 6.10 - Propriedades do tê inferior e perfil U.	117
Tabela 6.11 - Valores de momentos e forças de tração, resistente e solicitante, da viga mista VM-02.	117
Tabela 7.1 - Momentos fletores resistentes teóricos e experimentais.	118
Tabela 7.2 - Relação entre momentos fletores resistentes, teóricos e experimentais.	119
Tabela 7.3 - Carregamento distribuído devido ao momento resistente último.	119
Tabela 7.4 - Esforço cortante teórico e experimental.	120
Tabela 7.5 - Deslocamentos teóricos e experimentais para um carregamento $2P = 40 \text{ kN}$ .	121

## Lista de Símbolos

### Letras Romanas Maiúsculas

$A_{cc}$	Área de cisalhamento da laje de concreto
$A_s$	Área da seção do perfil celular assimétrico
$A_{sb}$	Área da seção transversal do tê inferior do perfil celular
$A_{su}$	Área da seção transversal do perfil U
$A_w$	Área da alma do perfil celular na seção com abertura
$C_r$	Força resistente à compressão no perfil e na região de concreto adjacente em uma espessura $t_{fc}$
$C'_r$	Força fatorada de compressão no concreto acima do perfil
$C''_r$	Força de compressão na região de concreto abaixo da chapa de aço
$C_{rs}$	Força resistente à compressão na mesa superior do perfil e na região de concreto adjacente
$D$	Altura da viga castelada
$E_c$	Módulo de elasticidade do concreto
$E_s$	Módulo de elasticidade do aço
$I_c$	Momento de inércia da laje de concreto
$I_e$	Momento de inércia efetivo
$I_s$	Momento de inércia do perfil
$I_{sb}$	Momento de inércia do tê inferior do perfil celular
$I_{sb-u}$	Momento de inércia do tê do perfil + perfil U
$I_t$	Momento de inércia da viga mista
$L$	Vão
$L_{cc}$	Comprimento de cisalhamento da laje
$L_m$	Distância entre as seções de momento fletor máximo positivo e momento fletor nulo em vigas biapoiadas
$M_{bl} - M_{bh}$	Momento fletor secundário nas extremidades de maior e menor momento do tê inferior, respectivamente
$M_n$	Momento nominal

$M_{pl}$	Momento resistente último
$M_{Rd}$	Momento resistente de projeto
$M_{Re}$	Momento resistente de início de escoamento da viga mista
$M_s$	Momento fletor solicitante
$M_{tl} - M_{th}$	Momento fletor secundário nas extremidades de maior e menor momento do tê superior, respectivamente
$P$	Metade da carga aplicada por atuador
$P_b$	Força axial no tê inferior
$P_t$	Força axial no tê superior
$S$	Espaçamento mínimo entre aberturas
$T_r$	Força resistente à tração
$T_s$	Força solicitante à tração
$V_b$	Força cortante atuando no tê inferior numa abertura
$V_n$	Cisalhamento Nominal
$V_p$	É a força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento na viga sem abertura.
$V_{pl}$	É a força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento na seção da viga mista com abertura.
$V_{Rd}$	Força cortante resistente de cálculo
$V_{Sd}$	Força cortante solicitante
$V_t$	Força cortante atuando no tê superior numa abertura
$V_u$	Maior força cortante solicitante de cálculo no trecho entre os centros de duas aberturas adjacentes
$W$	Módulo de resistência elástico

### Letras Romanas Minúsculas

$a$	Altura da região comprimida da laje de concreto
$a_0$	Comprimento de uma abertura
$b_0$	Distância da extremidade do perfil celular até a borda da primeira abertura
$b_c$	Largura efetiva da laje de concreto
$b_{ef}$	Largura efetiva fictícia da laje de concreto em vigas mistas

$b_f$	Largura da mesa do perfil
$b_s$	Largura da mesa superior do perfil celular assimétrico
$c$	Taxa de aço
$d$	Altura total da seção de aço
$e$	Braço de alavanca
$f_{ck}$	Resistência característica à compressão do concreto
$f_{ckest}$	Valor estimado da resistência característica à compressão na idade especificada
$f_m$	Resistência média dos exemplares em cada idade
$f_y$	Resistência ao escoamento do perfil de aço
$f_u$	Resistência à ruptura
$g$	Peso próprio
$h$	Altura da alma do perfil na seção com abertura
$h_0$	Altura da abertura de alma
$h_c$	Altura total da laje de concreto
$n$	Relação modular
$p$	Fator de interação da seção mista
$q$	Carregamento distribuído
$t$	Espessura da região em compressão de concreto abaixo da chapa de aço
$t_0$	Espessura da laje de concreto de embutimento do perfil
$t_c$	Espessura efetiva da laje de concreto
$t_f$	Espessura da mesa inferior do perfil celular
$t_{fc}$	Espessura da mesa superior do perfil e de concreto submetidos a compressão
$t_s$	Espessura da mesa superior do perfil celular assimétrico
$t_w$	Espessura da alma do perfil
$y_m$	Distância do centro de gravidade da seção mista até a face superior da laje de concreto
$y_s$	Distância do centro de gravidade do perfil até a face inferior desse perfil
$y_{sb}$	Distância do centro de gravidade do tê inferior do perfil até a face inferior da viga mista

$y_{su}$	Distância do centro de gravidade do perfil U até a face inferior da viga mista
$y_{sb-u}$	Distância do centro de gravidade do tê inferior + perfil U até a face inferior da viga mista

### Letras Gregas

$\phi$	Coeficiente de resistência do aço
$\phi_c$	Coeficiente de resistência do concreto
$\gamma$	Coeficiente de ponderação para combinações normais
$\delta$	Deslocamentos verticais na fase elástica
$\sigma_c$	Tensão no concreto
$\sigma_s$	Tensão no aço

## **Lista de Abreviaturas**

ASB	Asymmetric Slimflor Beam
ASTM	American Society for Testing and Materials
CP's	Corpos de Prova
CSA	Canadian Standards Association
EUA	Estados Unidos da América
LNP	Linha Neutra Plástica
NBR	Norma Brasileira Registrada
PUC-Rio	Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro