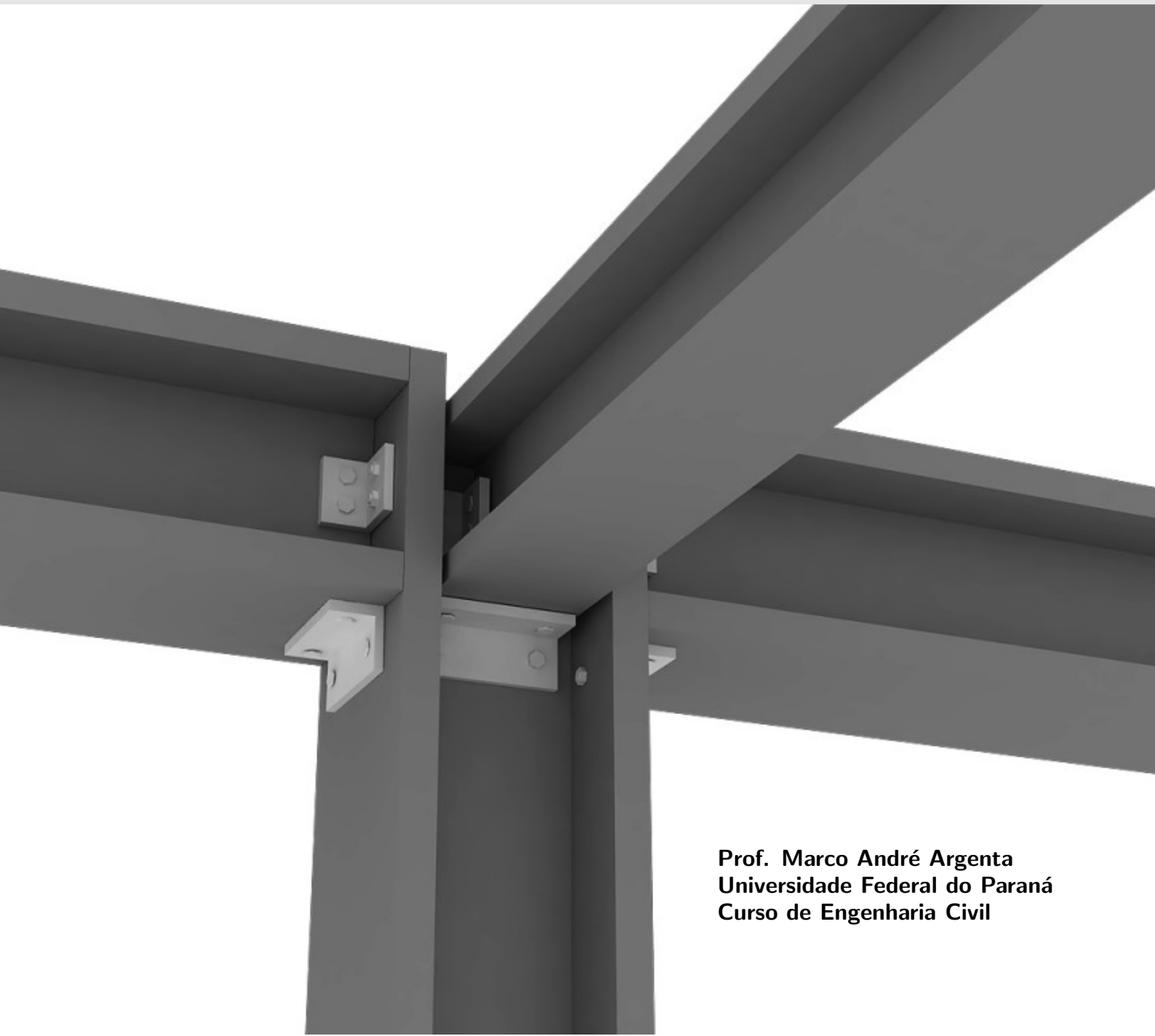


# **Notas de Aula de Estruturas Metálicas**



**Prof. Marco André Argenta  
Universidade Federal do Paraná  
Curso de Engenharia Civil**

## Agradecimentos

Agradeço à ajuda dos alunos dedicados da turma de Estruturas Metálicas de 2016-1, ano em que foi lançada a primeira versão destas notas de aula, pelas correções enviadas e sugestões de contexto.

Agradeço ao monitor Rodrigo Vilela Gorga pela ajuda no desenvolvimento do caderno de exercícios e pelo empenho e dedicação ao conteúdo da disciplina.

**”Todas as verdades são fáceis de entender uma vez descobertas. A questão é descobri-las”.**  
*Galileu Galilei*

<b>Agradecimentos</b>	<b>2</b>
<b>1 Definições Básicas</b>	<b>6</b>
1.1 Introdução	6
1.2 Fabricação de Aços Estruturais	6
1.3 Requisitos para aços estruturais e materiais de ligação	7
1.3.1 Aços Estruturais	7
1.3.2 Materiais de ligação	7
1.4 Produtos Siderúrgicos e Nomenclatura	8
1.4.1 Barras	8
1.4.2 Chapas	8
1.4.3 Perfis Laminados	8
1.4.4 Perfis Soldados	9
1.4.5 Perfis Dobrados	9
1.5 Características do Material Aço	9
1.5.1 Propriedades Mecânicas de Projeto	10
1.5.2 Ductilidade	10
1.5.3 Fragilidade	11
1.5.4 Resiliência	11
1.5.5 Tenacidade	11
1.5.6 Dureza	11
1.5.7 Fadiga	11
1.5.8 Temperatura	11
1.5.9 Corrosão	11
1.6 Valores Base de Resistências	11
1.6.1 Aços Estruturais	11
1.6.2 Parafusos	13
1.6.3 Eletrodos	13
<b>2 Ações e Estados Limites</b>	<b>14</b>
2.1 Ações	14
2.1.1 Ações Permanentes	14
2.1.2 Ações Variáveis	14
2.1.3 Ações Excepcionais	16
2.1.4 Valores das Ações	16
2.2 Estados Limites	17
2.2.1 Estado Limite Último - ELU	17
2.2.2 Estado Limite de Serviço - ELS	19
2.3 Resistências	20
2.4 Coeficientes de Ponderação e Fatores de Redução	20

2.4.1	Coeficientes de Ponderação de Ações . . . . .	20
2.4.2	Fatores de Combinação e de Redução . . . . .	22
2.4.3	Coeficientes de Ponderação de Resistências . . . . .	22
<b>3</b>	<b>Estabilidade e Análise Estrutural</b> . . . . .	<b>23</b>
3.1	Tipos de Análise Estrutural . . . . .	23
3.2	Classificação das estruturas quanto à sensibilidade a deslocamentos laterais . . . . .	24
3.3	Sistemas Resistentes a Ações Horizontais . . . . .	25
3.4	Exigências de projeto para a estabilidade das barras componentes da estrutura . . . . .	25
3.5	Considerações para o Dimensionamento . . . . .	26
<b>4</b>	<b>Barras prismáticas submetidas à força axial de tração</b> . . . . .	<b>31</b>
4.1	Condição de segurança . . . . .	31
4.2	Limitação do índice de esbeltez . . . . .	31
4.3	Força axial de tração resistente de cálculo - $N_{t,Rd}$ . . . . .	33
4.3.1	Área líquida - $A_e$ . . . . .	33
4.3.2	Área de cisalhamento da chapa ligada por pino - $A_{sf}$ . . . . .	35
4.3.3	Coeficiente de redução - $C_t$ . . . . .	36
<b>5</b>	<b>Barras prismáticas submetidas à força axial de compressão</b> . . . . .	<b>39</b>
5.1	Condição de segurança . . . . .	39
5.2	Limitação do índice de esbeltez . . . . .	39
5.3	Força axial de compressão resistente de cálculo - $N_{t,Rd}$ . . . . .	41
5.4	Flambagem Local de barras axialmente comprimidas . . . . .	41
5.4.1	Definições de $\lambda_e$ e $\lambda_{e,lim}$ . . . . .	42
5.4.2	Cálculo do coeficiente de redução para elementos AA - $Q_a$ . . . . .	44
5.4.3	Cálculo do coeficiente de redução para elementos AL - $Q_s$ . . . . .	45
5.4.4	Cálculo do coeficiente de redução para seções tubulares circulares - $Q_{tc}$ . . . . .	46
5.5	Flambagem Global de barras axialmente comprimidas . . . . .	47
5.5.1	Índice de esbeltez reduzido - $\lambda_0$ . . . . .	47
5.5.2	Força axial de flambagem elástica - $N_e$ . . . . .	47
5.5.3	Coeficiente de flambagem por flexão . . . . .	50
5.5.4	Coeficiente de flambagem por torção . . . . .	51
5.5.5	Comprimento de flambagem equivalente para cantoneiras conectadas por uma aba . . . . .	51
<b>6</b>	<b>Barras prismáticas submetidas à flexão</b> . . . . .	<b>53</b>
6.1	Condição de Segurança . . . . .	53
6.2	Limitações para o momento fletor resistente de cálculo . . . . .	53
6.3	Momento fletor resistente de cálculo - premissas . . . . .	54
6.3.1	Definição do momento de plastificação - $M_{pl}$ . . . . .	55
6.4	Momento fletor resistente de cálculo de vigas de alma não-esbelta . . . . .	55
6.4.1	Determinação do momento fletor resistente de cálculo . . . . .	56
6.5	Determinação do coeficiente $C_b$ . . . . .	64
<b>7</b>	<b>Barras prismáticas submetidas ao esforço cortante</b> . . . . .	<b>66</b>
7.1	Condição de Segurança . . . . .	66
7.2	Esforço cortante resistente de cálculo - $V_{Rd}$ . . . . .	66
7.2.1	Enrijecedores de alma . . . . .	69
7.3	Mesas e almas de perfis I e H submetidas a forças transversais localizadas . . . . .	70
7.3.1	Enrijecedores locais de alma . . . . .	73
7.4	Caso especial de cisalhamento: Seções tubulares circulares e retangulares submetidas exclusivamente à torção . . . . .	75

<b>8</b>	<b>Ligações Metálicas</b>	<b>76</b>
8.1	Requisitos e definições	77
8.1.1	Rigidez das ligações	77
8.1.2	Meios de ligação	79
8.1.3	Local de Execução	80
8.1.4	Resistência mínima de ligações	81
8.1.5	Barras transmitindo esforços por contato	81
8.1.6	Disposição de soldas e parafusos	82
8.1.7	Combinação de parafusos e soldas	82
8.1.8	Limitações de uso para ligações soldadas e parafusadas	82
8.1.9	Recortes de mesa de vigas para ligações e aberturas de acesso para soldagem	83
8.1.10	Fatiga Lamelar	83
<b>9</b>	<b>Ligações Parafusadas</b>	<b>84</b>
9.1	Tipos de ligações parafusadas	84
9.2	Tipos de parafusos	87
9.2.1	Aplicabilidade dos parafusos	87
9.3	Limitações e disposições construtivas	88
9.3.1	Conectores longos	88
9.3.2	Ligações de grande comprimento	88
9.3.3	Dimensões e uso de furos e arruelas	88
9.3.4	Espaçamento mínimo entre furos	90
9.3.5	Espaçamento máximo entre parafusos	90
9.3.6	Distância mínima de um furo às bordas	90
9.3.7	Distância máxima de um parafuso ou barra rosqueada às bordas	90
9.3.8	Região mínima sem pintura para ligações por atrito	91
9.4	Condições de segurança para ligações	91
9.4.1	Condições de segurança de ligações por contato	91
9.4.2	Condições de segurança de ligações por atrito	92
9.5	Resistências	92
9.5.1	Resistências dos parafusos	92
9.5.2	Resistência à pressão de contato do parafuso com a borda do furo	93
9.5.3	Resistência ao deslizamento na região de um parafuso	94
9.6	Efeito alavanca	95
9.7	Colapso por rasgamento	98
<b>10</b>	<b>Ligações Soldadas</b>	<b>99</b>
10.1	Processos de Soldagem	99
10.2	Compatibilidade e resistência dos eletrodos	102
10.3	Tipos de juntas soldadas	103
10.4	Tipos de solda	104
10.5	Simbologia	105
10.6	Solda de filete	106
10.6.1	Limitações e disposições construtivas	107
10.6.2	Resistências	108
10.7	Colapso por rasgamento	109