



Estruturas Metálicas

Ações e segurança nas estruturas

2016-1

Prof. Willian de Araujo Rosa, M.Sc.

Métodos de Cálculo

1- Projeto Estrutural e Normas

Os objetivos de um projeto estrutural são:

- Garantia de segurança - colapso
- Garantia de desempenho – grandes deslocamentos

Etapas de um projeto estrutural:

- Anteprojeto
- Dimensionamento
- Detalhamento

Regras e recomendações:

- Critérios de garantia de segurança
- Padrões de testes para caracterização de materiais
- Definição de carregamento
- Limites de tolerância para imperfeições na execução
- Regras construtivas etc.

Métodos de Cálculo

2- Estados Limites

Estados limites últimos:

- perda de equilíbrio como corpo rígido;
- plastificação total de um elemento estrutural;
- ruptura de uma ligação ou seção;
- flambagem em regime elástico ou não;
- ruptura por fadiga.

Métodos de Cálculo

2- Estados Limites

Estados limites de utilização:

- deformações excessivas;
- vibrações excessivas;

Métodos de Cálculo

3- Método das Tensões Admissíveis

Equação de conformidade para flexão:

$$\sigma_{\max} < \sigma_{\text{adm}} = \frac{f_{yk}}{\gamma}$$

O coeficiente de segurança γ significa que existem incertezas quanto:

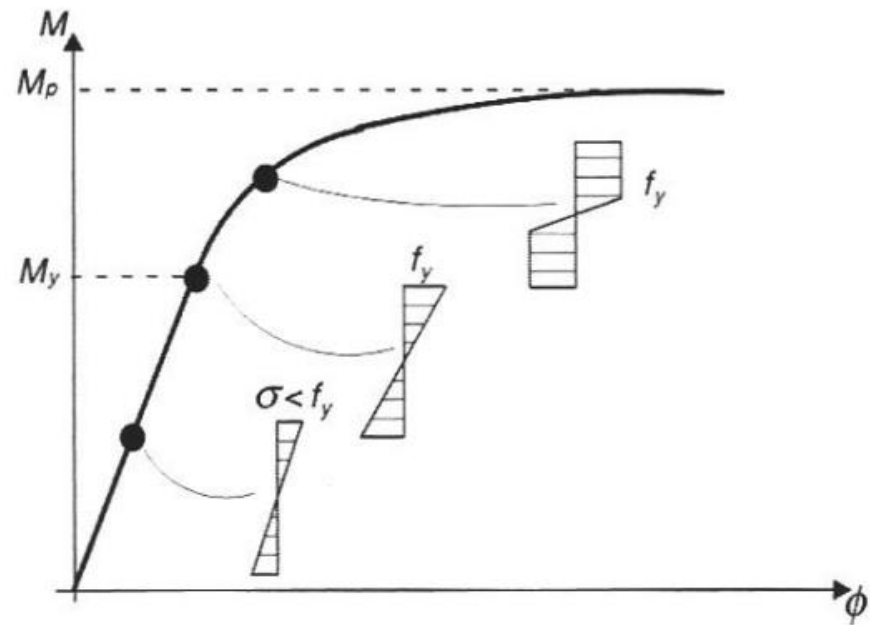
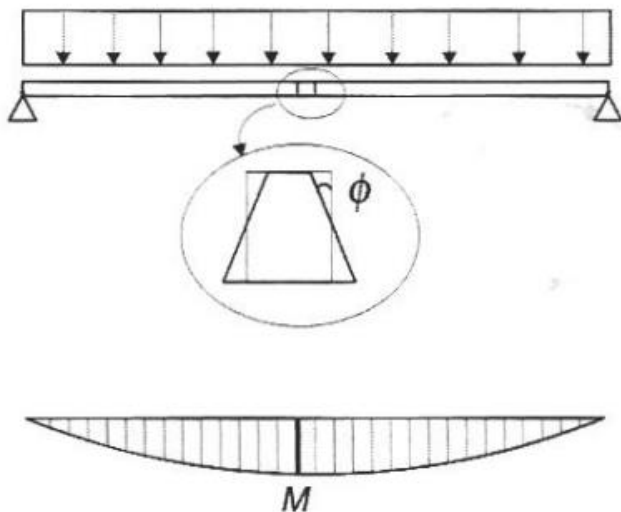
- à magnitude e distribuição do carregamento;
- às características mecânicas dos materiais;
- à modelagem estrutural;
- às imperfeições na execução da estrutura;

Métodos de Cálculo

4- Teoria Plástica de Dimensionamento das Seções

Equação de conformidade do método: $\gamma Q_{\text{serv}} < Q_u$

Onde γ é o coeficiente de segurança único aplicado às cargas de serviço Q_{serv} comparada a carga Q_u que produz colapso.



Métodos de Cálculo

5- Método dos Estados Limites

Equação de conformidade do método:

$$S_d = S \left(\sum \gamma_{fi} F_i \right) < R_d = R \left(\frac{f_k}{\gamma_m} \right)$$

Onde a solicitação de projeto S_d é menor que a resistência de projeto R_d .

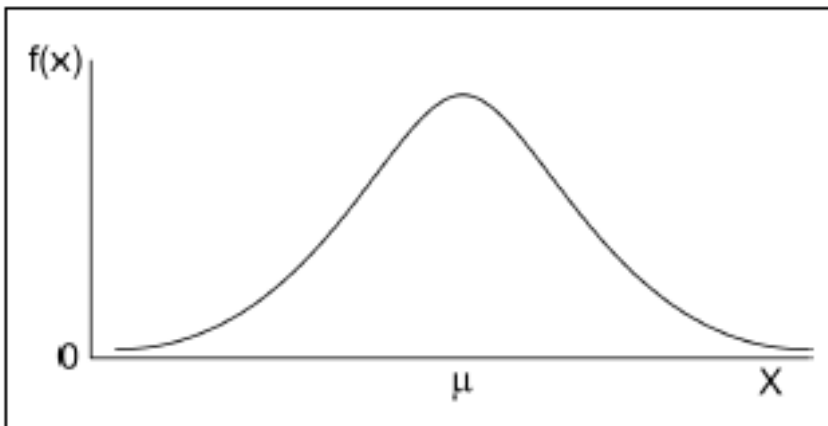
Métodos de Cálculo

5- Método dos Estados Limites

Ações: são cargas que atuam nas estruturas. Os valores de ações a serem utilizados no cálculo podem ser obtidos por dois processos:

- Critério estatístico;
- Critério determinístico.

Solicitações: são esforços oriundos de ações estáticas (elástica) ou quase-estáticas (inelástica).



$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

Métodos de Cálculo

5- Método dos Estados Limites

As normas brasileiras que se ocupam das cargas sobre as estruturas são:

- **NBR 6120** – Cargas para cálculo de estruturas de edificações;
- **NBR 6123** – Forças devidas ao vento em edificações;
- **NBR 7188** – Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestres.

As solicitações de projeto S_d podem ser representadas como combinações de solicitações S devidas às ações F_{ik} :

$$S_d = \sum \gamma_{f3} S [(\gamma_{f1} \cdot \gamma_{f2} \cdot F_{ik})]$$

Métodos de Cálculo

5- Método dos Estados Limites

Tipos de combinações de ações para verificações nos estados limites últimos:

- **Combinação normal**
- **Combinação de construção**
- **Combinação especial**
- **Combinação excepcional**

As combinações normais de ações para estados limites últimos são escritas em função de valores característicos das ações permanentes G e variáveis Q :

$$F_d = \sum \gamma_{gi} G_i + \gamma_{qi} Q_1 + \sum \gamma_{qj} \psi_{0j} Q_j$$

Tabela 1 — Valores dos coeficientes de ponderação das ações $\gamma_f = \gamma_{f1} \gamma_{f3}$

Combinações	Ações permanentes (γ_g) ^{a c}					
	Diretas					Indiretas
	Peso próprio de estruturas metálicas	Peso próprio de estruturas pré-moldadas	Peso próprio de estruturas moldadas no local e de elementos construtivos industrializados e empuxos permanentes	Peso próprio de elementos construtivos industrializados com adições <i>in loco</i>	Peso próprio de elementos construtivos em geral e equipamentos	
Normais	1,25 (1,00)	1,30 (1,00)	1,35 (1,00)	1,40 (1,00)	1,50 (1,00)	1,20 (0)
Especiais ou de construção	1,15 (1,00)	1,20 (1,00)	1,25 (1,00)	1,30 (1,00)	1,40 (1,00)	1,20 (0)
Excepcionais	1,10 (1,00)	1,15 (1,00)	1,15 (1,00)	1,20 (1,00)	1,30 (1,00)	0 (0)
	Ações variáveis (γ_q) ^{a d}					
	Efeito da temperatura ^b	Ação do vento	Ações truncadas ^e	Demais ações variáveis, incluindo as decorrentes do uso e ocupação		
Normais	1,20	1,40	1,20	1,50		
Especiais ou de construção	1,00	1,20	1,10	1,30		
Excepcionais	1,00	1,00	1,00	1,00		

Tabela 2 — Valores dos fatores de combinação ψ_0 e de redução ψ_1 e ψ_2 para as ações variáveis

Ações		γ_{f2}^a		
		ψ_0	ψ_1^d	ψ_2^e
Ações variáveis causadas pelo uso e ocupação	Locais em que não há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas ^{b)}	0,5	0,4	0,3
	Locais em que há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevadas concentrações de pessoas ^{c)}	0,7	0,6	0,4
	Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens e sobrecargas em coberturas (ver B.5.1)	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3
Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos	Passarelas de pedestres	0,6	0,4	0,3
	Vigas de rolamento de pontes rolantes	1,0	0,8	0,5
	Pilares e outros elementos ou subestruturas que suportam vigas de rolamento de pontes rolantes	0,7	0,6	0,4

Métodos de Cálculo

5- Método dos Estados Limites

A resistência de projeto R_d é igual à resistência última R_u dividida pelo coeficiente parcial de segurança γ_m :

$$R_d = \frac{R_u (f_k)}{\gamma_m}$$

Tabela 3 — Valores dos coeficientes de ponderação das resistências γ_m

Combinações	Aço estrutural ^a		Concreto γ_c	Aço das armaduras γ_s
	γ_a			
	Escoamento, flambagem e instabilidade γ_{a1}	Ruptura γ_{a2}		
Normais	1,10	1,35	1,40	1,15
Especiais ou de construção	1,10	1,35	1,20	1,15
Excepcionais	1,00	1,15	1,20	1,00

Tabela A.1 — Aços especificados por Normas Brasileiras para uso estrutural^a

ABNT NBR 7007			ABNT NBR 6648			ABNT NBR 6649 / ABNT NBR 6650		
Aços-carbono e microligados para uso estrutural e geral			Chapas grossas de aço-carbono para uso estrutural			Chapas finas (a frio/a quente) de aço-carbono para uso estrutural		
Denominação	f_y MPa	f_u MPa	Denominação	f_y MPa	f_u MPa	Denominação	f_y MPa	f_u MPa
MR 250	250	400-560	CG-26	255	410	CF-26	260/260	400/410
AR 350	350	450	CG-28	275	440	CF-28	280/280	440/440
AR 350 COR	350	485				CF-30	---/300	---/490
AR 415	415	520						
ABNT NBR 5000			ABNT NBR 5004			ABNT NBR 5008		
Chapas grossas de aço de baixa liga e alta resistência mecânica			Chapas finas de aço de baixa liga e alta resistência mecânica			Chapas grossas e bobinas grossas, de aço de baixa liga, resistentes à corrosão atmosférica, para uso estrutural		
Denominação	f_y MPa	f_u MPa	Denominação	f_y MPa	f_u MPa	Denominação	f_y MPa	f_u MPa
G-30	300	415	F-32/Q-32	310	410	CGR 400	250	380
G-35	345	450	F-35/Q-35	340	450			
G-42	415	520	Q-40	380	480	CGR 500 e		
G-45	450	550	Q-42	410	520	CGR 500A	370	490
			Q-45	450	550			
ABNT NBR 5920/ABNT NBR 5921			ABNT NBR 8261					
Chapas finas e bobinas finas (a frio/a quente), de aço de baixa liga, resistentes à corrosão atmosférica, para uso estrutural			Perfil tubular, de aço-carbono, formado a frio, com e sem costura, de seção circular ou retangular para usos estruturais					
Denominação	f_y MPa	f_u MPa	Denominação	Seção circular		Seções quadrada e retangular		
				f_y MPa	f_u MPa	f_y MPa	f_u MPa	
CFR 400	---/250	---/380	B	290	400	317	400	
CFR 500	310/370	450/490	C	317	427	345	427	