

# Introdução ao projeto e cálculo de estruturas de aço

*Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas*

# Filosofias de cálculo:

## Método dos Estados Limites

Projeto dos fatores de Carga (LRFD  
“Load & Resistance Factor Design”)

Neste método majoramos as cargas atuantes, e praticamente mantemos a resistência das peças

- ✓ Adotado pela NBR8800/08 desde sua primeira edição em 1986
- ✓ Adotaremos essa metodologia de trabalho

X

## Método das tensões admissíveis

Projeto pelas resistências admissíveis  
(ASD “Allowable strength Design”)

Neste método, mantemos as cargas e aplicamos fatores de redução na resistência das peças

- ✓ Adotado pelo AISC
- ✓ Gera resultados muito próximos ao LRFD.
- ✓ Em geral, usamos para pré-dimensionamento e ocasiões onde seja mais prático dimensionar por esse método

# MARGEM DE SEGURANÇA NO ASD

Exemplo: Peças Tracionadas no AISC 360 -05 possuem, além de outros, o Estado Limite de Escoamento da Seção Bruta

$$\sigma_{Adm} = \frac{F_y}{1,67}$$

Ou, Reescrevendo:

$$\sigma_{Adm} = 0,5988 \cdot F_y$$

# MARGEM DE SEGURANÇA NO LRFD

NO LRFD AS CARGAS SÃO MAJORADAS DE ACORDO COM A MARGEM  
PROBABILÍSTICA DE EXCEÇÕES

Suponha um tração de 100 kN, composta por:

10 kN de Peso Próprio de Estruturas Metálicas:  $10 \times 1,25 = 12,5$  kN

10 kN de Cargas Permanentes:  $10 \times 1,40 = 14$  kN

80 kN de Cargas Variáveis:  $80 \times 1,50 = 120$  kN

Tração majorada = 146,5    1,465 x maior que a tração real

$$\sigma_{Real} \cdot \gamma = \frac{F_y}{1,1} \rightarrow \sigma_{Real} \cdot 1,465 = \frac{F_y}{1,1} \rightarrow \sigma_{Real} = \frac{F_y}{1,1 \cdot 1,465} \rightarrow \sigma_{Real} = \frac{F_y}{1,61}$$

$$\sigma_{Real} = 0,62 \cdot F_y$$

# MARGEM DE SEGURANÇA NO LRFD

Suponha um tração de 100 kN, composta por:

40 kN de Peso Próprio de Estruturas Metálicas:  $40 \times 1,25 = 50$  kN

40 kN de Cargas Permanentes:  $40 \times 1,40 = 56$  kN

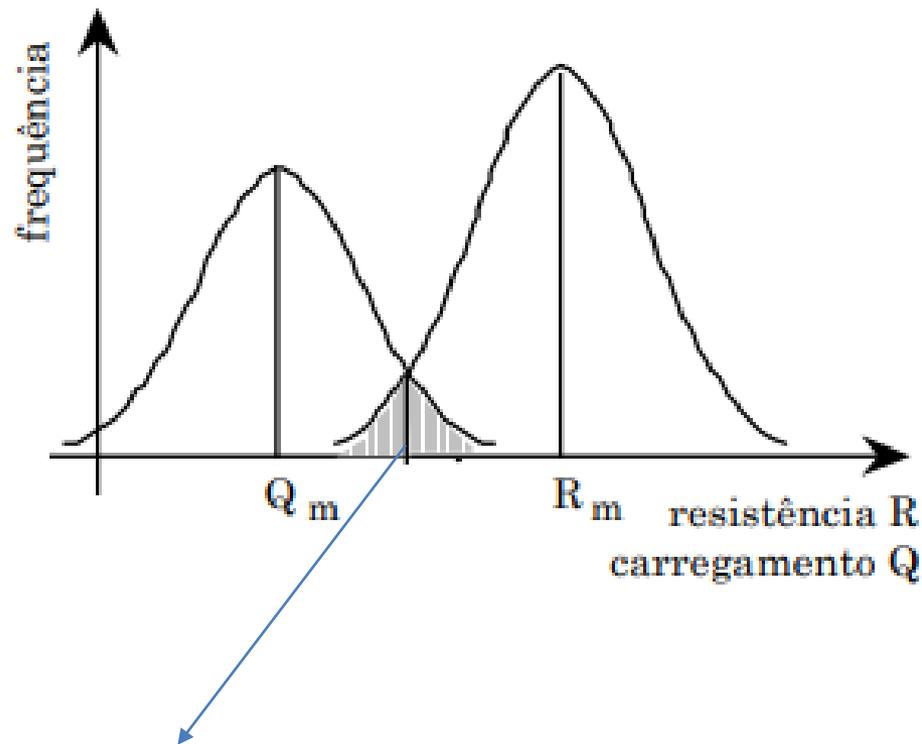
20 kN de Cargas Variáveis:  $20 \times 1,50 = 30$  kN

Tração majorada = 136 1,36 x maior que a tração real

$$\sigma_{Real} \cdot \gamma = \frac{F_y}{1,1} \rightarrow \sigma_{Real} \cdot 1,36 = \frac{F_y}{1,1} \rightarrow \sigma_{Real} = \frac{F_y}{1,1 \cdot 1,36} \rightarrow \sigma_{Real} = \frac{F_y}{1,496}$$

$$\sigma_{Real} = 0,67 \cdot F_y$$

# MARGEM DE SEGURANÇA NO LRFD



Probabilidade de ocorrência da ordem de  $10^{-5}$ , ou segurança de 99,9999%

# ESTADOS LIMITES:

## Estados Limites de Serviço (E.L.S)

X

## Estados Limites Últimos (E.L.U)

Estão relacionados ao uso e ocupação da edificação.

- ✓ Deformações em pisos ( $L/350$ )
- ✓ Deformações em vigas de cobertura
- ✓ Deslocamentos laterais máximos admitidos em um prédio de 15 andares
- ✓ Deslocamentos máximos admitidos em vigas que suportam pilares

Estão relacionados à resistência dos materiais empregados

- ✓ Deformações localizadas nos perfis
- ✓ Torções, deformações globais em peças
- ✓ Ruína de peças estruturais
- ✓ Fadiga, fratura, deslizamentos

# TIPOS DE CARGAS:

## CARGAS PERMANENTES

- ✓ Peso próprio da estrutura
- ✓ Peso de elementos fixos ligados à estrutura (Lajes, paredes, pisos, telhas, equipamentos fixos)

X

## CARGAS VARIÁVEIS

- ✓ Sobrecarga de uso e ocupação (conforme NBR6120)
- ✓ Cargas de Vento (Conforme NBR6123)

# Procedimentos de projeto pelo LRFD:

As resistências receberão um coeficiente de ponderação (Minoração), para absorver incertezas da resistência, e as cargas receberão um coeficiente de Ponderação (Majoração) para aborver as incertezas estatísticas das cargas adotadas

$$\sigma_{SD} \cdot \gamma_f \leq \frac{\sigma_u}{\gamma_a}$$

Tabela 3 — Valores dos coeficientes de ponderação das resistências  $\gamma_m$

Combinações	Aço estrutural <sup>a</sup>		Concreto $\gamma_c$	Aço das armaduras $\gamma_s$
	$\gamma_a$			
	Escoamento, flambagem e instabilidade $\gamma_{a1}$	Ruptura $\gamma_{a2}$		
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

<sup>a</sup> Inclui o aço de fôrma incorporada, usado nas lajes mistas de aço e concreto, de pinos e parafusos.

# Procedimentos de projeto pelo LRFD:

Fatores de Majoração a serem aplicados nas cargas

Tabela 1 — Valores dos coeficientes de ponderação das ações  $\gamma_f = \gamma_{f1} \gamma_{f2}$

Combinações	Ações permanentes ( $\gamma_p$ ) <sup>a c</sup>					
	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 ( $\gamma_v$ ) <sup>a d</sup>					
	Efeito da temperatura <sup>b</sup>	Ação do vento	Ações truncadas <sup>e</sup>	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		

# Procedimentos de projeto pelo LRFD:

- <sup>a</sup> Os valores entre parênteses correspondem aos coeficientes para as ações permanentes favoráveis à segurança; ações variáveis e excepcionais favoráveis à segurança não devem ser incluídas nas combinações.
- <sup>b</sup> O efeito de temperatura citado não inclui o gerado por equipamentos, o qual deve ser considerado ação decorrente do uso e ocupação da edificação.
- <sup>c</sup> Nas combinações normais, as ações permanentes diretas que não são favoráveis à segurança podem, opcionalmente, ser consideradas todas agrupadas, com coeficiente de ponderação igual a 1,35 quando as ações variáveis decorrentes do uso e ocupação forem superiores a  $5 \text{ kN/m}^2$ , ou 1,40 quando isso não ocorrer. Nas combinações especiais ou de construção, os coeficientes de ponderação são respectivamente 1,25 e 1,30, e nas combinações excepcionais, 1,15 e 1,20.
- <sup>d</sup> Nas combinações normais, se as ações permanentes diretas que não são favoráveis à segurança forem agrupadas, as ações variáveis que não são favoráveis à segurança podem, opcionalmente, ser consideradas também todas agrupadas, com coeficiente de ponderação igual a 1,50 quando as ações variáveis decorrentes do uso e ocupação forem superiores a  $5 \text{ kN/m}^2$ , ou 1,40 quando isso não ocorrer (mesmo nesse caso, o efeito da temperatura pode ser considerado isoladamente, com o seu próprio coeficiente de ponderação). Nas combinações especiais ou de construção, os coeficientes de ponderação são respectivamente 1,30 e 1,20, e nas combinações excepcionais, sempre 1,00.
- <sup>e</sup> Ações truncadas são consideradas ações variáveis cuja distribuição de máximos é truncada por um dispositivo físico, de modo que o valor dessa ação não possa superar o limite correspondente. O coeficiente de ponderação mostrado nesta Tabela se aplica a este valor-limite.

# Procedimentos de projeto pelo LRFD:

4º - Depois de aplicar os coeficientes, proceder com as combinações

**Combinações últimas normais (E.L.U) – Decorrem do uso previsto para edificação**

$$S_d = \boxed{\sum(\gamma_g \cdot F_G)} + \boxed{\gamma_q \cdot F_Q} + \boxed{\sum(\gamma_{qj} \cdot \Psi_{0j} \cdot F_{Qj})}$$

Soma das cargas permanentes multiplicado por seus respectivos fatores de ponderação

Soma das cargas Variáveis multiplicado por seus respectivos fatores de ponderação

Soma das cargas Variáveis multiplicado por seus respectivos fatores de ponderação e multiplicados novamente por seus respectivos fatores de combinação

# Procedimentos de projeto pelo LRFD:

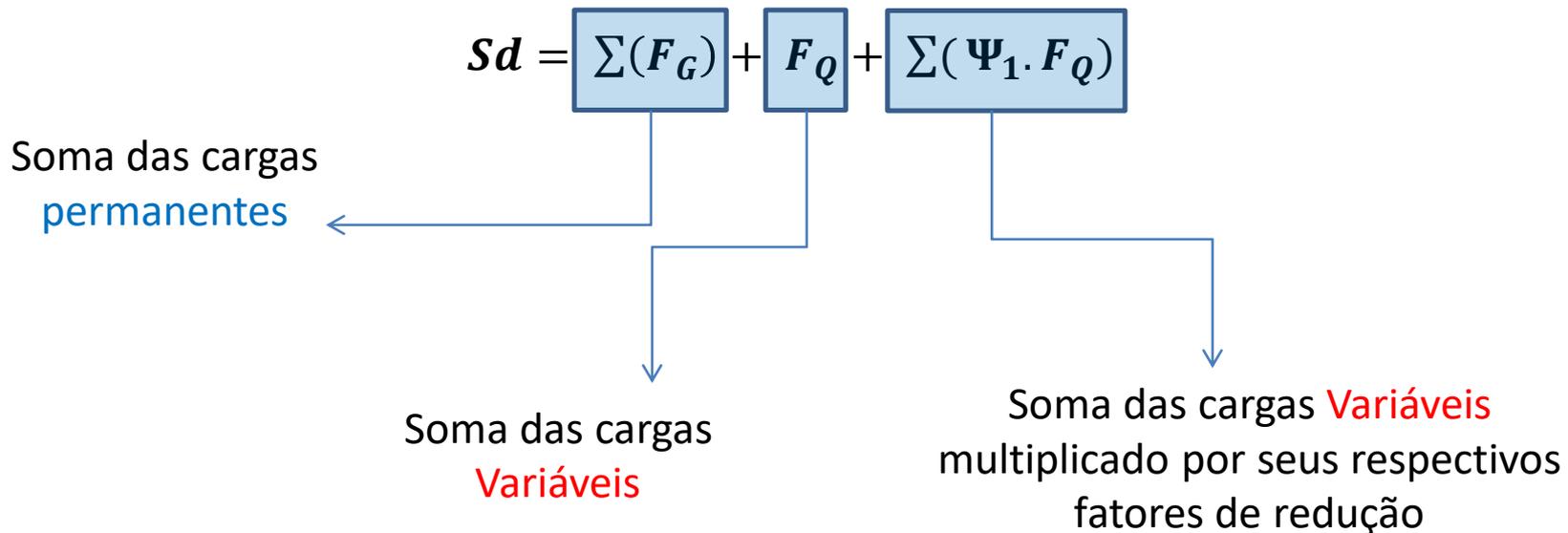
**Tabela 2 — Valores dos fatores de combinação  $\psi_0$  e de redução  $\psi_1$  e  $\psi_2$  para as ações variáveis**

Ações		$\gamma_{\Omega}^a$		
		$\psi_0$	$\psi_1^d$	$\psi_2^e$
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 <sup>b)</sup>	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 <sup>c)</sup>	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
<sup>a</sup> Ver alínea c) de 4.7.5.3. <sup>b</sup> Edificações residenciais de acesso restrito. <sup>c</sup> Edificações comerciais, de escritórios e de acesso público. <sup>d</sup> Para estado-limite de fadiga (ver Anexo K), usar $\psi_1$ igual a 1,0. <sup>e</sup> Para combinações excepcionais onde a ação principal for sismo, admite-se adotar para $\psi_2$ o valor zero.				

# Procedimentos de projeto pelo LRFD:

4º -Depois de aplicar os coeficientes, proceder com as combinações

**Combinações de Serviço (E.L.S) – Ocorrem praticamente durante toda a vida da estrutura.**



# Procedimentos de projeto pelo LRFD:

Exemplo:

**Uma viga de cobertura de um galpão está sujeita às seguintes cargas:**

## **Permanentes:**

Peso próprio da estrutura metálica: 0,72kN/m

Peso próprio das telhas sobre a viga: 0,36kN/m

## **Cargas Variáveis:**

Sobrecarga de cobertura (para baixo): 1,5 kN/m

Carga de Vento a 0° (para cima) 2,36kN/m

Carga de vento a 90° (para cima) 3,45 kN/m

PROCEDER COM AS COMBINAÇÕES

# Procedimentos de projeto pelo LRFD:

COMBINAÇÕES PARA ELS – NÃO SE APLICAM COEFICIENTES DE PONDERAÇÃO

Hipóteses possíveis:

Sempre teremos PP

Frequentemente podemos ter PP + SC

Frequentemente podemos ter PP + V0

Frequentemente podemos ter PP + V90

É possível acontecer PP+SC+0,3V0

É possível acontecer PP+SC+0,3V90

É possível acontecer PP+V0+0,7SC

É possível acontecer PP+V90+0,7SC

$$Q = (0,72+0,36) = 1,08 \text{ kN/m}$$

$$Q = (0,72+0,36) + 1,5 = 2,58 \text{ kN/m}$$

$$Q = (0,72+0,36) - 2,36 = -1,28 \text{ kN/m}$$

$$Q = (0,72+0,36) - 3,45 = -2,37 \text{ kN/m}$$

$$Q = (0,72+0,36)+1,5-0,3 \cdot 2,36 = 1,87 \text{ kN/m}$$

$$Q = (0,72+0,36)+1,5-0,3 \cdot 3,45 = 1,54 \text{ kN/m}$$

$$Q = (0,72+0,36)-2,36+0,7 \cdot 1,5 = -0,23 \text{ kN/m}$$

$$Q = (0,72+0,36)-3,45+0,7 \cdot 1,5 = -1,32 \text{ kN/m}$$

**A Combinação mais desfavorável para ELS se dá em PP+SC**

# Procedimentos de projeto pelo LRFD:

## COMBINAÇÕES PARA ELU (APLICAM-SE COEFICIENTES DE PONDERAÇÃO)

Hipóteses possíveis:

Sempre teremos PP

$$Q = (1,25 \cdot 0,72 + 1,4 \cdot 0,36) = 1,404 \text{ kN/m}$$

Frequentemente podemos ter PP + SC

$$Q = (1,25 \cdot 0,72 + 1,4 \cdot 0,36) + 1,5 \cdot 1,5 = 3,654 \text{ kN/m}$$

Frequentemente podemos ter PP + V0

$$Q = (1,25 \cdot 0,72 + 1,4 \cdot 0,36) - 1,4 \cdot 2,36 = -1,9 \text{ kN/m}$$

Frequentemente podemos ter PP + V90

$$Q = (1,25 \cdot 0,72 + 1,4 \cdot 0,36) - 1,4 \cdot 3,45 = -3,426 \text{ kN/m}$$

É possível acontecer PP+SC+ V0

$$Q = (1,25 \cdot 0,72 + 1,4 \cdot 0,36) + 1,5 \cdot 1,5 - (1,4 \cdot 0,6 \cdot 2,36) = 1,67 \text{ kN/m}$$

É possível acontecer PP+SC+ V90

$$Q = (1,25 \cdot 0,72 + 1,4 \cdot 0,36) + 1,5 \cdot 1,5 - (1,4 \cdot 0,6 \cdot 3,45) = 0,756 \text{ kN/m}$$

É possível acontecer PP+V0+ SC

$$Q = (1,25 \cdot 0,72 + 1,4 \cdot 0,36) - 1,4 \cdot 2,36 + 1,5 \cdot 0,8 \cdot 1,5 = -0,1 \text{ kN/m}$$

É possível acontecer PP+V90+ SC

$$Q = (1,25 \cdot 0,72 + 1,4 \cdot 0,36) - 1,4 \cdot 3,45 + 1,5 \cdot 0,8 \cdot 1,5 = -1,626 \text{ kN/m}$$

**A Combinação mais desfavorável para ELU se dá em PP+SC**

**Note que:**

**os coeficientes 1,4 x 0,6 resultam no fator de combinação 0,84 para cargas de vento**

**Os coeficiente 1,5 x 0,7 resultam no fator de combinação 1,05 para sobrecargas em coberturas**

# NA PRÁTICA

**E.L.S**

**Combinações:**

- a) **PP+SC**
- b) **PP+VENTO**

**E.L.U**

**Combinações:**

- a) **1,4PP+1,5SC**
- b) **PP+1,4VENTO**
- c) **1,4PP+1,5SC+0,84VENTO**

# Unidades usuais

Para facilitar a consulta às tabelas de perfis e programas de cálculo, utilizamos as seguintes unidades:

## **CARGAS E ESFORÇOS em kN.**

1,0 kN equivale a 100kg de carga, ou 0,1 toneladas (t)

## **Cargas distribuídas sobre superfície: kN/m<sup>2</sup>**

Para facilitar as consultas à norma NBR6120

## **Cargas Distribuídas linearmente sobre vigas: kN/cm**

Para facilitar os cálculos pois as propriedades geométricas são expressas em cm

## **Dimensões dos perfis e peças em mm**

Para facilitar a leitura quando for passar o cálculo para o projeto (desenho)

## **Momento Fletor em kN.cm**

Para facilitar a consulta a tabelas de resistência e fórmulas de maneira direta

## **Propriedades geométricas em cm**

Momento de Inércia (cm<sup>4</sup>)

Área de seção (cm<sup>2</sup>)

Raio de Giração (cm)

Módulo de resistência (cm<sup>3</sup>)

# Tabela de Sobrecargas (NBR6120)

Tabela 2 - Valores mínimos das cargas verticais

Local		Unid.: kN/m <sup>2</sup>
		Carga
1	Arquibancadas	4
2	Balcões	Mesma carga da peça com a qual se comunicam e as previstas em 2.2.1.5
3	Bancos	Escritórios e banheiros Salas de diretoria e de gerência
4	Bibliotecas	Sala de leitura Sala para depósito de livros
		Sala com estantes de livros a ser determinada em cada caso ou 2,5 kN/m <sup>2</sup> por metro de altura observado, porém o valor mínimo de
5	Casas de máquinas	(incluindo o peso das máquinas) a ser determinada em cada caso, porém com o valor mínimo de
6	Cinemas	Platéia com assentos fixos
		Estúdio e platéia com assentos móveis
		Banheiro
7	Clubes	Sala de refeições e de assembleia com assentos fixos
		Sala de assembleia com assentos móveis
		Salão de danças e salão de esportes
		Sala de bilhar e banheiro
8	Corredores	Com acesso ao público
		Sem acesso ao público
9	Cozinhas não residenciais	A ser determinada em cada caso, porém com o mínimo de
10	Depósitos	A ser determinada em cada caso e na falta de valores experimentais conforme o indicado em 2.2.1.3
11	Edifícios residenciais	Dormitórios, sala, copa, cozinha e banheiro
		Despensa, área de serviço e lavanderia
12	Escadas	Com acesso ao público (ver 2.2.1.7)
		Sem acesso ao público
13	Escolas	Anfiteatro com assentos fixos
		Corredor e sala de aula
		Outras salas
14	Escritórios	Salas de uso geral e banheiro
15	Forros	Sem acesso a pessoas
16	Galerias de arte	A ser determinada em cada caso, porém com o mínimo
17	Galerias de lojas	A ser determinada em cada caso, porém com o mínimo
18	Garagens e estacionamentos	Para veículos de passageiros ou semelhantes com carga máxima de 25 kN por veículo. Valores de $\phi$ indicados em 2.2.1.6
19	Ginásios de esportes	5

/continua

/continuação

Local		Carga
20	Hospitais	Dormitórios, enfermarias, sala de recuperação, sala de cirurgia, sala de raio X e banheiro
		Corredor
21	Laboratórios	Incluindo equipamentos, a ser determinado em cada caso, porém com o mínimo
22	Lavanderias	Incluindo equipamentos
23	Lojas	
24	Restaurantes	
25	Teatros	Palco
		Demais dependências: cargas iguais às especificadas para cinemas
26	Terraços	Sem acesso ao público
		Com acesso ao público
		Inacessível a pessoas
		Destinados a heliportos elevados: as cargas deverão ser fornecidas pelo órgão competente do Ministério da Aeronáutica
27	Vestíbulo	Sem acesso ao público
		Com acesso ao público

*Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas*

# Tabela de Densidades(NBR6120)

Tabela 1 - Peso específico dos materiais de construção

Materiais		Peso específico aparente (kN/m <sup>3</sup> )
1 Rochas	Arenito	26
	Basalto	30
	Gneiss	30
	Granito	28
	Mármore e calcáreo	28
2 Blocos artificiais	Blocos de argamassa	22
	Cimento amianto	20
	Lajotas cerâmicas	18
	Tijolos furados	13
	Tijolos maciços	18
Tijolos sílico-calcáreos	20	
3 Revestimentos e concretos	Argamassa de cal, cimento e areia	19
	Argamassa de cimento e areia	21
	Argamassa de gesso	12,5
	Concreto simples	24
	Concreto armado	25
4 Madeiras	Pinho, cedro	5
	Louro, imbuia, pau óleo	6,5
	Guajuvirá, guatambu, grápia	8
	Angico, cabriuva, ipê róseo	10
5 Metais	Aço	78,5
	Alumínio e ligas	28
	Bronze	85
	Chumbo	114
	Cobre	89
	Ferro fundido	72,5
	Estanho	74
	Latão	85
Zinco	72	
6 Materiais diversos	Alcatrão	12
	Asfalto	13
	Borracha	17
	Papel	15
	Plástico em folhas	21
	Vidro plano	26

# Exercícios Resolvidos

1 – Determinar as cargas solicitantes de projeto ( $S_d$ ), expressas em  $\text{kN/m}^2$  de um mezanino de uma loja de shopping, montada em estruturas de aço com peso próprio estimado em  $30\text{kg/m}^2$ , com piso de laje de concreto de vigotas e blocos cerâmicos H12, contrapiso de regularização de 3cm e piso de porcelanato espessura 1cm.

Passo 1- determinar as cargas Permanentes isoladamente.

**Peso da laje de concreto (G.laje):** consulta-se a tabela a seguir

Laje concretada			
LT	Tipo	Capa cerâmica	Peso
11	Laje H8	H6	185 $\text{Kg/m}^2$
12	Laje H10	H7	203 $\text{Kg/m}^2$
15	Laje H12	H10	237 $\text{Kg/m}^2$
20	Laje H16	H16	283 $\text{Kg/m}^2$
25	Laje H20	H20	354 $\text{Kg/m}^2$
30	Laje H25	H24	424 $\text{Kg/m}^2$

Valores aproximados.

$$G.laje = \frac{237\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Divide-se por 100 para  
Transformar em  $\text{kN/m}^2$

$$\mathbf{G.Laje = 2,37\text{kN/m}^2}$$

# Exercícios Resolvidos

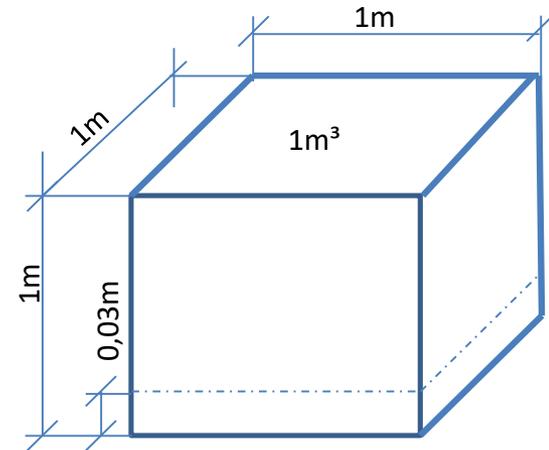
1 – Determinar as cargas solicitantes de projeto ( $S_d$ ), expressas em  $\text{kN/m}^2$  de um mezanino de uma loja de shopping, montada em estruturas de aço com peso próprio estimado em  $30\text{kg/m}^2$ , com piso de laje de concreto de vigotas e blocos cerâmicos H12, contrapiso de regularização de 3cm e piso de porcelanato espessura 1cm.

Passo 1- determinar as cargas Permanentes isoladamente.

**Peso do contrapiso de regularização: (P.Cp)** Argamassa de contrapisos é feita com uma argamassa de cimento e areia, cuja densidade é  $21\text{kN/m}^3$

Como nosso objetivo é descobrir o peso para cada  $1\text{m}^2$ , basta multiplicar o peso de  $1\text{m}^3$  pela espessura da capa de concreto em metros

**Portanto  $P.Cp = 21\text{kN/m}^3 \times 0,03\text{m} = 0,63 \text{ kN/m}^2$**



# Exercícios Resolvidos

1 – Determinar as cargas solicitantes de projeto (Sd), expressas em  $\text{kN/m}^2$  de um mezanino de uma loja de shopping, montada em estruturas de aço com peso próprio estimado em  $30\text{kg/m}^2$ , com piso de ~~laje de concreto de vigotas e blocos cerâmicos H12~~, ~~contrapiso de regularização de 3cm~~ e piso de porcelanato espessura 1cm.

O fabricante nos fornece o peso líquido por Udm (Unidade de medida, que no caso é  $\text{m}^2$ )

Passo 1- determinar as cargas Permanentes isoladamente.

$$P. Por = 21,93\text{kg/m}^2 = 0,2193\text{kN/m}^2$$

**Peso do Porcelanato: (P.Por)** Consulta ao site do fabricante Portobello, obtêm-se as informações:

Informações da Embalagem			
Unidade de Medida	M2	Peça/pallet mi	60
M2/caixa	1.610	Peça/pallet me	0
Peça/caixa	2	Caixa/pallet mi	30
Peso líquido/Udm	21.930	Caixa/pallet me	0
Peso bruto/Udm	22.360		
M2/pallet mi	48.300		
M2/pallet me	0.000		

# Exercícios Resolvidos

1 – Determinar as cargas solicitantes de projeto ( $S_d$ ), expressas em  $\text{kN/m}^2$  de um mezanino de uma loja de shopping, montada em estruturas de aço com peso próprio estimado em  $30\text{kg/m}^2$ , com piso de ~~laje de concreto de vigotas e blocos cerâmicos H12, contrapiso de regularização de 3cm e piso de porcelanato espessura 1cm.~~

Passo 1- determinar as cargas Permanentes isoladamente.

**Peso Próprio da estrutura:** Conversão direta de  $\text{kg/m}^2$  para  $\text{kN/m}^2$

$$P.\text{Est} = 30\text{kg/m}^2 = 0,30\text{kN/m}^2$$

# Exercícios Resolvidos

1 – Determinar as cargas solicitantes de projeto ( $S_d$ ), expressas em  $\text{kN/m}^2$  de um mezanino de uma loja de shopping, montada em estruturas de aço com ~~peso próprio estimado em  $30\text{kg/m}^2$~~ , com piso de ~~laje de concreto de vigotas e blocos cerâmicos H12~~, ~~contrapiso de regularização de 3cm~~ e ~~piso de porcelanato espessura 1cm~~.

Passo 2- determinar as cargas variáveis.

**De acordo com a NBR6120, a sobrecarga de projeto que deve ser adotada em lojas é  $4\text{kN/m}^2$**

**Portanto  $SC = 4\text{kN/m}^2$**

# Exercícios Resolvidos

1 – Determinar as cargas solicitantes de projeto ( $S_d$ ), expressas em  $\text{kN/m}^2$  de um mezanino de ~~uma loja de shopping~~, montada em estruturas de aço com ~~peso próprio estimado em  $30\text{kg/m}^2$~~ , com piso de ~~laje de concreto de vigotas e blocos cerâmicos H12~~, ~~contrapiso de regularização de 3cm~~ e ~~piso de porcelanato espessura 1cm~~.

Passo 3- Definir as solicitações para os Estados Limites de Serviço (E.L.S)

		E.L.S
<p>Soma das cargas permanentes</p>	<p>Soma das cargas Variáveis</p>	<p>Combinações:</p>
<p>P.Laje = <math>2,37\text{kN/m}^2</math> P.Cp = <math>0,63\text{ kN/m}^2</math> P.Por = <math>0,22\text{ kN/m}^2</math> P.Est = <math>0,30\text{ kN/m}^2</math> ----- Fg = <math>3,52\text{ kN/m}^2</math></p>	<p>Fq = <math>4\text{kN/m}^2</math></p>	<p>a) PP+SC b) PP+VENTO c) PP+SC+VENTO</p>
	<p><math>S_d = PP + SC = 3,52 + 4,0 = 7,52\text{ kN/m}^2</math></p>	
	<p>Usaremos essa carga para calcular as flechas (E.L.S)</p>	

# Exercícios Resolvidos

1 – Determinar as cargas solicitantes de projeto (Sd), expressas em kN/m<sup>2</sup> de um mezanino de ~~uma loja de shopping~~, montada em estruturas de aço com ~~peso próprio estimado em 30kg/m<sup>2</sup>~~, com piso de ~~laje de concreto de vigotas e blocos cerâmicos H12~~, ~~contrapiso de regularização de 3cm~~ e ~~piso de porcelanato espessura 1cm~~.

Passo 4- Definir as solicitações para os Estados Limites últimos(E.L.U)

Soma das cargas  
**permanentes**

$$P.Laje = 2,37\text{kN/m}^2 \times 1,35$$

$$P.Cp = 0,63 \text{ kN/m}^2 \times 1,35$$

$$P.Por = 0,22 \text{ kN/m}^2 \times 1,40$$

$$P.Est = 0,30 \text{ kN/m}^2 \times 1,25$$

-----  
 $PP = 4,73\text{kN/m}^2$

Soma das cargas  
**Variáveis**

$$SC = 1,5 \times 4\text{kN/m}^2$$

$$SC = 6\text{kN/m}^2$$

**E.L.U**

**Combinações:**

a)  $1,4 \cdot PP + 1,5 \cdot SC$

b)  $PP + 1,4 \cdot \text{VENTO}$

c)  $1,4PP + 1,5SC + 0,84\text{VENTO}$

$$Sd = PP + SC = 4,73 + 6 = 10,73\text{kN/m}^2$$

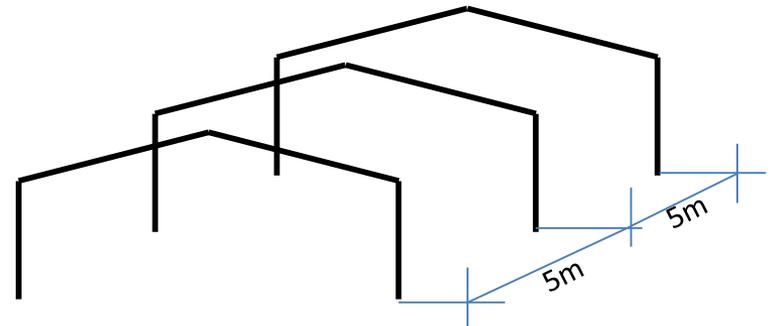
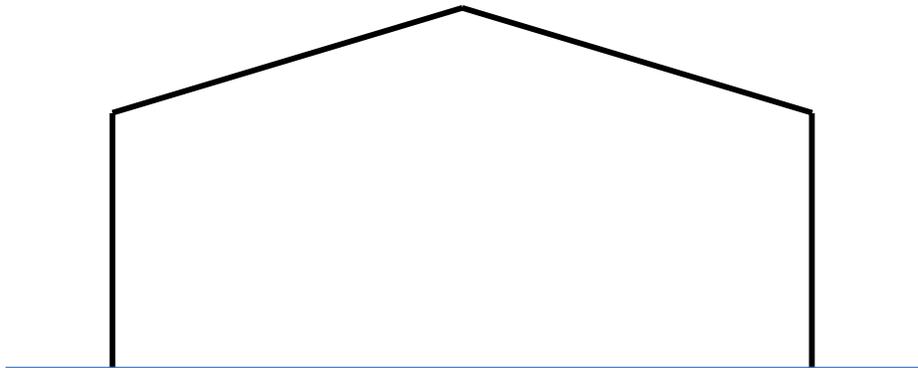
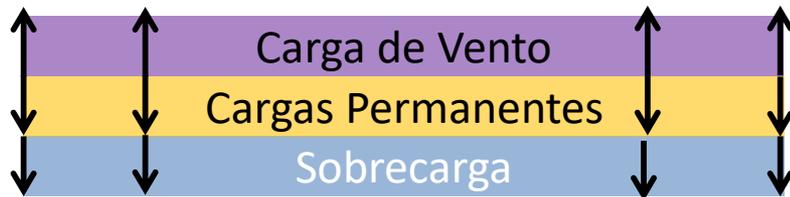
Usaremos essa carga para calcular as resistências das peças  
E.L.U

# Exercícios Resolvidos

2 – Determinar as cargas distribuídas linearmente, verticais, em um pórtico interno de galpão, coberto com telhas simples Trapézio 40 de espessura 0,43mm. A carga de vento distribuída superficialmente é conhecida e tem valor  $0,55 \text{ kN/m}^2$  de sucção na cobertura. Não há paredes, e o distanciamento entre pórticos é de 5m.

O peso estimado da estrutura da cobertura apoiada sobre o pórtico é  $6 \text{ kg/m}^2$ .

O peso estimado da viga do pórtico é  $32 \text{ kg/m}$



# Exercícios Resolvidos

2 – Determinar as cargas distribuídas linearmente, verticais, em um pórtico interno de galpão, coberto com telhas simples Trapézio 40 de espessura 0,43mm A carga de vento distribuída superficialmente é conhecida e tem valor 0,55 kN/m<sup>2</sup> de sucção na cobertura. Não há paredes, e o distanciamento entre pórticos é de 5m. O peso estimado da estrutura da cobertura apoiada sobre o pórtico é 6kg/m<sup>2</sup>. O peso estimado da viga do pórtico é 32kg/m

## Passo 1: determinar as carga permanentes, distribuídas sobre a superfície isoladamente

$$P.Telhas = 0,0417\text{kN/m}^2$$

TELHA TRAPEZOIDAL 40 - Conforme Norma NBR 14514

Tabela de Cargas Admissíveis (kgf/m<sup>2</sup>) - Telhas revestidas com Zn

Esp. (mm)	Peso* (kg/m <sup>2</sup> )	Peso (kg/ml)	I (cm <sup>4</sup> /m)	W (cm <sup>3</sup> /m)	Nº de apoios	Distância entre Apoios (mm)											
						1750		2000		2250		2500		2750		3000	
						F	C	F	C	F	C	F	C	F	C	F	C
0,43	4,17	4,13	10,4898	3,746	2	137	137	105	105	83	74	67	54	56	41	47	31
					3	137	137	105	105	83	83	67	67	56	56	47	47
					4	171	171	131	131	104	104	84	84	69	69	58	58
0,50	4,85	4,80	12,1631	4,344	2	159	159	122	122	96	86	78	63	64	47	54	36
					3	159	159	122	122	96	96	78	78	64	64	54	54
					4	199	199	152	152	120	120	97	97	80	80	68	68
0,65	6,30	6,24	15,7169	5,613	2	205	205	157	157	124	111	100	81	83	61	70	47
					3	205	205	157	157	124	124	100	100	83	83	70	70
					4	256	256	196	196	155	155	126	126	104	104	87	87
0,80	7,76	7,68	19,2278	6,867	2	251	251	192	192	152	136	123	99	102	75	85	58
					3	251	251	192	192	152	152	123	123	102	102	85	85
					4	314	314	240	240	190	190	154	154	127	127	107	107
0,95	9,21	9,12	22,6961	8,106	2	296	296	227	227	179	161	145	117	120	88	101	68
					3	296	296	227	227	179	179	145	145	120	120	101	101
					4	370	370	284	284	224	224	182	182	150	150	126	126
1,25	12,12	12,00	29,5074	10,538	2	385	385	295	295	233	209	189	153	156	114	131	88
					3	385	385	295	295	233	233	189	189	156	156	131	131
					4	482	482	369	369	291	291	236	236	195	195	164	164

\* = Incluindo sobreposição (Larg. útil de 980 mm)

F - Fechamento

C - Cobertura

NOTA: A flecha máxima admissível é de 300 mm.

Valores obtidos para cobertura e fechamento obedecendo ao menor valor nos seguintes critérios:

- Flecha máxima L/200 para cobertura e L/125 para fechamento (L - vão entre terças) ou tensão máxima admissível de 1400 kgf/cm<sup>2</sup>.

# Exercícios Resolvidos

2 – Determinar as cargas distribuídas linearmente, verticais, em um pórtico interno de galpão, coberto com telhas simples Trapézio 40 de espessura 0,43mm A carga de vento distribuída superficialmente é conhecida e tem valor 0,55 kN/m<sup>2</sup> de sucção na cobertura. Não há paredes, e o distanciamento entre pórticos é de 5m. O peso estimado da estrutura da cobertura apoiada sobre o pórtico é 6kg/m<sup>2</sup>. O peso estimado da viga do pórtico é 32kg/m

**Passo 1: determinar as carga permanentes, distribuídas sobre a superfície isoladamente**

P.Cob = Conversão Direta:  $6\text{kg/m}^2 = 0,06\text{kN/m}^2$

**IMPORTANTE:** Por enquanto vamos deixar de lado a carga linear distribuída sobre o pórtico

# Exercícios Resolvidos

2 – Determinar as cargas distribuídas linearmente, verticais, em um pórtico interno de galpão, coberto com telhas simples Trapézio 40 de espessura 0,43mm A carga de vento distribuída superficialmente é conhecida e tem valor 0,55 kN/m<sup>2</sup> de sucção na cobertura. Não há paredes, e o distanciamento entre pórticos é de 5m. O peso estimado da estrutura da cobertura apoiada sobre o pórtico é 6kg/m<sup>2</sup>. O peso estimado da viga do pórtico é 32kg/m

**Passo 2: determinar as carga variáveis distribuídas superficialmente sobre a cobertura:**

**Sobrecarga de cobertura – Texto específico da Norma NBR8800/08**

## **B.5 Sobrecarga em coberturas**

### **B.5.1 Coberturas comuns**

Nas coberturas comuns (telhados), na ausência de especificação mais rigorosa, deve ser prevista uma sobrecarga característica mínima de 0,25 kN/m<sup>2</sup>, em projeção horizontal. Admite-se que essa sobrecarga englobe as cargas decorrentes de instalações elétricas e hidráulicas, de isolamentos térmico e acústico e de pequenas peças eventualmente fixadas na cobertura, até um limite superior de 0,05 kN/m<sup>2</sup>.

### **B.5.2 Casos especiais**

Em casos especiais, a sobrecarga na cobertura deve ser determinada de acordo com sua finalidade, porém com um valor mínimo igual ao especificado em B.5.1.

**Portanto SC = 0,25kN/m<sup>2</sup> A CARGA DE VENTO JÁ É CONHECIDA: CV= 0,55kN/m<sup>2</sup>**

*Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas*

# Exercícios Resolvidos

2 – Determinar as cargas distribuídas linearmente, verticais, em um pórtico interno de galpão, coberto com telhas simples Trapézio 40 de espessura 0,43mm A carga de vento distribuída superficialmente é conhecida e tem valor 0,55 kN/m<sup>2</sup> de sucção na cobertura. Não há paredes, e o distanciamento entre pórticos é de 5m. O peso estimado da estrutura da cobertura apoiada sobre o pórtico é 6kg/m<sup>2</sup>. O peso estimado da viga do pórtico é 32kg/m

## Passo 3: Determinar as solicitações para Estados Limites de Serviço

Soma das cargas  
permanentes

$$P.\text{telhas} = 0,047\text{kN/m}^2$$

$$P.\text{Cob} = 0,06 \text{ kN/m}^2$$

-----

$$PP \text{ (parcial)} = 0,107\text{kN/m}^2$$

$$PP \text{ da viga: } 0,32\text{kN/m}$$

Soma das cargas  
Variáveis

$$SC = 0,25\text{kN/m}^2$$

$$CV = 0,55\text{kN/m}^2$$

PRECISAMOS  
TRANSFORMAR  
ESSAS CARGAS  
ESPACIAIS EM  
CARGAS LINEARES

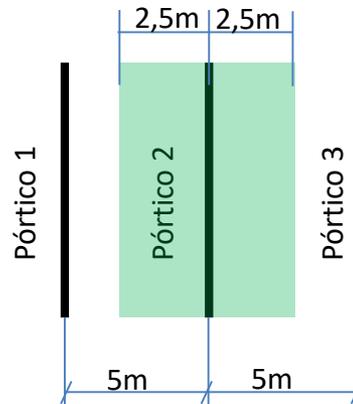
# Exercícios Resolvidos

2 – Determinar as cargas distribuídas linearmente, verticais, em um pórtico interno de galpão, coberto com telhas simples Trapézio 40 de espessura 0,43mm. A carga de vento distribuída superficialmente é conhecida e tem valor  $0,55 \text{ kN/m}^2$  de sucção na cobertura. Não há paredes, e o distanciamento entre pórticos é de 5m. O peso estimado da estrutura da cobertura apoiada sobre o pórtico é  $6 \text{ kg/m}^2$ . O peso estimado da viga do pórtico é  $32 \text{ kg/m}$ .

## Passo 3: Determinar as solicitações para Estados Limites de Serviço

Galpão visto por cima

A Área de influência mede 5m, portanto devemos multiplicar as cargas espaciais por 5m para extrair as cargas lineares



# Exercícios Resolvidos

2 – Determinar as cargas distribuídas linearmente, verticais, em um pórtico interno de galpão, coberto com telhas simples Trapézio 40 de espessura 0,43mm A carga de vento distribuída superficialmente é conhecida e tem valor 0,55 kN/m<sup>2</sup> de sucção na cobertura. Não há paredes, e o distanciamento entre pórticos é de 5m. O peso estimado da estrutura da cobertura apoiada sobre o pórtico é 6kg/m<sup>2</sup>. O peso estimado da viga do pórtico é 32kg/m

## Passo 3: Determinar as solicitações para Estados Limites de Serviço

Soma das cargas  
permanentes

$$P_{\text{telhas}} = 0,0417 \text{ kN/m}^2 \times 5 \text{ m} = 0,208 \text{ kN/m}$$

$$P_{\text{Cob}} = 0,06 \text{ kN/m}^2 \times 5 \text{ m} = 0,3 \text{ kN/m}$$

$$\text{PP da viga: } 0,32 \text{ kN/m}$$

---

$$\text{PP} = 0,828 \text{ kN/m}$$

Cargas Variáveis

$$\text{SC} = 0,25 \text{ kN/m}^2 \times 5 \text{ m} = 1,25 \text{ kN/m}$$

$$\text{CV} = 0,55 \text{ kN/m}^2 \times 5 \text{ m} = 2,75 \text{ kN/m}$$

E.L.S

Combinações:

a) PP+SC

b) PP+VENTO

c) PP+SC+0,3VENTO

$$\text{a) } \text{PP} + \text{SC} = 0,828 + 1,25 = 2,07 \text{ kN/m}$$

$$\text{b) } \text{PP} + \text{VENTO} = 0,828 + (-2,75) = -1,922 \text{ kN/m}$$

$$\text{c) } \text{PP} + \text{SC} + \text{VENTO} = 0,828 + 1,25 - 0,3 \cdot 2,75 = 1,25 \text{ kN/m}$$

O Caso mais desfavorável para verificação de E.L.S é o caso a. porém, posteriormente veremos que devemos usar o caso b para um dupla verificação da flecha na cobertura

# Exercícios Resolvidos

2 – Determinar as cargas distribuídas linearmente, verticais, em um pórtico interno de galpão, coberto com telhas simples Trapézio 40 de espessura 0,43mm A carga de vento distribuída superficialmente é conhecida e tem valor 0,55 kN/m<sup>2</sup> de sucção na cobertura. Não há paredes, e o distanciamento entre pórticos é de 5m. O peso estimado da estrutura da cobertura apoiada sobre o pórtico é 6kg/m<sup>2</sup>. O peso estimado da viga do pórtico é 32kg/m

## Passo 4: Determinar as solicitações para Estados Limites Últimos

Soma das cargas  
permanentes

$$P_{\text{telhas}} = 0,235 \text{ kN/m} \times 1,4 = 0,329 \text{ kN/m}$$

$$P_{\text{Cob}} = 0,3 \text{ kN/m} \times 1,25 = 0,375 \text{ kN/m}$$

$$\text{PP da viga: } 0,32 \text{ kN/m} \times 1,25 = 0,4 \text{ kN/m}$$

---

$$\text{PP} = 1,104 \text{ kN/m}$$

Cargas Variáveis

$$1,5 \cdot \text{SC} = 1,875 \text{ kN/m}$$

$$1,4 \cdot \text{CV} = 3,85 \text{ kN/m}$$

$$0,84 \cdot \text{CV} = 2,31 \text{ kN/m}$$

E.L.U

Combinações:

a) **1,4.PP+1,5.SC**

b) **PP+1,4.VENTO**

c) **1,4.PP+1,5.SC+0,84.VENTO**

a)  $1,4\text{PP} + 1,5 \cdot \text{SC} = 1,104 + 1,875 = 2,979 \text{ kN/m}$

b)  $\text{PP} + 1,4\text{VENTO} = 0,828 - 3,85 = -3,022 \text{ kN/m}$

c)  $1,4\text{PP} + 1,5\text{SC} + 0,84\text{VENTO} = 1,104 + 1,875 - 2,31 = 0,669 \text{ kN}$

O Caso mais desfavorável para verificação de E.L.U é o caso b.