



**Universidade Presbiteriana
Mackenzie**

ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL

Capítulo VI

Ações e suas combinações
em estados limites, segundo
a norma NBR 8681:2003

Disciplina: Estruturas de Madeira
Prof. Dr. Celso Antonio Abrantes
2015 - 2º Semestre



Universidade São Judas Tadeu

ENGENHARIA CIVIL

Capítulo VI

Ações e suas combinações em estados limites, segundo a norma NBR 8681:2003

Disciplina: Estruturas de Madeira e Metálicas
Prof. Dr. Celso Antonio Abrantes
2015 - 2º Semestre

Ações e suas combinações em estados limites

Estudo das Ações nas Estruturas

1. Introdução:

A Norma NBR 8681:2003 tem por objetivo fixar requisitos exigíveis na verificação da segurança das estruturas usuais da construção civil e estabelecer as definições e os critérios de quantificação das ações e das resistências a serem consideradas no projeto das estruturas de edificações, quaisquer que sejam sua classe e destino, salvo os casos previstos em normas brasileiras específicas. Tais critérios de verificação da segurança e quantificação das ações adotadas são aplicáveis às estruturas e às peças estruturais construídas com quaisquer dos materiais usualmente empregados na construção civil.

Nota: As definições abaixo foram transcritas da NBR 8681/2003

2. Definições:

- 2.1 **estados limites de uma estrutura:** Estados a partir dos quais a estrutura apresenta desempenho inadequado às finalidades da construção.
- 2.2 **estados limites últimos:** Estados que, pela sua simples ocorrência, determinam a paralisação, no todo ou em parte, do uso da construção.
- 2.3 **estados limites de serviço:** Estados que, por sua ocorrência, repetição ou duração, causam efeitos estruturais que não respeitam as condições especificadas para o uso normal da construção, ou são indícios de comprometimento da durabilidade da estrutura.

3. Ações:

- 3.1 **Definição:** ações são as causas que provocam esforços ou deformações nas estruturas, podendo ser diretas ou indiretas.
 - 3.1.1 **Ações diretas:** forças que provocam as deformações;
 - 3.1.2 **Ações indiretas:** deformações impostas.
- 3.2 **Ações permanentes (G):** Ações que ocorrem com valores constantes ou de pequena variação em torno de sua média, durante praticamente toda a vida da construção.

3.2.1 Ações permanentes diretas: pesos próprios das estruturas e dos elementos da construção, pesos dos equipamentos fixos, empuxos de terras não removíveis, etc.

3.2.2. Ações permanentes indiretas: aquelas geradas por deformações impostas ou não, do tipo protensão, recalque de apoio ou retração dos materiais.

3.3 Ações variáveis (Q): Ações que ocorrem com valores que apresentam variações significativas em torno de sua média, durante a vida da construção. Consideram-se como ações variáveis as cargas acidentais das construções, as pressões hidrostáticas e hidrodinâmicas, bem como efeitos de força de frenagem, de força de impacto, de força de centrífuga, de força de vento, de variação térmica, de atrito de aparelho de apoio, etc.

3.3.1 Ações variáveis normais: são as ações variáveis com probabilidade de ocorrência suficientemente grande para que sejam obrigatoriamente consideradas no projeto das estruturas de um dado tipo de construção;

3.3.2 Ações variáveis especiais: são as ações variáveis com probabilidade de ocorrência muito pequena mas que devem obrigatoriamente ser consideradas no projeto de estrutura de um dado tipo de construção.

3.4 Ações excepcionais (E): são as ações que têm duração extremamente curta e muito baixa probabilidade de ocorrência durante a vida da construção.
Exemplos: explosões, choques de veículos, incêndios, enchentes ou sismos excepcionais.

3.5 Cargas acidentais: são as ações variáveis que atuam nas estruturas em função do seu uso (pessoas, mobiliário, veículos, materiais diversos, etc).

4. Valores representativos das ações:

4.1 Valores representativos das ações, em estados limites últimos:

4.1.1 Valores característicos (F_k): São definidos em função da variabilidade de suas intensidades, num período convencional de referência (50 anos), sendo que o valor característico das ações permanentes corresponde à variabilidade existente num conjunto de estruturas análogas.

4.1.2 Valores reduzidos de combinação: (ψQ)

São aplicados às ações variáveis de naturezas diferentes da ação variável principal, nas combinações de ações em estados limites últimos.

Quando a probabilidade de ocorrência simultânea de duas ou mais ações variáveis características é muito baixa, adota-se $\psi Q = \psi_0 F_K$.

Já no caso em que as ações consideradas atuem simultaneamente por um período de tempo muito curto, adota-se $\psi Q = \psi_2 F_K$. Os valores de ψ_0 e ψ_2 são obtidos na tabela 6 da NBR8661:2013.

4.1.3 Valores convencionais excepcionais

São valores arbitrados para as ações excepcionais, geralmente em consenso entre o proprietário da construção e as autoridades governamentais que nela tenham interesse.

4.2 Valores representativos das ações, em estados limites de serviço:

4.2.1 Valores reduzidos de serviço

Os valores reduzidos de serviço para ações que se repetem muitas vezes (valores freqüentes), são definidos a partir dos valores característicos (F_K) pela expressão $\psi_1 F_K$. Os valores reduzidos de serviço para ações de longa duração (valores quase permanentes), são definidos a partir dos valores característicos (F_K) pela expressão $\psi_2 F_K$.

4.2.2 Valores raros de serviço:

Os valores raros de serviço quantificam as ações que podem acarretar em estados limites de serviço, mesmo que atuem com duração muito curta sobre a estrutura.

4.3 Valores de cálculo das ações:

Os valores de cálculo F_d das ações são obtidos a partir dos valores representativos, multiplicando-os pelos respectivos coeficientes de ponderação γ_f .

4.3.1 Coeficientes de ponderação para estados limites últimos

Os coeficientes de ponderação γ_f para estados limites últimos levam em conta a variabilidade e os possíveis erros de avaliação das ações, seja por problemas construtivos ou por deficiência do modelo de cálculo empregado.

O índice do coeficiente γ_f pode ser alterado para γ_g , γ_q , γ_p e γ_E , respectivamente para ações permanentes, para as ações diretas variáveis para a protensão e para os efeitos de deformações impostas (ações indiretas).

4.3.2. Coeficientes de ponderação para estados limites de serviço

Salvo exigência em contrário expressa por norma específica, adota-se $\gamma_f=1,0$

4.4. Carregamentos:

4.4.1 Definição:

Carregamento é o conjunto de ações que têm probabilidade não desprezível de atuarem simultaneamente sobre uma estrutura, durante um período de tempo preestabelecido.

4.4.2 Tipos de carregamento:

a) Carregamento normal: inclui apenas as ações decorrentes do uso previsto para a construção, e admite-se que possa ter duração igual ao período de referência da estrutura.

b) Carregamento especial: decorre da atuação de ações variáveis de natureza ou intensidade especial, cujos efeitos superem em intensidade os efeitos produzidos pelas ações consideradas no carregamento normal. São transitórios com duração muito pequena em relação ao período de referência da estrutura.

c) Carregamento excepcional: inclui ações excepcionais que podem provocar efeitos catastróficos.

d) Carregamento de construção: transitório, definido em cada caso particular em que haja risco de ocorrência de estados limites já durante a construção.

4.5. Critérios de combinação de ações

Para a verificação de segurança em relação aos possíveis estados limites, para cada tipo de carregamento devem ser consideradas todas as combinações de ações que possam acarretar os efeitos mais desfavoráveis nas seções críticas das estrutura.

As ações permanentes são consideradas em sua totalidade. Das ações variáveis são consideradas apenas as parcelas que produzem efeitos desfavoráveis para a segurança.

5. Condições usuais relativas aos estados limites:

5.1 Condições usuais relativas aos estados limites últimos:

5.1.1 Condição simplificada para o dimensionamento em estados limites últimos:

Quando a segurança é verificada isoladamente em relação a cada um dos esforços atuantes, as condições de segurança tomam a forma simplificada.

$$S_d \leq R_d$$

Onde: S_d = valores de cálculo dos esforços atuantes

R_d = valores de cálculo dos correspondentes esforços resistentes

Pela condição simplificada, o problema de dimensionamento divide-se em duas etapas. De um lado, o estudo das ações (1º membro), do outro, o estudo das resistências (2º membro).

5.1.2 Outros casos: Ver item 5.1.2.1 da NBR 8681 : 2003.

5.2 Condições usuais relativas aos estados limites de utilização:

$$S_d \leq S_{lim}$$

Onde: S_d = valores de cálculo dos efeitos estruturais de interesse, calculados com $\gamma_f = 1,0$;

S_{lim} = valores limites adotados para esses efeitos.

5.3 Combinações das ações

5.3.1. Simbologia e definições

a) Simbologia:

$F_{G, K}$ = G = ações permanentes;

$F_{Q, K}$ = Q = ações variáveis;

E = ações excepcionais

b) Ações permanentes favoráveis e desfavoráveis:

Considera-se como desfavorável para a estrutura, o tipo de solicitação variável, ou excepcional cujo efeito se some ao efeito provocada pela ação permanente.

Por exemplo, toda ação variável ou excepcional de tração, em relação a uma ação permanente também de tração, é desfavorável para estrutura.

Em caso contrário, o efeito é favorável para a estrutura. Por exemplo, permanente de tração, variável de compressão.

5.3.2 Combinações últimas das ações**5.3.2.1. Combinações últimas normais****a) Com um número qualquer de cargas variáveis**

(segundo o item 5.1.3.1 da NBR 8681:2003)

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{Gi} F_{Gi,k} + \gamma_Q [F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j} F_{Qj,k}]$$

b) Com duas cargas acidentais de naturezas diferentes

(segundo o item 6.1.3 da NBR 7190 : 2010)

Q= ação variável vertical decorrente do uso

W= ação do vento

b.1 Primeira Combinação:

Carga vertical e seus efeitos dinâmicos como ação variável principal.

$$F_d = \sum \gamma_{Gi} G_{i,k} + \gamma_Q [Q_k + \psi_{0w} W_k]$$

b.2 Segunda combinação

Vento como ação variável principal:

para peças de madeira:

$$F_d = \sum \gamma_{Gi} G_{i,k} + \gamma_Q [0,75W_k + \psi_{0Q} Q_k]$$

para peças metálicas, inclusive para os elementos de ligação:

$$F_d = \sum \gamma_{Gi} G_{i,k} + \gamma_Q [W_k + \psi_{0Q} Q_k]$$

5.3.2.2. Combinações últimas especiais ou de construção

(segundo o item 5.1.3.2 da NBR 8681:2003)

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{Gi} F_{Gi,k} + \gamma_Q [F_{Q1,k} + \sum_{J=2}^n \psi_{0J,ef} F_{QJ,k}]$$

onde: $\psi_{0J,ef} = \psi_{2J}$ quando $F_{Q1,k}$ tiver um tempo de duração muito pequeno.
ou

$\psi_{0J,ef} = \psi_{0J}$ em caso contrário

5.3.2.3 Combinações últimas excepcionais

(segundo o item 5.1.3.3 da NBR 8681:2003)

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{Gi} F_{Gi,k} + F_{Q,exc} + \gamma_Q \sum_{J=1}^n \psi_{0J,ef} F_{QJ,k}$$

5.3.3 Combinações de utilização das ações

(segundo o item 5.1.5 da NBR 8681: 2003)

5.3.3.1 Combinações quase permanentes de serviço

(segundo item 5.1.5.1 da NBR 8681: 2003)

$$F_{d, \text{ útil}} = \sum_{i=1}^m F_{Gi, k} + \sum_{J=1}^n \psi_{2J} F_{QJ, k}$$

5.3.3.2 Combinações frequentes de serviço

Neste caso: A ação variável principal F_{Q1} é tomada com o seu valor freqüente $\psi_1 F_{Q1, k}$ e todas as demais variáveis com seus valores quase permanentes $\psi_{2J} F_{QJ, k}$.

$$F_{d, \text{ útil}} = \sum_{i=1}^m F_{Gi, k} + \psi_1 F_{Q1, k} + \sum_{J=2}^n \psi_{2J} F_{QJ, k}$$

5.3.3.3 Combinações raras de serviço

$$F_{d, \text{ útil}} = \sum_{i=1}^m F_{Gi, k} + F_{Q1, k} + \sum_{j=2}^n \psi_{1, j} F_{QJ, k}$$

6 . Coeficientes de ponderação das ações

6.1 Coeficientes de ponderação - ações permanentes diretas consideradas separadamente

Tabela 1- Ações permanentes diretas consideradas separadamente			
Combinação	Tipo de ação	Efeito	
		Desfavorável	Favorável
Normal	Peso próprio de estruturas metálicas	1,25	1,0
	Peso próprio de estruturas pré-moldadas	1,30	1,0
	Peso próprio de estruturas moldadas no local	1,35	1,0
	Elementos construtivos industrializados ¹⁾	1,35	1,0
	Elementos construtivos com adições <i>in loco</i>	1,40	1,0
	Elementos construtivos em geral e equipamentos ²⁾	1,50	1,0
Especial ou de construção	Peso próprio de estruturas metálicas	1,15	1,0
	Peso próprio de estruturas pré-moldadas	1,20	1,0
	Peso próprio de estruturas moldadas no local	1,25	1,0
	Elementos construtivos industrializados ¹⁾	1,25	1,0
	Elementos construtivos com adições <i>in loco</i>	1,30	1,0
	Elementos construtivos em geral e equipamentos ²⁾	1,40	1,0
Excepcional	Peso próprio de estruturas metálicas	1,10	1,0
	Peso próprio de estruturas pré-moldadas	1,15	1,0
	Peso próprio de estruturas moldadas no local	1,15	1,0
	Elementos construtivos industrializados ¹⁾	1,15	1,0
	Elementos construtivos com adições <i>in loco</i>	1,20	1,0
	Elementos construtivos em geral e equipamentos ²⁾	1,30	1,0
¹⁾ Por exemplo: paredes e fachadas pré-moldadas, gesso acartonado			
²⁾ Por exemplo: paredes de alvenaria e seus revestimentos, contrapisos			
Tabela transcrita da NBR 8681:2003			

6.2. Coeficientes de ponderação - ações permanentes diretas agrupadas

Tabela 2- Ações permanentes diretas agrupadas			
Combinação	Tipo de estrutura	Efeito	
		Desfavorável	Favorável
Normal	Grandes pontes ⁽¹⁾	1,30	1,0
	Edificações do tipo 1 e pontes em geral ⁽²⁾	1,35	1,0
	Edificações do tipo 2 ⁽³⁾	1,40	1,0
Especial ou de construção	Grandes pontes ⁽¹⁾	1,20	1,0
	Edificações do tipo 1 e pontes em geral ⁽²⁾	1,25	1,0
	Edificações do tipo 2 ⁽³⁾	1,30	1,0
Excepcional	Grandes pontes ⁽¹⁾	1,10	1,0
	Edificações do tipo 1 e pontes em geral ⁽²⁾	1,15	1,0
	Edificações do tipo 2 ⁽³⁾	1,20	1,0
¹⁾ grandes pontes são aquelas em que o peso próprio da estrutura supera 75% da totalidade das ações;			
²⁾ Edificações do tipo 1 são aquelas onde as cargas acidentais superam 5 kN/m ²			
³⁾ Edificações do tipo 2 são aquelas onde as cargas acidentais não superam 5 kN/m ²			
Tabela transcrita da NBR 8681:2003			

6.3 Coeficientes de ponderação - ações permanentes indiretas

Tabela 3- Efeitos de recalques de apoio e de retração dos materiais		
Combinação	Efeito	
	Desfavorável	Favorável
Normal	$\gamma_{\varepsilon} = 1,2$	$\gamma_{\varepsilon} = 0$
Especial ou de construção	$\gamma_{\varepsilon} = 1,2$	$\gamma_{\varepsilon} = 0$
Excepcional	$\gamma_{\varepsilon} = 0$	$\gamma_{\varepsilon} = 0$

Tabela transcrita da NBR 8681:2003

6.4. Coeficientes de ponderação - ações variáveis consideradas separadamente

Tabela 4- Ações variáveis consideradas separadamente		
Combinação	Tipo de ação	Coeficiente de ponderação
Normal	Ações truncadas ⁽¹⁾	1,2
	Efeito de temperatura	1,2
	Ação do vento	1,4
	Ações variáveis em geral	1,5
Especial ou de construção	Ações truncadas ⁽¹⁾	1,1
	Efeito de temperatura	1,0
	Ação do vento	1,2
	Ações variáveis em geral	1,3
Excepcional	Ações variáveis em geral	1,0

1) Ações truncadas são consideradas ações variáveis cuja distribuição de máximos é truncada por um dispositivo físico de modo que o valor dessa ação não pode superar o limite correspondente. O coeficiente de ponderação mostrado na tabela 4 se aplica a esse valor limite.

Tabela transcrita da NBR 8681:2003

6.5. Coeficientes de ponderação - ações variáveis consideradas conjuntamente

Tabela 5- Ações variáveis consideradas conjuntamente ⁽¹⁾		
Combinação	Tipo de ação	Coeficiente de ponderação
Normal	Pontes e edificações do tipo 1	1,5
	Edificações do tipo 2	1,4
Especial ou de construção	Pontes e edificações do tipo 1	1,3
	Edificações do tipo 2	1,2
Excepcional	Estruturas em geral	1,0

1) Quando as ações variáveis forem consideradas conjuntamente, o coeficiente de ponderação mostrado na tabela 5 se aplica todas as ações, devendo-se considerar também conjuntamente as ações permanentes diretas. Nesse caso permite-se considerar separadamente ações indiretas como recalque de apoio e retração dos materiais conforme tabela 3 e efeito de temperatura conforme tabela 4.

Tabela transcrita da NBR 8681:2003

6.6. Coeficientes de ponderação para ações excepcionais

Salvo indicação em contrário, expressa em norma relativa ao tipo de construção e de material considerados, deve ser tomado com o valor básico $\gamma_f = 1,0$

6.7. Valores dos coeficientes de combinação (ψ_0) e dos coeficientes de redução (ψ_1 e ψ_2) para ações variáveis

Tabela 6 - Valores dos coeficientes de combinação (ψ_0) e dos coeficientes de redução (ψ_1 e ψ_2) para ações variáveis			
Ações	ψ_0	ψ_1	$\psi_2^{(3) (4)}$
Cargas acidentais de edifícios			
Locais em que não há predominância de pesos de equipamentos que permaneçam fixos por longos períodos de tempo, nem elevadas concentrações de pessoas ⁽¹⁾	0,5	0,4	0,3
Locais em que há predominância de pesos de equipamentos que permaneçam fixos por longos períodos de tempo, ou elevadas concentrações de pessoas ⁽²⁾	0,7	0,6	0,4
Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens	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
Pontes rodoviárias	0,7	0,5	0,3
Pontes ferroviárias não especializadas	0,8	0,7	0,5
Pontes ferroviárias especializadas	1,0	1,0	0,6
Vigas de rolamento de pontes rolantes	1,0	0,8	0,5
¹⁾ Edificações residenciais de acesso restrito. ²⁾ Edificações comerciais, de escritórios e de acesso público. ³⁾ Para combinações excepcionais onde a ação principal for sismo, admite-se adotar $\psi_2 = 0$. ⁴⁾ Para combinações excepcionais onde a ação principal for o fogo, o fator ψ_2 pode ser reduzido, multiplicando-o por 0,7.			
Tabela transcrita da NBR 8681:2003			

7. Exercícios resolvidos

Ex 7.1: Determinar as extremas combinações de cálculo das ações abaixo, em **estados limites últimos**.

Ação:	Tipo: (situação normal)	Esforços (kN)
1	Peso próprio da estrutura metálica	8
2	Ação variável em geral, devida a equipamento quase permanente	10

Solução:

a) Comentários:

- No caso, o esforço devido a ação variável (ação 2), tem o mesmo sentido dos esforços devido as ações permanentes (mesmos sinais), sendo considerado de efeito **desfavorável** (superposição de efeitos).
- Como há apenas uma ação variável, esta será considerada principal, não havendo neste caso ações variáveis com valores reduzidos de utilização ($\psi \cdot F_k$).

b) Determinação dos coeficientes de ponderação (γ_f):

Da tabela 1 da NBR 8681:2003, para efeito desfavorável, combinação normal, vem: $\gamma_g = 1,25$.

Da tabela 4 da NBR 8681:2003, para ação variável, combinação normal, vem: $\gamma_q = 1,5$.

c) Combinações de cálculo das ações em estados limites últimos, segundo o item 5.1.3.1 da NBR 8681:2003, para um número qualquer de ações variáveis, vêm:

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{Gi} F_{gi,K} + \gamma_q [F_{Q1,K} + \sum_{j=2}^n \psi_{oj} F_{Qj,K}]$$

$$\text{Portanto: } F_d = 1,25 \cdot 8 + 1,5 \cdot 10 = 25 \text{ kN}$$

Ex 7.2: No exercício anterior, determinar as extremas combinações de cálculo das ações, em **estados limites de utilização**, a serem usadas no controle das deformações.

Solução:

a) Comentários:

No projeto estrutural, é usual o cálculo das deformações permanentes e das deformações totais, devidas a ação conjunta das cargas permanentes e variáveis.

b) Combinações das ações de cálculo para os estados limites de utilização, segundo 5.1.5.1 da NBR 8681:2003:

$$F_d = \sum F_{gi,K} + \sum \psi_{2j} F_{Qj,K}$$

Da tabela 6, para equipamento quase permanente, vem: $\psi_{2j} = 0,4$.

$$\text{Portanto: } F_d = 8 + 0,4 \cdot 10 = 12 \text{ kN}$$

Ex 7.3: Determinar as extremas combinações de cálculo das ações abaixo, em **estados limites últimos**.

Ação:	Tipo: (situação normal)	Esforços (kN)
1	Peso próprio da estrutura de uma edificação tipo 1	31
2	Sobrecarga de uso (equipamento)	30
3	Sobrecarga de uso (arquivo)	28

Solução:

a) Comentários:

- Em relação às cargas permanentes, as sobrecargas têm o mesmo sentido, portanto, são considerados **desfavoráveis** (superposição de efeitos).
- As duas sobrecargas são de **mesma natureza (uso)** e portanto, independentemente dos valores do fator de combinação tabelados na tabela 6 , adota-se $\psi = 1$.

b) Determinação dos coeficientes de ponderação (γ_f)

Da tabela 2, combinações normais desfavoráveis: $\gamma_g = 1,35$;

Da tabela 6, combinações normais, edificações do tipo 1: $\gamma_Q=1,5$.

c) Combinações de cálculo das ações , em estados limites últimos para um número qualquer de ações variáveis: (Segundo 5.1.3.1 da NBR 8681/2003)

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{Gi} F_{Gi,K} + \gamma_Q [F_{Q1,K} + \sum_{j=2}^n \psi_{oj} F_{Qj,K}]$$

Como $\psi_0 = 1$, adotou-se o equipamento como ação variável principal (o maior). Assim,

$$F_d = 1,35 \cdot 31 + 1,5 [30 + 1 \times 28] = 128,85 \text{ kN}$$

Caso fosse adotado o arquivo como ação variável principal com $\psi_0 = 1$ (ver comentários), ter-se-ia:

$$F_d = 1,35 \cdot 31 + 1,5 [28 + 1 \times 30] = 128,85 \text{ kN}$$

Portanto, adota-se $F_d = 128,85 \text{ kN}$

Ex 7.4: Determinar as extremas combinações de cálculo das ações abaixo, em **estados limites últimos**.

Ação	Tipo: (situação normal)	Esforços (kNm)
1	Carga permanente devido elementos construtivos de madeira, com adições <i>in loco</i>	-70
2	Sobrecarga vertical de uso (pessoas)	-62
3	Vento	-54

Solução:

a) Comentários:

- Todas as sobrecargas, em relação às cargas permanentes, tem mesmo sentido e portanto são consideradas **desfavoráveis**;
- As cargas acidentais (pessoas e vento) são de naturezas diferentes, portanto usa-se o fator de combinação ψ da tabela 6;
- No caso de duas cargas acidentais, uma vertical de uso e a outra o vento, a NBR 7190/2010 permite substituir as combinações de ações do item 5.1.3.1 da NBR 8681/2003, pelas combinações do item 6.1.3 da NBR 7190/97.

b) Coeficientes de ponderação (γ_f) e fatores de combinação (ψ):

da tabela 1, para a carga permanente em questão, situação normal, vem: $\gamma_g = 1,4$

da tabela 4, para o vento, situação normal, vem: $\gamma_q = 1,4$

Já a sobrecarga de pessoas, por falta de classificação, deve ser enquadrada como “ações variáveis em geral”, com $\gamma_q = 1,5$.

Assim, existem dois valores diferentes de para γ_q .

da tabela 6: $\left\{ \begin{array}{l} \text{sobrecarga de uso: } \psi_{0Q} = 0,7 \text{ (pessoas)} \\ \text{vento} : \psi_{0W} = 0,6 \end{array} \right.$

c) Combinações segundo 6.1.3 da NBR 7190/97:

c-1) Primeira combinação: Carga vertical (pessoas) como ação variável principal:

A fórmula $F_d = \Sigma \gamma_{Gi} G_{iK} + \gamma_Q [Q_k + \psi_{0W} W_K]$, com coeficientes γ_Q diferentes,

fica: $F_d = \Sigma \gamma_{Gi} G_{iK} + \gamma_{Q1} Q_k + \gamma_{Q2} \psi_{0W} W_K$

Assim: $F_d = 1,4 \cdot (-70) + 1,5 \cdot (-62) + 1,4 \cdot 0,6 \cdot (-54) = -236,36 \text{ kN.m}$

c-2) Segunda combinação: Vento como ação variável principal, para peças de madeira:

A fórmula $F_d = \Sigma \gamma_{Gi} G_{iK} + \gamma_q \cdot [0,75 \cdot W_k + \psi_{0Q} \cdot Q_k]$, com coeficientes γ_Q diferentes,

fica: $F_d = \Sigma \gamma_{Gi} G_{iK} + \gamma_{q2} \cdot 0,75 \cdot W_k + \gamma_{Q1} \psi_{0Q} \cdot Q_k$

Assim: $F_d = 1,4 \cdot (-70) + 1,4 \cdot 0,75 \cdot (-54) + 1,5 \cdot 0,7 \cdot (-62) = -219,80 \text{ kN.m}$

$\therefore$ adota-se $F_d = -236,36 \text{ kN.m}$

Ex 7.5 Determinar as extremas combinações de cálculo das ações abaixo, em **estados limites últimos**.

Ação:	Tipo : (situação normal)	Esforços (kN)
1	Carga permanente devida ao peso próprio de elementos construtivos industrializados	-35
2	Sobrecarga vertical de uso (equipamento)	-32
3	Vento hipótese I	-44
4	Vento hipótese II	52
5	Vento hipótese III	41

Solução:

a) Comentários:

- Neste caso, as duas hipóteses de vento (4 e 5) **não são concomitantes**, não podendo ser usadas na mesma combinação. Descarta-se a ação nº5 por ser menor que a nº 4.
- Há sobrecargas de mesmo sentido dos permanentes (mesmos sinais), portanto **desfavoráveis**, gerando a máxima superposição de efeitos (1 + 2 + 3).
- Visto que a ação nº5 foi descartada, sobra uma ação variável de sentido contrário às cargas permanentes (ação nº4), portanto **favorável**, cuja combinação com as cargas permanentes, gera a máxima contraposição de efeitos (1 + 4):

b).Máxima contraposição (inversão de esforços) (favorável): (combinação 1 + 4):
do item 5.1.3.1da NBR 8681/2003, vem:

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{Gi} F_{Gi,K} + \gamma_Q \left[F_{Q1,K} + \sum_{j=2}^n \psi_{oj} F_{Qj,K} \right]$$

da tabela 1: $\gamma_g = 1,0$ (favorável)

da tabela 4, para o vento, situação normal, vem: $\gamma_q = 1,4$

Neste caso, há apenas uma ação variável, tornando $\sum \psi_{oj} F_{Qj,K} = 0$.

Portanto $F_d = 1,0 (-35) + 1,4 \cdot 52 = 37,8 \text{ kN}$

$$F_d = 37,8 \text{ kN}$$

c) Máxima superposição (superposição de esforços) (desfavorável) (combinação 1 + 2 + 3).

No caso de duas cargas acidentais, uma vertical de uso e a outra o vento, a NBR 7190:2010 permite substituir as combinações de ações do item 5.1.3.1 da NBR 8681:2003, pelas combinações do item 6.1.3 da NBR 7190:97.

da tabela 1: $\gamma_q = 1,35$ (desfavorável)

da tabela 4, para o vento, situação normal, vem: $\gamma_q = 1,4$

Já a sobrecarga de pessoas, por falta de classificação, deve ser enquadrada como “ações variáveis em geral”, com $\gamma_q = 1,5$.

Assim, existem dois valores diferentes de para γ_q .

da tabela 6: $\left\{ \begin{array}{l} \text{sobrecarga de uso: } \psi_{0Q} = 0,7 \text{ (pessoas)} \\ \text{vento} : \psi_{0W} = 0,6 \end{array} \right.$

Combinações segundo 6.1.3 da NBR 7190:97:

c-1) Primeira combinação:

Carga vertical (pessoas) como ação variável principal:

A fórmula $F_d = \Sigma \gamma_{Gi} G_{iK} + \gamma_Q [Q_k + \psi_{0W} W_K]$, com coeficientes γ_Q diferentes,

fica: $F_d = \Sigma \gamma_{Gi} G_{iK} + \gamma_{Q1} Q_k + \gamma_{Q2} \psi_{0W} W_K$

Assim: $F_d = 1,4 \cdot (-35) + 1,5 \cdot (-32) + 1,4 \cdot 0,6 \cdot (-44) = -133,96 \text{ kN}$.

c-2) Segunda combinação:

Vento como ação variável principal, para peças de madeira:

A fórmula $F_d = \Sigma \gamma_{Gi} G_{iK} + \gamma_q [0,75 \cdot W_k + \psi_{0Q} \cdot Q_k]$, com coeficientes γ_Q diferentes,

fica: $F_d = \Sigma \gamma_{Gi} G_{iK} + \gamma_{q2} \cdot 0,75 \cdot W_k + \gamma_{Q1} \psi_{0Q} \cdot Q_k$

Assim: $F_d = 1,4 \cdot (-35) + 1,4 \cdot 0,75 \cdot (-44) + 1,5 \cdot 0,7 \cdot (-32) = -128,80 \text{ kN}$.

d) Assim, adota-se para o dimensionamento da peça de madeira:

Máxima superposição: $F_d = -133,96 \text{ kN}$

Máxima inversão: $F_d = 37,8 \text{ kN}$

Ex 7.6: Resolver o exercício anterior, determinando as extremas combinações de cálculo das ações, em **estados limites últimos**, para o dimensionamento dos elementos metálicos da ligação.

Solução

- **Máxima contraposição:**

$F_d = 37,8 \text{ kN}$ (idem item c do exemplo anterior)

- **Máxima superposição:**

- **Primeira combinação:** $F_d = -133,96 \text{ kN}$. (idem item c-1 do exemplo anterior)

- **Segunda combinação:**

Vento como ação variável principal, para peças metálicas :

A fórmula $F_d = \sum \gamma_{Gi} G_{iK} + \gamma_q [W_k + \psi_{0Q} \cdot Q_k]$, com coeficientes γ_Q diferentes,

fica: $F_d = \sum \gamma_{Gi} G_{iK} + \gamma_{q2} \cdot W_k + \gamma_{Q1} \cdot \psi_{0Q} \cdot Q_k$

Assim: $F_d = 1,4 \cdot (-35) + 1,4 \cdot (-44) + 1,5 \cdot 0,7 \cdot (-32) = -141,96 \text{ kN}$.

- Assim, para o dimensionamento dos elementos de ligação metálicos, adota-se:

Máxima superposição: $F_d = - 141,96 \text{ kN}$

Máxima inversão: $F_d = 37,80 \text{ kN}$

Ex 7.7: Determinar as extremas combinações de cálculo das ações abaixo, em **estados limites últimos**, durante a construção.

Ação:	Tipo: (durante a construção)	Esforços (kN)
1	Peso próprio de estruturas metálicas	55
2	Vento hipótese I	40
3	Vento hipótese II	-52
4	Vento hipótese III	33
5	Carga de montagem (equipa/o fixo) curta duração, não vertical	-50
6	Carga de montagem (equipa/o fixo) longa duração, não vertical	-55

Com as ações 5 e 6 não concomitantes.

Solução:

a) Comentários:

- Hipóteses distintas de vento, **não são concomitantes**.
- O vento III (ação nº4) foi descartado em favor do vento I (ação nº 2) (maior)

b) Coeficientes de ponderação:

Da tabela 1 : $\gamma_g = 1,15$ (desfavoráveis) ou $\gamma_g = 1,0$ (favoráveis)

Da tabela 4, durante a construção: $\gamma_q = 1,2$ para o vento e $\gamma_q = 1,3$ para ações variáveis em geral

c) Combinações de ações:

c-1) máxima superposição (carregamento 1 + 2)

do item 5.1.3.2 da NBR 8681/2003, para combinações últimas especiais ou de construção:

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{Gi} F_{Gi,K} + \gamma_0 \left[F_{Q1,K} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j,ef} \cdot F_{Qj,K} \right]$$

onde: $\psi_{0j,ef} = \psi_{2j}$ quando $F_{Q1,K}$ tiver um tempo de duração muito pequeno;

ou $\psi_{0j,ef} = \psi_{0j}$ em caso contrário

Como neste caso, temos apenas uma ação variável, $F_{Qj,K} = 0$

$$F_d = 1,15 (55) + 1,2 (40) = 111,25 \text{ kN}$$

c-2) máxima contraposição. Como as ações 5 e 6 são não concomitantes, temos duas hipóteses: carregamento (1 + 3+ 5) e carregamento (1 + 3+ 6)

c-2-1) carregamento (1 + 3+ 5)

a) com vento hipótese II (3) = $F_{Q1,K}$ = curta duração, portanto $\psi_{0j,ef} = \psi_{2j}$ para a ação nº5. $\psi_{0j,ef} = \psi_{2j} = 0,4$

$$F_d = 1 (55) + 1,2 (-52) + 1,3 \cdot 0,4 (-50) = -33,4 \text{ kN}$$

b) com carga de montagem (equipa/o fixo) curta duração, não vertical, ação nº5 como principal.

(ação 5) = $F_{Q1,K}$ = curta duração, portanto $\psi_{0J,ef} = \psi_{2J}$ para a ação nº3.

$$\psi_{0J,ef} = \psi_{2J} = 0,0$$

$$F_d = 1 (55) + 1,2 (-52) + 1,3 \cdot 0,0 (-50) = -7,4 \text{ kN}$$

c-2-2) carregamento (1 + 3+ 6)

a)com vento hipótese II (3) = $F_{Q1,K}$ = curta duração

portanto $\psi_{0J,ef} = \psi_{2J}$ para a ação nº6.

$$\psi_{0J,ef} = \psi_{0J} = 0,4$$

$$F_d = 1 (55) + 1,2 (-52) + 1,3 \cdot 0,4 (-55)$$

$$F_d = -36,0 \text{ kN}$$

b) com carga de montagem (equipa/o fixo) longa duração, não vertical, ação nº6 como principal.

(ação 6) = $F_{Q1,K}$ = longa duração, portanto $\psi_{0J,ef} = \psi_{0J}$ para a ação nº3.

$$\psi_{0J,ef} = \psi_{0J} = 0,6$$

$$F_d = 1 (55) + 1,2 (-52) + 1,3 \cdot 0,6 (-55) = -50,3 \text{ kN}$$

d) Adota-se: $\left\{ \begin{array}{l} \text{máxima superposição: } F_d = 111,25 \text{ kN} \\ \text{máxima contraposição: } F_d = -50,30 \text{ kN} \end{array} \right.$

8. Exercícios propostos:

1- Definir:

- a) Estados limites.
- b) Estados limites últimos.
- c) Estados limites de serviço.
- d) Ações.
- e) Tipos de ações (diretas e indiretas).
- f) Carregamentos
- g) Tipos de carregamentos
- h) Condições simplificadas de dimensionamento em estados limites últimos
- i) Condições usuais em estados limites de utilização
- j) Valores reduzidos de combinação e de utilização.

2- Quais são as ações usualmente consideradas na estrutura de madeira?

3- Nas combinações das ações, como são consideradas as ações permanentes e as variáveis?

4- Determinar as extremas combinações de cálculo das ações abaixo, em **estados limites últimos**.

Ação:	Tipo: (situação normal)	Esforços (kN.m)
1	Peso próprio da estrutura de concreto moldada\ no local	-25,5
2	Vento hipótese I	35,0
3	Vento hipótese II	-15,0
4	Vento hipótese III	30,0
5	Sobrecarga de uso (devido a elevada concentração de pessoas)	-32,0
6	Sobrecarga de uso (peso de equipamento fixo)	-19,0

Resp: $F_d =$ kN.m ou $F_d = -$ kN.m5- Determinar as extremas combinações de cálculo das ações abaixo, em **estados limites últimos**.

Ação:	Tipo: (situação normal)	Esforços (kN.m)
1	Permanente: peso de elementos de madeira construtivos em geral	-27,5
2	Vento hipótese I	35,0
3	Vento hipótese II	30,0
4	Vento hipótese III	-27,0
5	Sobrecarga de uso(devido a elevada concentração de pessoas)	-32,0
6	Sobrecarga de uso (peso de equipamento fixo)	-41,0

Resp: $F_d =$ kN.m ou $F_d = -$ kN.m

Ex 6: Determinar as extremas combinações de cálculo das ações abaixo, em **estados limites últimos**.

Ação:	Tipo: (situação normal)	Esforços (N)
1	Peso próprio da estrutura metálica	40000
2	Sobrecarga vertical de uso (elevada concentração de pessoas)	124000
3	Vento transversal	108000
4	Vento longitudinal	57222

Resp: $F_d =$ N

Ex 7: Determinar as extremas combinações de cálculo das ações abaixo, em **estados limites últimos**.

Ação:	Tipo : (situação normal)	Esforços (kN.m)
1	Ações permanentes de elementos construtivos de madeira em geral	73
2	Sobrecarga vertical de uso (equipamento)	67,8
3	Vento hipótese I	89,3
4	Vento hipótese II	-129,5

Resp: $F_d =$ kN.m ou $F_d =$ kN.m

Ex 8: Resolver o exercício anterior, determinando as extremas combinações de cálculo das ações, em **estados limites últimos**, para o dimensionamento dos elementos metálicos da ligação.

Resp: $F_d =$ kN.m ou $F_d =$ kN.m

Ex 9: Determinar as extremas combinações de cálculo das ações abaixo, em **estados limites últimos**.

Ação:	Tipo: (durante a construção)	Esforços (kgf)
1	Peso próprio da estrutura metálica	-3000
2	Recalque diferencial	-2300
3	Demais ações permanentes de elementos moldados in loco	-8000
4	Vento hipótese I	23400
5	Vento hipótese II	-6600
6	Carga de montagem (equipa/o fixo) curta duração	10000
7	Carga de montagem (equipa/o fixo) longa duração	11000

Considerar 6 e 7 concomitantes.

Resp: $F_d =$ kgf ou $F_d =$ kgf

Ex.10: Determinar as extremas combinações de cálculo das ações abaixo, em **est. lim. de utilização**.

Ação:	Tipo: (situação normal)	Esforços (kNm)
1	Total das ações permanentes	-52,0
2	Total das cargas variáveis de longa duração (arquivo)	-256,0
3	Sobrecarga gerada por explosão de silo de carvão (instantânea)	-927,0

Resp: $F_d =$ kNm

Ex 11: Determinar as extremas combinações de cálculo das ações abaixo, em **estados limites últimos**.

Ação:	Tipo: (durante a construção)	Esforços: (kN.m)
1	ações permanentes devido ao peso próprio da estrutura de madeira	-45,00
2	Variação de temperatura em relação à média anual local	-13,0
3	Vento hipótese I	-30,0
4	Vento hipótese II	-25,0
5	Recalque diferencial	+63,0

Resp: $F_d =$ kN.m ou $F_d =$ kN.m

Ex12: Determinar as extremas combinações de cálculo das ações abaixo, em **estados limites últimos**.

Ação:	tipo: (situação normal)	Esforços: (kN)
1	peso próprio da estrutura de madeira	23,0
2	sobrecarga vertical de uso, sem predominância de pessoas e equipamentos	40,0
3	Vento hipótese I	56,0
4	Vento hipótese II	22,0
5	Vento hipótese III	-35,0
6	Equipamento (não vertical)	-48,0

Resp: $F_d =$ kN. ou $F_d =$ kN

9. Exercícios propostos para a aula:

Ex 1: Determinar as extremas combinações de cálculo das ações abaixo, em **estados limites últimos**.

Ação	Tipo: (situação normal)	Esforços (kN)
1	Carga permanente devido a peso próprio de estrutura metálica	12
2	Sobrecarga de uso (pessoas)	15
3	Sobrecarga de uso (equipamento)	22

Resp: $F_d = 70,5 \text{ kN}$

Ex 2: No exercício anterior, determinar as extremas combinações de cálculo das ações , em **estados limites de utilização**, a serem usadas no controle das deformações.

Resp: $F_{d_{util}} = 26,8 \text{ kN}$

Ex 3: Determinar as extremas combinações de cálculo das ações abaixo, em **estados limites últimos**.

Ação:	Tipo: (situação normal)	Esforços: (kN)
1	ações permanentes devido ao peso próprio da estrutura de madeira tipo 1	12,00
2	Vento hipótese I	27
3	Vento hipótese II	32
4	Vento hipótese III	-29
5	Sobrecarga vertical de uso (pessoas)	33

Resp: $F_d = -28,6 \text{ kN}$ ou $F_d = 92,0 \text{ kN}$