

# ARTIGOS ABRASFE

## **Combinações de Ações e Cálculo Estrutural (Parte 2)**

*Critérios de Dimensionamento de Acordo com o  
Eurocode EN12812*

Breno Santos

## Resumo

Neste artigo abordaremos a concepção, segundo a norma Europeia EN 12812 de 2008 das combinações de ações que devem ser consideradas em sistemas de escoramentos e fôrmas, devendo estes serem dimensionados para suportar todas as ações que lhes são transmitidas. Os aspectos a considerar no dimensionamento são: a estabilidade do sistema e a curvatura dos elementos, para evitar o colapso da estrutura.

O dimensionamento de fôrmas e escoramentos é análogo ao dimensionamento de qualquer outro elemento estrutural, tendo especial importância as ações a serem consideradas, por estarmos tratando de elementos estruturais provisórios.

Os problemas de instabilidade ao nível estático que podem existir e que deverão ser considerados na análise de dimensionamento são o deslizamento global da estrutura, o deslizamento local nos elementos individuais, o tombamento e o levantamento da estrutura de escoramento. As excentricidades das ações e das ligações devem ser tidos em conta assim como a encurvadura dos elementos.

### 1. Imperfeições e Condições de Contorno

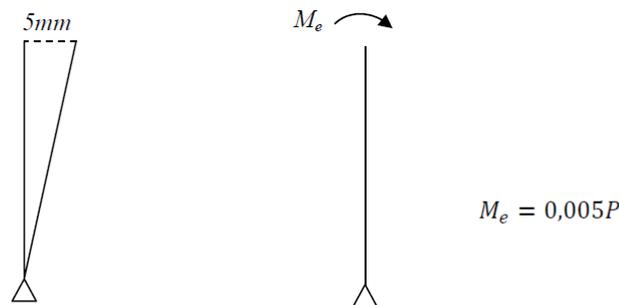
As imperfeições podem ter origem tanto nas ações que solicitam a estrutura como na própria estrutura. Estas imperfeições poderão ter uma influência global ou local.

Deverá ser levada em consideração a influência das imperfeições a seguir descritas:

- Excentricidades das ações (item 1.1);
- Imperfeições angulares e excentricidades nas ligações (item 1.2);
- Afastamento dos eixos teóricos (nós fixos e nós móveis) (item 1.3).

#### 1.1 Excentricidade das Ações

Deverá ser tomado um valor mínimo de 5 mm para a excentricidade da ação nos pontos de carregamento onde não exista equipamento de posicionamento. Em caso de existência de equipamento de posicionamento a excentricidade tomada poderá ser reduzida para um valor dentro dos limites dos elementos principais. Para efeitos de cálculo pode-se considerar esta excentricidade como um deslocamento nos elementos da estrutura, 5 mm, ou como um momento flector na extremidade dos elementos,  $M_e$ , que resulta do produto entre a força aplicada,  $P$ , e o deslocamento, como representa a figura abaixo.



Deslocamento ou momento flector devidos à excentricidade das ações

## 1.2 Imperfeições Angulares e Excentricidades nas Ligações

A espessura da parede nominal, dos elementos de aço e alumínio não deverá ser inferior a 2 mm.

As ligações devem ser concebidas de tal maneira que não seja possível desconectar acidentalmente durante a utilização, fazendo com que o sistema de escoramento perca a sua função de suporte.

As ligações por acoplamentos entre as seções ocas que trabalham a compressão, sem meios adicionais de fixação devem apresentar-se seguras contra desconexão involuntárias quando o comprimento de sobreposição não seja inferior a 150 mm.

O comprimento de sobreposição da ligação no tubo,  $h_0$ , deverá ser 25 % do comprimento da ligação,  $h_1$  ou 150 mm, considerando o maior dos dois.

No caso das escoras de prumo, por serem extensíveis, existirá imperfeições angulares uma vez que a ligação entre o tubo interior e o exterior poderá não assegurar por completo a verticalidade do prumo (tubo), formando-se um ângulo entre o tubo superior e o eixo vertical, designando-se, portanto, por imperfeição angular.

Por seu lado, os módulos dos sistemas de torres poderão sofrer desalinhamentos entre si. Estes desalinhamentos têm origem em eventuais excentricidades nas ligações entre os módulos.

### 1.2.1 Tubos Livres

Para os tubos livres (individuais), as imperfeições angulares,  $\phi_0$  a partir da posição teórica deve ser calculada para os componentes soltos a partir das dimensões nominais. Exemplos disso são as ligações de extremidade e placa de base para as ligações entre tubos.

A imperfeição angular,  $\phi_0$ , entre dois elementos deve ser calculada utilizando a equação:

$$\tan\phi_0 = 1,25 (d_i \cdot d_o) / l_0$$

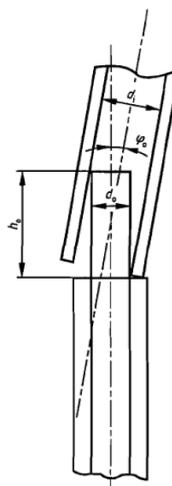
Onde:

$d_i$  é o diâmetro interior especificado do tubo, em milímetros;

$d_o$  é o diâmetro exterior especificado da ligação de extremidade, em milímetros;

$l_0$  é o comprimento de sobreposição, em milímetros;

$\phi_0$  é o ângulo, em radianos, entre os elementos ou componentes soltos (ver imagem abaixo).



Imperfeições angulares da ligação



**ABRASFE**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS  
DE FÓRMAS, ESCORAMENTOS E ACESSO

11 2276-7994

contato@abrasfe.org.br

Av. Jabaquara, 2049 – Sala 101  
São Paulo/SP - CEP 04045-003

[www.abrasfe.org.br](http://www.abrasfe.org.br)

Se existir mais do que uma ligação em cada eixo, o ângulo,  $\phi_0$ , a ser utilizado para o processo de cálculo deve ser calculado utilizando a equação 3.19:

$$\tan \varphi = \sqrt{0,5 + \frac{1}{n_v}} \times \tan \varphi_0$$

Onde:

$n_v$  é o número total de tubos verticais a serem sobrepostos.

### 1.2.2 Componentes da Estrutura (Módulos de Torres)

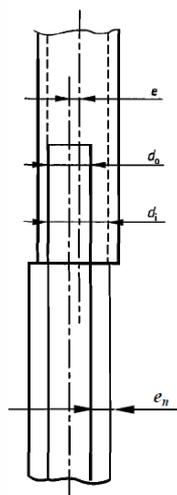
Para os elementos de torres de escoramentos montados com ligações de extremidade, a excentricidade,  $e$ , entre sucessivos módulos verticais deve ser tida em conta. Para um par de módulos sobrepostos, o valor da excentricidade,  $e$ , deve ser pelo menos o valor dado pela equação:

$$e = 1,25 \frac{(d_i - d_0)}{2}$$

Onde:

$d_i$  e  $d_0$  estão definidos na alínea anterior;

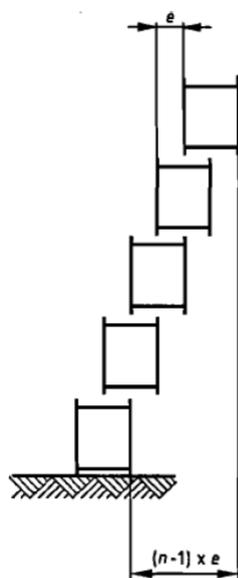
$e$  é a distância entre os eixos dos dois elementos tubulares que se unem, representado na Figura abaixo.



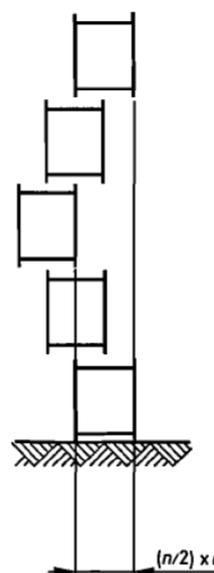
Excentricidade da ligação

No cálculo de estruturas de torres de carga deve-se levar em conta a excentricidade acumulada de um conjunto de módulos na montagem da estrutura.

Quando todos os módulos estão desalinhados numa direção, como se pode ver a esquerda na figura abaixo, este desalinhamento deve ser considerado como  $(n - 1) * e$ , onde  $n$  é o número de módulos colocados uns sobre os outros. Onde o topo está alinhado com a base, o desalinhamento central deverá valer  $(n - 1)/2 * e$ . Conforme representado também na figura abaixo, à direita.



a) Desalinhamento resultante de nós móveis



b) Desalinhamento resultante de nós fixos

#### Exemplos para cálculo de imperfeições das ligações

Neste ponto pode-se perceber uma inconsistência entre a equação explicitada no texto de norma e a figura representativa, quando trata-se de estruturas de nós fixos. O valor correto a ser utilizado é o indicado no texto, ou seja,  $(n - 1)/2 * e$ .

### 1.3 Afastamento dos Eixos Teóricos

#### 1.3.1 Classe B1

As imperfeições para esta classe de estruturas deverão ser determinadas pela norma EN 1993-1-1. Na análise estrutural deste tipo de estruturas deverão ser consideradas tolerâncias que representem os efeitos das imperfeições, incluindo as tensões residuais e as imperfeições geométricas, como por exemplo, a falta de verticalidade e quaisquer excentricidades presentes nas ligações da estrutura não carregada. Deverão ser utilizados valores para as imperfeições angulares e excentricidades descritas no item 1.2 acima a menos que sejam obtidos valores reais mediante medições em obra. As imperfeições angulares e as excentricidades utilizadas no dimensionamento não devem ser menores que as indicadas pela norma EN 1993-1-1.

As imperfeições que deverão ser tidas em conta para o dimensionamento destas estruturas são:

- As imperfeições globais para os módulos e sistemas de contraventamento;
- As imperfeições locais para elementos individuais.



**ABRASFE**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS  
DE FÓRMAS, ESCORAMENTOS E ACESSO

11 2276-7994  
contato@abrasfe.org.br

Av. Jabaquara, 2049 - Sala 101  
São Paulo/SP - CEP 04045-003

[www.abrasfe.org.br](http://www.abrasfe.org.br)

## 1.3.2 Classe B2

### 1.3.2.1 Imperfeições resultantes de nós fixos para elementos à compressão

Para os elementos à compressão deve ser assumido uma imperfeição em arco global. Deverão ser dimensionados sistemas de estabilização para elementos à compressão para resistir ao efeito de qualquer arco. Isto é adicional a imperfeição de um tubo, que está definido na ENV 1993-1-1. A Figura 48 ilustra as imperfeições em arco globais para um elemento à compressão.

O valor para o deslocamento lateral ou desvio da linha principal ( $e$ ), em milímetros, para um elemento à compressão sujeito à flexão deve ser calculado utilizando a equação:

$$e = \frac{l}{250} \times r$$

Onde:

$l$  é o comprimento nominal do elemento à compressão, em milímetros;

$r$  é o factor de redução e é dado pela equação 3.28:

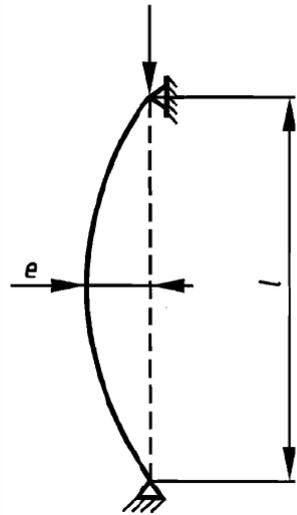
$$r = \sqrt{0,5 + \frac{1}{n_v}} \leq 1,0$$

Onde:

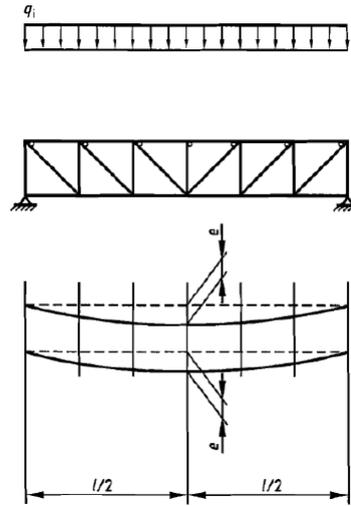
$n_v$  é o número de componentes estruturais dispostos e apoiado um ao lado do outro e suportados do mesmo modo.

Nota: Não é necessário considerar a posição das ligações.

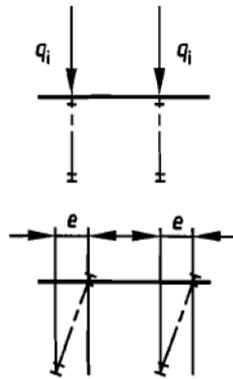




a) Alçado de um elemento coluna



b) Alçado e planta de uma asna simplesmente apoiada



c) Secção entre duas asnas

#### Imperfeições resultantes de nós fixos

$q_i$  é a representação de uma acção distribuída uniformemente no plano da viga.

#### 1.3.2.2 Imperfeições resultantes de nós móveis para elementos à compressão

A imperfeição,  $\phi$ , para um elemento estrutural com um comprimento superior a 10m deverá ser calculado segundo:

$$\tan \phi = 0,01 \cdot \sqrt{\frac{10}{h}}$$

Onde:

$h$  é a altura total, em metros, de um elemento à compressão ou torre;



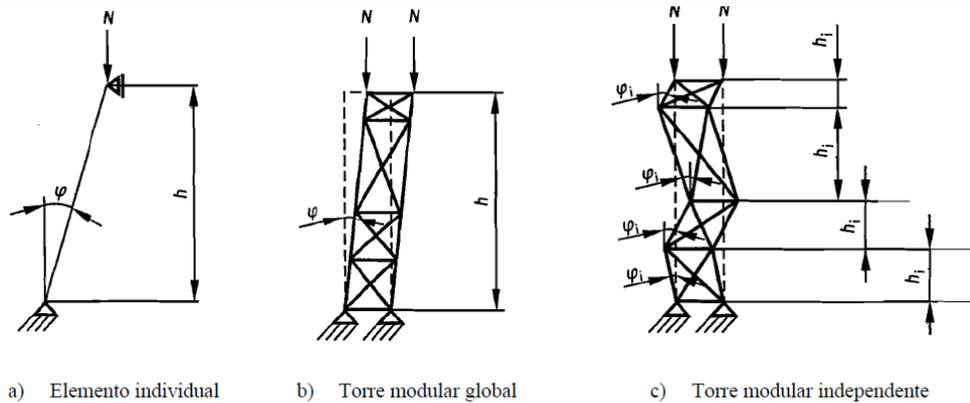
$\phi$  é o desvio angular da linha teórica.

Para estruturas onde  $h$  é inferior a 10m,  $\tan \phi$  deve ser considerado igual a 0,01, logo:

$$\tan \phi = 0,01$$

A imperfeição,  $\phi$ , deve ser normalmente considerada como uma imperfeição global, como mostra a figura Figura abaixo (à esquerda e central) para um só elemento e uma torre respectivamente. Contudo, onde os elementos à compressão não são elementos contínuos, a imperfeição para cada elemento individual, como o que se mostra na Figura à direita de altura  $h_i$ , deve também ser tomado em conta.

A imperfeição global e a imperfeição para elementos individuais não necessitam de ser considerados como efeitos simultâneos. A imperfeição angular,  $\phi$ , na figura Figura 49c) foi definida no item 1.2.1 Tubos Livres.



#### Imperfeição resultante de nós móveis de elementos à compressão

$h_i$  é a distância vertical entre elementos horizontais sucessivos;  
 $N$  é a acção vertical.

## **Referências**

*Regras para o dimensionamento de Cimbres em estruturas de Betão Armado – Pedro Daniel Rocha Oliveira*

*Dimensionamento de Cofragens para Estruturas de Betão Armado – Joana Inês Riberio de Sá Correia*

*Estudio de Criterios de Diseño y Cálculo de Encofrados de Elementos Verticales. Aplicación a Varias Estructuras – Pedro José Lorenzo Plumed*

*UNE-EN 12812 Requisitos de comportamiento y diseño general*



**ABRASFE**  
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS  
DE FÔRMAS, ESCORAMENTOS E ACESSO

11 2276-7994  
contato@abrasfe.org.br

Av. Jabaquara, 2049 – Sala 101  
São Paulo/SP - CEP 04045-003

[www.abrasfe.org.br](http://www.abrasfe.org.br)