



NB1 1960 × CEB 1964
Coeficiente de Segurança : Global × Parcial
Prof. Fernando L. Lobo B. Carneiro

Prof. Eduardo C. S.
Thomaz
Notas de aula



Revista editada pelo Prof. Aderson Moreira da Rocha

- **Segurança : Coeficiente Global × Coeficientes Parciais**
- **Observação : $(NB1 : \sigma_R) = (NBR 6118 : f_{ck})$**

PREFÁCIO ÀS NORMAS DE CONCRETO ARMADO DO COMITE EUROPEU DO CONCRETO

Fernando Luiz Lobo B. Carneiro

1. A Associação Brasileira de Normas Técnicas e o Comitê Brasileiro do Concreto, — órgão brasileiro da Organização Latino Americana do Concreto (O.L.A.C.), assumiram com o Comitê Europeu do Concreto (C.E.B.) o compromisso de publicar uma tradução portuguesa do projeto de norma de cálculo e execução de obras de concreto armado elaborado por esta instituição. Essa tarefa foi consideravelmente facilitada graças ao oferecimento do professor Aderson Moreira da Rocha, que colocou as páginas da revista Estrutura à disposição da A.B.N.T. e do C.B.C. Inicia-se assim a publicação da tradução portuguesa das “Recommandations Pratiques Unifiées pour le Calcul et l’Exécution du Béton Armé — en vue d’un Reglement International de Béton Armé”, do C.E.B., que constituem um passo importantíssimo para a unificação, em escala internacional, das normas relativas ao concreto armado, começando pela unificação das notações.

2. A publicação da Norma do C.E.B. marcará, no Brasil a abertura dos debates nos meios técnicos tendo em vista a futura revisão da NB-1 e a elaboração do texto definitivo da NB-2. O apoio do Brasil e demais países da América Latina, através da O.L.A.C., aos trabalhos do C.E.B., — inclusive por meio de contribuições originais resultantes da experiência própria de cada país, — poderá contribuir valiosamente para a tão almejada unificação em escala internacional.

4. Procuraremos neste artigo mostrar algumas das muitas afinidades existentes entre a NB-1 e a norma do C.E.B., que criam desde o início terreno favorável a uma evolução da NB-1 e da NB-2 na

mesma direção adotada pelo C.E.B. Diga-se aliás, de passagem, que a contribuição brasileira já se fêz sentir em diversos itens da norma do C.E.B., graças à participação da A.B.N.T. como “membro observador” desse organismo internacional, desde 1961.

4. A norma do C.E.B. parte da consideração de diferentes *estados-limite* das estruturas: o *estado-limite último*, correspondente à ruptura ou colapso, ou, de um modo ainda mais geral, à “*inutilização*” (“*mise hors service*”) da obra, e os *estados-limite* relativos às *condições de serviço* (“*serviçabilité*”), tais como a fissuração e as deformações sob as cargas de utilização. O cálculo dos *esforços resistentes*, baseado no *estado-limite último*, é quasi idêntico ao cálculo baseado no *estadio III* da NB-1. Na flexão, por exemplo, o C.E.B. adota como diagrama simplificado da distribuição das tensões de compressão no concreto um diagrama retangular, exatamente como a NB-1, mas sua altura é considerada como igual a apenas 3/4 da distância da linha neutra à borda comprimida. O encurtamento de ruptura do concreto adotado corresponde ao limite inferior dos resultados experimentais (0,35%), e não a um valor convencional, como na NB-1. Estas modificações não afetam o cálculo das peças normalmente armadas (chamadas “sub-armadas”), mas conduzem a um critério muito mais racional que o da NB-1 para determinar o limite além da qual a peça é super-armada. A adoção desse critério do C.E.B. poderá ser imediatamente introduzida na NB-1, e constituirá um grande aperfeiçoamento da norma brasileira, sem que com isso se altere, na prática, o dimensionamento das peças normalmente armadas.

5. O capítulo em que a norma do C.E.B. contém maiores inovações é o relativo ao critério de segurança. A noção de coeficiente de segurança é aperfeiçoada, graças à aplicação de métodos *semi-probabilistas*. A leitura do capítulo I dos “Princípios”, — com o qual se inicia a publicação em Estrutura, e das notas que o acompanham, dispensa maiores explicações. Mas mesmo neste capítulo existem afinidades com a NB-1. A incerteza resultante da inevitável *variação dos característicos mecânicos dos materiais*, é considerada na norma do C.E.B. através do estudo estatístico dos resultados de ensaios, exatamente do mesmo modo que na NB-1, com a diferença que a NB-1 só o faz com clareza em relação ao concreto. Na norma do C.E.B. tanto o concreto como o aço da armadura são caracteri-

zados por uma *resistência característica* definida pela probabilidade de 5% de serem encontrados resultados de ensaios a ela inferiores.

A *resistência característica* do concreto (σ'_{bk}) do C.E.B. coincide exatamente com a tensão de ruptura (σ_R) da NB-1 (o índice *b* significa *concreto* na notação internacional, “béton” em quasi tôdas as línguas, “betão” em Portugal). São adotados corpos de prova cilíndricos.

Quando o fabricante do aço *garante* uma determinada *resistência característica* (σ_{ak}), — caso êste previsto na norma do C.E.B., essa resistência pode ser confundida com o limite de escoamento mínimo especificado para a categoria de aço empregado na obra (min. σ_e), da NB-1. No caso de armadura de tração o característico mecânico adotado pelo C.E.B. para definir a *resistência característica do aço* é o *limite de escoamento real*, — ou *convencional* (limite 0,2% de *deformação permanente*); no caso de armadura de compressão, o último texto do C.E.B. adotou o mesmo critério da NB-1: em lugar da tensão de escoamento, real ou convencional, a tensão correspondente à *deformação total* 0,2% (σ'_{a2} na norma do C.E.B., e σ'_e na NB-1) (o índice *a* significa *aço* na notação internacional, e a “linha” significa, de um modo geral, compressão).

A norma do C.E.B. é portanto mais sistemática que a NB-1, pois adota a definição de *resistência característica*, baseada numa probabilidade de $\square\%$, não só para o concreto, como também para o aço (média menos $1,64 \times$ desvio padrão)

C.E.B.		NB-1	
σ'_{bk}	=	σ_R	= fck
σ_{ak}	=	min. σ_e (especificado)	= fyk
σ_{a2}	=	min. σ'_e (especificado)	= f 0.2 k

A *resistência característica do concreto à tração* é também definida na norma do C.E.B., dentro do mesmo critério (σ_{bk} sem “linha”, por se tratar de tração, de acôrdo com a regra geral). Essa resistência pode ser determinada por meio do método brasileiro MB-212(compressão diametral de corpos de prova cilíndricos), ou por meio de ensaios de flexão, com aplicação de coeficientes corretivos apropriados. Pode também ser avaliada por meio de um fórmula semelhante à do item 5.3.3 da P NB-212.

6. A noção de *carga característica*, considerada como a *carga máxima provável durante a vida útil da obra*, coincide com o critério de cargas acidentais de cálculo das normas brasileiras NB-5, NB-6 e NB-7. O C.E.B. prevê que, em certos casos, as *cargas características* poderão ser também determinadas por meio de um estudo estatístico, como por exemplo as cargas permanentes (variação do peso específico dos materiais). As *cargas não-aleatórias*, fixadas a priori por uma decisão (normas relativas às cargas), são no entanto consideradas, pura e simplesmente, como *cargas características*, independentemente de qualquer estudo estatístico, aliás impossível, nas condições atuais, por falta de dados suficientes. É esse o caso das cargas acidentais da NB-5 e dos trens tipo rodoviários e ferroviários da NB-6 e NB-7.

$$\begin{array}{rcl} \text{C.E.B.} & & \text{NB-1} \\ Q_k & = & p \\ q_k & = & p \end{array}$$

As cargas permanentes características poderão ser determinadas por meio de um estudo estatístico, tendo como base a probabilidade de 14%, considerando-se a variação para mais ou para menos, conforme a carga permanente atue contra ou a favor da segurança (média mais ou menos o desvio padrão).

6. Uma *diferença importante* entre a norma do C.E.B. e a NB-1 é o valor da resistência do concreto no cálculo da resistência dos pilares, e, de um modo geral, das peças em que a seção transversal é totalmente comprimida. Na NB-1 aparece o coeficiente 8/9, para transformar a resistência determinada em corpos de prova cilíndricos em resistência de peças prismáticas mais alongadas. Na norma do C.E.B. aparece o coeficiente 0,75, que leva em conta não só esse efeito, como a influência desfavorável das cargas de longa duração.

$$\begin{array}{rcl} \text{C.E.B.} & & \text{NB-1} \\ 0,75 \sigma_{bk}' & \leq & 8/9 \sigma_R \end{array}$$

Por outro lado, o C.E.B. não adota coeficientes de segurança maiores para as cargas móveis, como a NB-1 e a NB-2, mas manda *multiplicar as cargas móveis características por 1,15*, antes de introduzi-las no cálculo. Este critério é semelhante ao adotado na prática no Brasil, e que consiste em multiplicar previamente as cargas

móveis por 1,2, unificando em seguida os coeficientes de segurança, como faz aliás a P NB-116 (verificação das tensões em serviço).

7. Examinemos, para finalizar, o critério do C.E.B. relativo aos coeficientes de segurança. Em lugar de um único coeficiente de segurança ν , como na NB-1, a norma do C.E.B. dissocia-se em 2 fatores, γ_m e γ_s . O primeiro é aplicado aos *esforços resistentes*, como divisor (coeficiente de *minoração das resistências*), e o segundo aos *esforços solicitantes*, como multiplicador (coeficiente de *majoração das solicitações* características). O coeficiente γ_m (γ_a para o aço e γ_b para o concreto) leva em conta principalmente as falhas e erros de execução que afetam a resistência das peças. O coeficiente γ_s considera não só os erros de execução que possam afetar os próprios esforços solicitantes, como também as diferenças entre o comportamento real da estrutura e o esquema teórico simplificado adotado, certas influências em geral não computadas no cálculo, e a maior ou menor gravidade das conseqüências de um acidente eventual ou da ruína.

C.E.B.	NB-1
$\gamma = \gamma_m \cdot \gamma_s$	$\neq \nu$

A norma do C.E.B., ao contrário da NB-1, e aliás de modo bastante lógico, adota um γ_m para o concreto (γ_b) maior que o γ_m do aço (γ_a), pois as falhas de execução afetam muito mais a resistência do concreto que a da armadura. Essa diferença dificulta um pouco a comparação entre a NB-1 e a norma do C.E.B.

8. Chamando simbolicamente S os *esforços solicitantes calculados com as cargas características*, e R os *esforços resistentes*, função das *resistências características*, teríamos:

$$\text{C.E.B.: } \gamma_s : S \leq \frac{R \text{ (função de } \sigma_k)}{\gamma_m}$$

ao passo que na NB-1: $\nu : S \leq R \text{ (função de } \sigma_k)$

A condição de segurança do C.E.B. pode também ser escrita da seguinte maneira:

$$\text{C.E.B.: } \gamma_s : S \leq R \left(\text{função de } \frac{\sigma_k}{\gamma_m} \right)$$

Os valores $\gamma_s \cdot S$ e $\frac{\sigma_{lc}}{\gamma_m}$ são chamados respectivamente *solicitação de cálculo* (S^*) e *resistência de cálculo* (σ^*). O asterisco significa que a solicitação já foi multiplicada pelo coeficiente γ_s e que a resistência característica já foi dividida pelo coeficiente γ_m .

$$S^* = \gamma_s \cdot S \quad \sigma^* = \frac{\sigma_{lc}}{\gamma_m}$$

e assim

$$\text{C.E.B.: } S^* \leq R \text{ (função de } \sigma^*)$$

9. Apliquemos os critérios do C.E.B. e da NB-1 ao cálculo de uma coluna com carga axial. Não adotamos nenhuma notação para as áreas das seções transversais para que não haja confusão, pois a notação internacional do C.E.B. é diferente da da NB-1.

$$\begin{aligned} \text{C.E.B.: } \gamma_s \cdot N = N^* \leq & \text{(seção de armadura)} \cdot \frac{\sigma_{a2}'}{\gamma_a} + 6 \\ & + \text{(seção de concreto)} \cdot \frac{0,75 \sigma_{bk}'}{\gamma_b} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{NB-1: } \nu \cdot N = N_R \leq & \text{(seção de armadura)} \sigma_e' + \\ & + \text{(seção de concreto)} \ 8/9 \sigma_R \end{aligned}$$

sendo que, como vimos, $\sigma_{a2}' = \sigma_e'$ e $\sigma_{bk}' = \sigma_R$.

Nos casos correntes temos (C.E.B.):

$\gamma_s = 1,4$ (coeficiente único de majoração das solicitações);

$\gamma_a = 1,15$ (coeficiente de minoração, do concreto);

$\gamma_b = 1,50$ (coeficiente de minoração, do aço).

e (NB-1):

$\nu = 2,00$ (coeficiente de segurança de pilares)

Passando tanto γ_s (C.E.B.) como ν (NB-1) para o segundo membro, e efetuando os cálculos, temos finalmente:

$$\begin{aligned} \text{C.E.B.: } N \leq & \text{(seção de armadura)} \cdot \frac{\sigma_{a2}'}{1,61} + \\ & + \text{(seção de concreto)} \cdot \frac{\sigma_{bk}'}{2,80} \end{aligned}$$

$$\text{NB-1: } N \leq (\text{seção de armadura}) \cdot \frac{\sigma'_e}{2,00} \\ + (\text{seção de concreto}) : \frac{\sigma_R}{2,25}$$

Na fórmula do C.E.B. a parcela correspondente à armadura é maior que na NB-1 (coeficiente de segurança 1,61 no C.E.B. e 2,00 na NB-1). Em compensação a parcela correspondente ao concreto é menor (coeficiente global 2,80 no C.E.B. e 2,225 na NB-1).

A norma do C.E.B. não fixa limite superior para $\sigma'_{bk} = \sigma_R$, como a NB-1. O valor de γ_b , que é 1,50 nos casos correntes, é majorado quando a menor dimensão do pilar fôr inferior a 20 cm, tal como na NB-1; e pode ser reduzido no caso de peças pré-fabricadas ou de obras com contrôlo rigoroso e métodos de execução cuidadosos. É preciso além disso levar em conta que a norma do C.E.B. adota, para a verificação de flambagem, um processo inteiramente diferente do da NB-1, e que constitui uma de suas principais inovações (introdução de um momento fictício, ou excentricidade complementar).

A dissociação do coeficiente de segurança em *dois fatores*, um aplicado às solicitações, outro às resistências, permite uma maior "racionalização" do coeficiente de segurança, e possibilita uma interpretação mais fácil da repercussão das falhas de execução ou das deficiências do cálculo sôbre a segurança da obra.

10. Com os comentários feitos neste artigo e o exemplo concreto apresentado (cálculo dos pilares com carga axial) pensamos ter contribuído para uma compreensão mais clara da norma do C.E.B., de suas afinidades com a NB-1, e das diferenças de concepção existentes entre as duas normas. Vale assim êste artigo como prefácio à edição brasileira da norma do C.E.B., cuja publicação em Estrutura, por iniciativa da A.B.N.T. e do C.B.C. está destinada a desempenhar papel decisivo para a atualização das normas estruturais brasileiras.

ANEXO NB1 – 1960

CAPÍTULO VII

COEFICIENTES DE SEGURANÇA E TENSÕES ADMISSÍVEIS

A — COEFICIENTES DE SEGURANÇA (ESTÁDIO III)

Peças calculadas em função da carga de ruptura

95. Nos casos de peças calculadas em função da carga de ruptura os coeficientes de segurança serão os seguintes:

a) peças solicitadas a flexão simples ou composta (item 25)

$\nu = 1,65$ para tôdas as cargas permanentes, para as cargas acidentais definidas na NB-5 e para os esforços devidos à retração e à variação de temperatura

$\nu = 2,00$ para as demais cargas acidentais

b) peças solicitadas a compressão axial (itens 23 e 32) e a tração axial (item 24)

$\nu = 2,00$ para tôdas as cargas permanentes, para as cargas acidentais definidas na NB-5 e para os esforços devidos à retração e à variação de temperatura

$\nu = 2,40$ para as demais cargas acidentais.

Nos casos previstos nos itens 42 e 57, os coeficientes ν serão multiplicados respectivamente por 1,2 e 1,3.

+ + +