

## Modelos para previsão do módulo de deformação longitudinal do concreto: NBR-6118 versus CEB

### Models for prevision of the modulus of elasticity of concrete: NBR-6118 versus CEB

José Milton de Araújo

Escola de Engenharia - FURG - Rio Grande, RS

**RESUMO:** O objetivo deste trabalho é analisar a correlação entre o módulo de deformação longitudinal do concreto e sua resistência à compressão. Diversos resultados experimentais realizados no Brasil e disponíveis na bibliografia são utilizados para testar a validade das fórmulas de projeto apresentadas na NBR-6118 e no CEB/90. Do estudo realizado, conclui-se que a fórmula do CEB é a que melhor representa a correlação entre o módulo de deformação longitudinal e a resistência à compressão do concreto. Sugere-se que essa fórmula seja incorporada na próxima revisão da NBR-6118.

**ABSTRACT:** The subject of this work is to analyze the correlation among the modulus of elasticity of concrete and its compressive strength. Several experimental results accomplished in Brazil and available in the bibliography are used to test the design equations presented in NBR-6118 and in CEB/90. Of the accomplished study, it is concluded that the formula of CEB is what best represents the correlation among the modulus of elasticity and the compressive strength of concrete. It is suggested that this formula is incorporated in the next revision of NBR-6118.

#### 1. INTRODUÇÃO

O concreto apresenta um comportamento não-linear, quando submetido a tensões de certa magnitude. Esse comportamento é consequência da microfissuração progressiva que ocorre na interface entre o agregado graúdo e a pasta de cimento.

O diagrama tensão-deformação ( $\sigma_c - \varepsilon_c$ ), obtido em um ensaio de compressão simples, é da forma indicada na fig. 1, onde se observa que não há proporcionalidade entre tensão e deformação. O trecho descendente do diagrama é obtido em um ensaio com velocidade de deformação controlada.

Na fig. 1,  $E_c$  é o módulo de deformação longitudinal tangente, representando a inclinação da reta tangente à curva na origem do diagrama.

Analogamente, o módulo secante  $E_{cs}$  representa a inclinação da reta que passa pela origem e corta o diagrama no ponto correspondente a uma tensão da ordem de  $0,4f_c$ , sendo  $f_c$  a resistência à compressão simples.

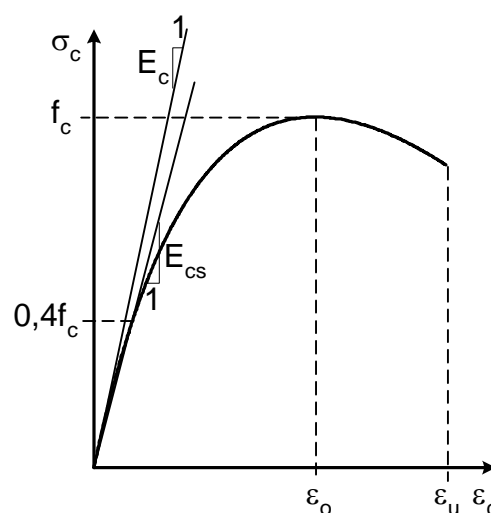


Fig. 1 - Diagrama tensão-deformação do concreto (compressão simples)

No Brasil, esses valores de módulo de deformação longitudinal são determinados conforme as prescrições da NBR-8522[1].

Experimentalmente, verifica-se que o módulo de deformação longitudinal depende do valor da resistência à compressão do concreto. O mesmo

ocorre com as deformações  $\varepsilon_o$  e  $\varepsilon_u$  indicadas na fig. 1.

Diversas correlações entre o módulo e a resistência à compressão do concreto têm sido encontradas em trabalhos de pesquisa, estando algumas delas recomendadas nas normas de projeto. Essas correlações são válidas para concretos de massa específica normal e para carregamento estático. Para cargas dinâmicas, ocorre um aumento no valor do módulo de deformação longitudinal.

A seguir são apresentadas as relações propostas pelo CEB/90[2] e pela NBR-6118[3]. Como é usual nos códigos de projeto, admite-se o mesmo valor para o módulo em tração e em compressão.

## 2. RELAÇÕES ENTRE O MÓDULO DE DEFORMAÇÃO E A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

### a) Relação do CEB/90

Segundo o CEB/90, o módulo tangente pode ser obtido através da expressão

$$E_c = 21500 \left( \frac{f_{cm}}{10} \right)^{1/3}, \text{ MPa} \quad (1)$$

onde  $f_{cm} = f_{ck} + 8$  MPa é a resistência média à compressão, estimada a partir da resistência característica  $f_{ck}$ .

O módulo secante é dado por

$$E_{cs} = 0,85 E_c \quad (2)$$

A expressão (1) é válida para concretos feitos com agregados de quartzo (granito e gnaisse). Essa expressão deve ser multiplicada por 1,2 se forem usados agregados de basalto, por 0,9 para agregados de calcário e por 0,7 para agregados de arenito.

### b) Relação da NBR-6118

De acordo com a NBR-6118, o módulo tangente pode ser estimado em função da resistência característica  $f_{ck}$ , através da expressão

$$E_c = 5600 \sqrt{f_{ck}}, \text{ MPa} \quad (3)$$

O módulo secante é obtido com o emprego da equação (2), de onde resulta

$$E_{cs} = 4760 \sqrt{f_{ck}}, \text{ MPa} \quad (4)$$

A expressão (4) é praticamente a mesma equação proposta para o módulo secante pelo ACI[4]. A diferença, de menos de 1%, decorre de arredondamento no coeficiente da equação (3), como já foi mostrado pelo Autor[5].

Na fig. 2, apresentam-se as variações do módulo tangente  $E_c$  com a resistência à compressão característica  $f_{ck}$ , de acordo com as equações (1) e (3). Observa-se que a NBR-6118 só se aplica a concretos com  $f_{ck} \leq 50$  MPa, enquanto o CEB/90 é válido até  $f_{ck} = 80$  MPa.

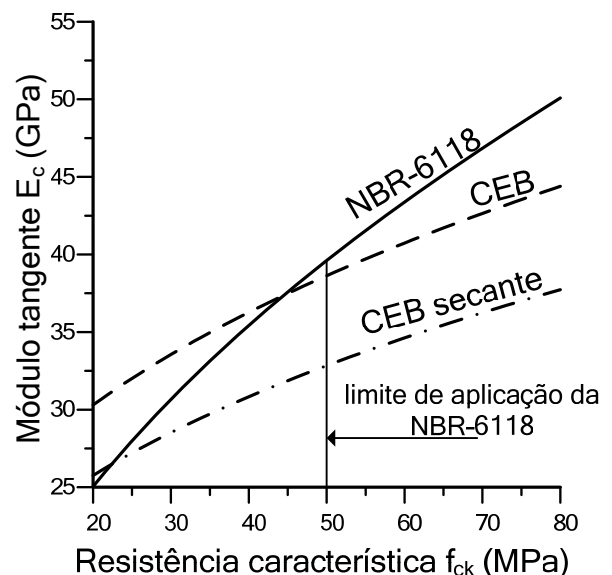


Fig. 2 – Variação dos módulos de deformação com a resistência à compressão do concreto

Da fig. 2, constata-se que, dentro do campo de validade da NBR-6118, ela fornece um módulo tangente quase sempre menor que o módulo tangente do CEB. Isto pode induzir o projetista a optar pelo módulo da NBR-6118, como medida de precaução. Entretanto, em algumas verificações, como na avaliação do comportamento global da estrutura, a NBR-6118 permite utilizar o módulo tangente  $E_c$ , enquanto o CEB sempre recomenda o uso do módulo secante  $E_{cs}$ . Neste caso, o módulo secante do CEB será menor que o módulo tangente da NBR-6118, ficando a favor da segurança.

Na verdade, a discussão anterior não tem amparo científico. O modelo de cálculo deve ser escolhido, não pelo fato de que ele fornece o menor valor para o módulo, mas porque ele é mais consistente com os resultados experimentais. Para isto são feitos os ensaios, os quais servem de base para a aferição dos modelos teóricos. Se o modelo A fornece um valor maior para o módulo, mas ele é mais consistente com os resultados experimentais que o modelo B, o modelo A é o que deve ser adotado nas normas de projeto.

Apesar de ter considerado todas as expressões do CEB/90 para a modelagem das propriedades do concreto, a NBR-6118 adotou a expressão do ACI para previsão do módulo de deformação longitudinal. Em vista desse fato, torna-se natural o seguinte questionamento: “há evidência experimental de que os concretos produzidos no Brasil se comportam de acordo com as equações (3) e (4), ou a opção da NBR-6118 por essas formulações terá sido arbitrária?”. O objetivo deste trabalho é desvendar esse mistério!

Deve-se observar que a NBR-6118 propõe a avaliação do módulo de deformação longitudinal em função da resistência característica  $f_{ck}$ , enquanto o CEB adota uma correlação com a resistência média  $f_{cm}$ . Além disso, a NBR-6118 adota uma correlação com base na raiz quadrada da resistência, enquanto o CEB adota uma correlação com base na raiz cúbica.

A rigor, o módulo de deformação longitudinal do concreto é uma função de sua resistência média  $f_{cm}$  e não da resistência característica  $f_{ck}$ . Desse modo, quando a resistência média real do concreto for conhecida, ela deve ser usada diretamente na expressão (1). Na fase de projeto, a resistência média deve ser estimada, podendo-se adotar  $f_{cm} = f_{ck} + 8$  MPa, conforme sugere o CEB/90.

Desse modo, quando se comparam essas formulações com resultados experimentais, deve-se usar a correlação direta entre o valor médio do módulo de deformação longitudinal,  $E_c$  ou  $E_{cs}$ , e a resistência média à compressão  $f_{cm}$ , obtidos nos corpos de prova ensaiados. Em geral, empregam-se dois ou três corpos de prova para a determinação desses valores médios, para cada traço de concreto.

Assim, no estudo feito a seguir adota-se  $f_{cm}$ , no lugar de  $f_{ck}$ , nas expressões (3) e (4). Na

equação (1), considera-se o valor real de  $f_{cm}$ , obtido nos ensaios.

Deve-se salientar que o módulo de deformação longitudinal do concreto depende de diversos fatores, sendo a resistência à compressão apenas um deles. Assim, é de se esperar uma grande dispersão de resultados quando se compara  $E_c$  (ou  $E_{cs}$ ) com  $f_{cm}$ . Os modelos de previsão dão apenas uma estimativa do valor médio do módulo de deformação longitudinal em função da resistência à compressão do concreto, o que é útil na fase de projeto. Esses modelos não podem ser utilizados, de forma alguma, para controle do concreto produzido na obra.

### 3. RESULTADOS EXPERIMENTAIS USADOS PARA AFERIÇÃO DOS MODELOS

Os resultados experimentais, utilizados para a verificação dos dois modelos de previsão do módulo de deformação longitudinal do concreto, foram realizados por diversos autores e encontram-se disponíveis na bibliografia. Todos os ensaios foram realizados no Brasil, com materiais disponíveis na região.

Em alguns casos, os autores dos ensaios optaram pela determinação do módulo tangente  $E_c$ . Em outros, foram determinados os valores do módulo secante  $E_{cs}$ . Em todos os casos, esses módulos foram determinados conforme as recomendações da norma brasileira NBR-8522 [1].

Na tabela 1, apresenta-se a relação de todos os ensaios utilizados como banco de dados. Nessa tabela constam o número da referência bibliográfica, a unidade da federação onde os ensaios foram realizados, o ano da publicação, o tipo de agregado utilizado no concreto, o número de pares de valores ( $f_{cm}, E_c$ ) ou ( $f_{cm}, E_{cs}$ ) disponíveis na publicação e o tipo de módulo que foi determinado ( $E_c$  ou  $E_{cs}$ ). Todos os pontos foram considerados na análise numérica, ou seja, nenhum resultado publicado foi descartado. O número total de pontos é NP=424.

Tabela 1 – Ensaios utilizados no estudo

Ref.	UF	Ano da publicação	Agregado	NP	Tipo
6	MG	1996	calcário gnaisse	43 10	$E_{cs}$
7	RJ	1996	traquito	21	$E_{cs}$
8	BA	1996	escória gnaisse	14 14	$E_{cs}$
9	SP	1998	granito	105 105	$E_c$ $E_{cs}$
10	RJ	2001	traquito gnaisse	6 6	$E_{cs}$
11	RJ	2005	gnaisse e sienito	100	$E_c$

#### 4. COMPARAÇÃO COM RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Nas figuras apresentadas a seguir, comparam-se os módulos de deformação longitudinal obtidos através das formulações anteriores com os resultados experimentais disponíveis na bibliografia.

Na formulação do CEB/90, não é levado em conta o tipo de agregado, ou seja, adota-se a expressão (1) sem correção.

Para facilitar a visualização do ajuste das equações com os resultados experimentais, o eixo das abscissas é alterado. Na verificação do modelo da NBR-6118, esse eixo representa  $\sqrt{f_{cm}}$ , enquanto para o modelo do CEB ele corresponde a  $(f_{cm}/10)^{1/3}$ . Desse modo, as equações são plotadas como uma reta, a qual pode ser comparada com a reta de mínimos quadrados, também presente nas figuras.

O grau de ajuste das curvas teóricas aos resultados experimentais é determinado com o emprego do coeficiente

$$r = 1 - \frac{|d_{\max}|}{E_m} \quad (5)$$

onde  $E_m$  é a média de todos os valores de  $E_c$  (ou  $E_{cs}$ ) obtidos experimentalmente e  $|d_{\max}|$  é o valor absoluto da maior diferença detectada entre a reta de mínimos quadrados e a fórmula proposta nas normas de projeto.

Desse modo, quanto menor for o coeficiente  $r$ , maior será o desvio da equação de projeto em

relação aos resultados experimentais. O ajuste ideal é aquele em que  $r = 1$ .

#### 4.1 Resultados experimentais da referência 6

Na fig. 3, comparam-se os resultados experimentais da ref.[6] com o modelo do CEB para o módulo secante (equação (2)). Os pontos representam os resultados experimentais.

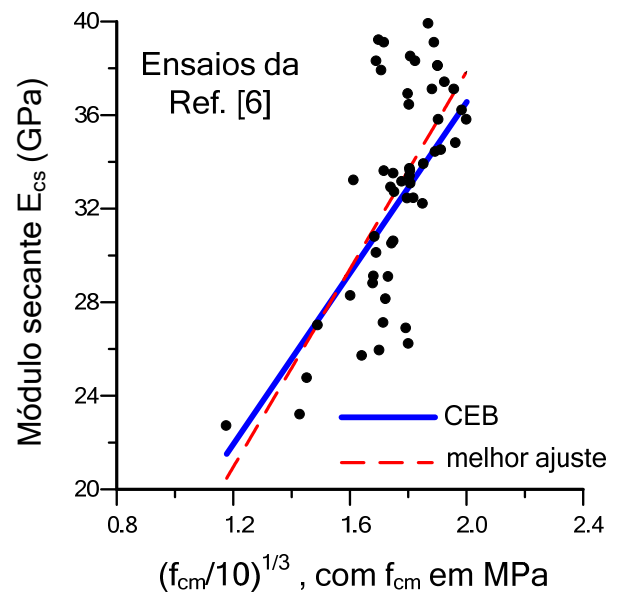


Fig. 3 – Modelo do CEB e resultados da ref.[6]

Conforme se observa, há um excelente ajuste entre a equação do CEB e os resultados experimentais, representados pela reta de mínimos quadrados (“melhor ajuste”).

Na fig. 4, comparam-se os resultados experimentais com a equação da NBR-6118 (equação (4)).

Conforme se observa na fig. 4, a fórmula da NBR-6118 tende a superestimar o módulo secante para concretos de resistência mais elevada.

Para esses concretos, os coeficientes de correlação, obtidos através da equação (5), foram os seguintes:

- CEB/90:  $r = 0,96$ ;
- NBR-6118:  $r = 0,86$ .

Esses valores confirmam o que se observa visualmente nas figuras 3 e 4, ou seja, que o modelo do CEB se ajusta melhor aos resultados experimentais.

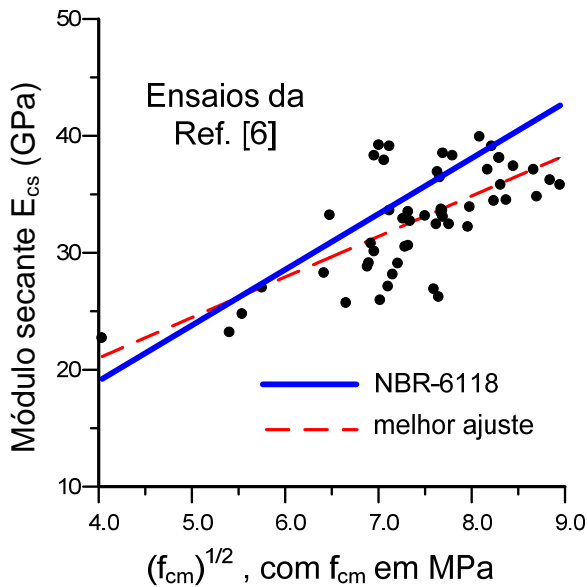


Fig. 4 – Modelo da NBR-6118 e resultados da ref.[6]

#### 4.2 Resultados experimentais da referência 7

Nas figuras 5 e 6, comparam-se os resultados experimentais da ref.[7] com os modelos do CEB e da NBR-6118, respectivamente.

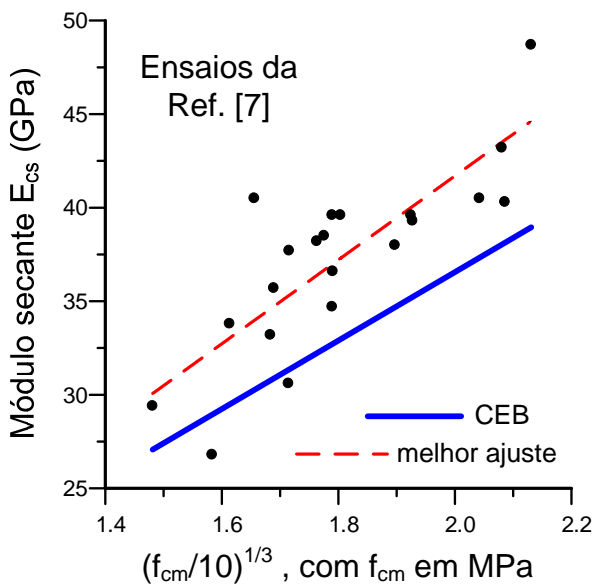


Fig. 5 - Modelo do CEB e resultados da ref.[7]

Para esses concretos, os coeficientes de correlação foram  $r = 0,85$ , para o modelo do CEB, e  $r = 0,91$ , para o modelo da NBR-6118, indicando um melhor ajuste do modelo da NBR-6118. Entretanto, observando a fig. 5, constata-se que a reta correspondente ao modelo do CEB é praticamente paralela à reta de mínimos quadrados. Isto indica que esse modelo será capaz

de representar os resultados experimentais com a simples introdução de um coeficiente para levar em conta o tipo de agregado, como sugerido no próprio CEB/90.

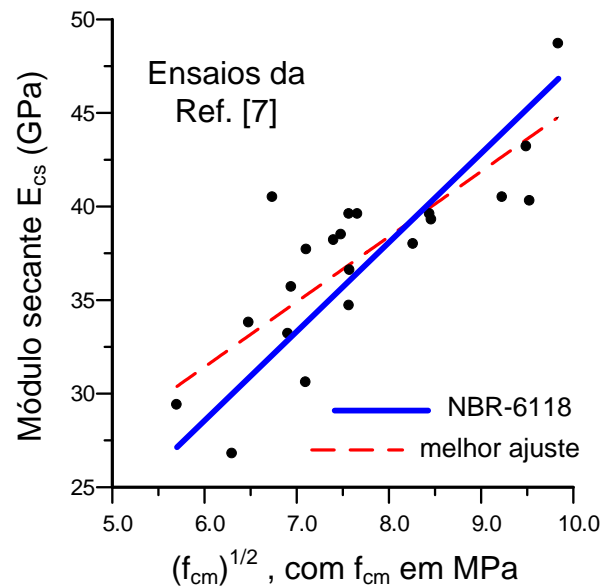


Fig. 6 – Modelo da NBR-6118 e resultados da ref.[7]

#### 4.3 Resultados experimentais da referência 8

Nas figuras 7 e 8 são apresentados os resultados correspondentes aos ensaios divulgados na ref.[8].

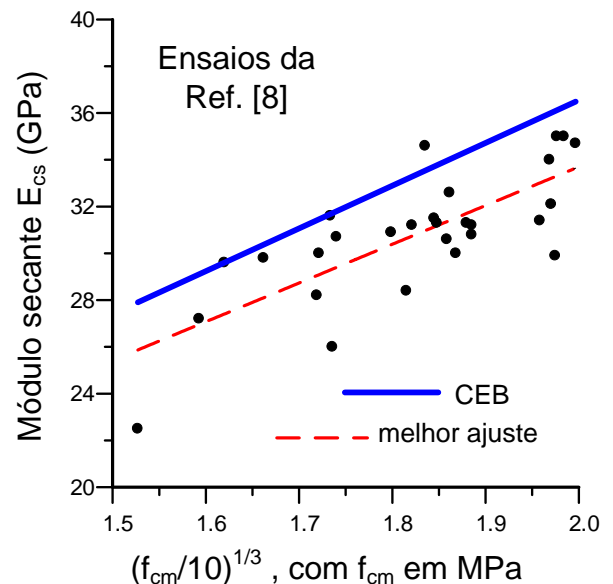


Fig. 7 - Modelo do CEB e resultados da ref.[8]

A fig. 7 mostra que a reta correspondente ao modelo do CEB é paralela à reta de mínimos quadrados. Logo, esse modelo é capaz de representar os resultados experimentais, bastando

multiplicar o valor de  $E_{cs}$  por uma constante de ajuste.

Por outro lado, a fig. 8 mostra que o modelo da NBR-6118 diverge dos resultados experimentais.

Os coeficientes de correlação obtidos para esses concretos são os seguintes:

- CEB/90:  $r = 0,91$ ;
- NBR-6118:  $r = 0,71$ .

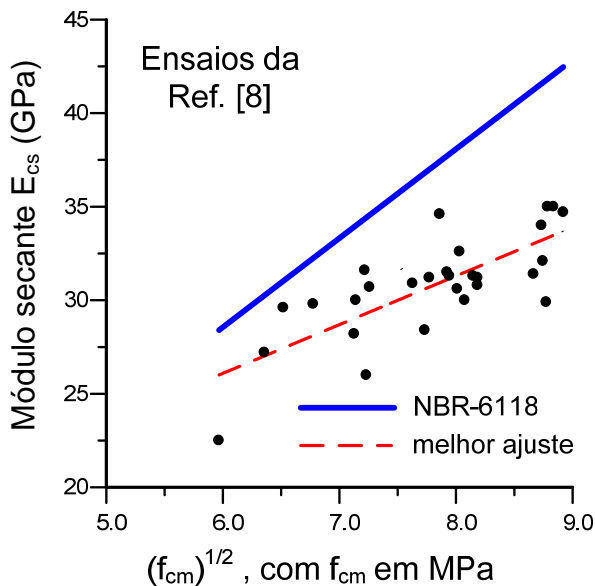


Fig. 8 – Modelo da NBR-6118 e resultados da ref.[8]

#### 4.4 Resultados experimentais da referência 9

Nas figuras 9 e 10 são apresentados os resultados correspondentes ao módulo tangente, divulgados na ref.[9].

Observando a fig. 9, constata-se que o modelo do CEB concorda muito bem com os resultados experimentais, o que não ocorre com o modelo da NBR-6118, apresentado na fig. 10.

Os coeficientes de correlação obtidos são os seguintes:

- CEB/90:  $r = 0,96$ ;
- NBR-6118:  $r = 0,83$ .

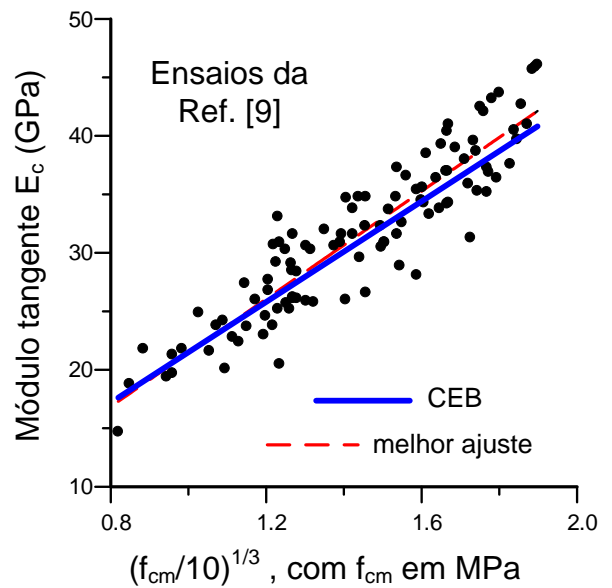


Fig. 9 - Modelo do CEB e resultados da ref.[9] – módulo tangente

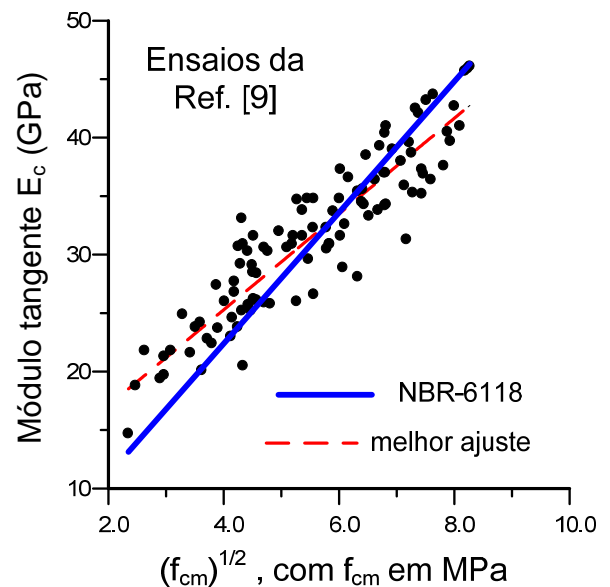


Fig. 10 – Modelo da NBR-6118 e resultados da ref.[9] – módulo tangente

Nas figuras 11 e 12 são apresentados os resultados correspondentes ao módulo secante, como divulgados na ref.[9].

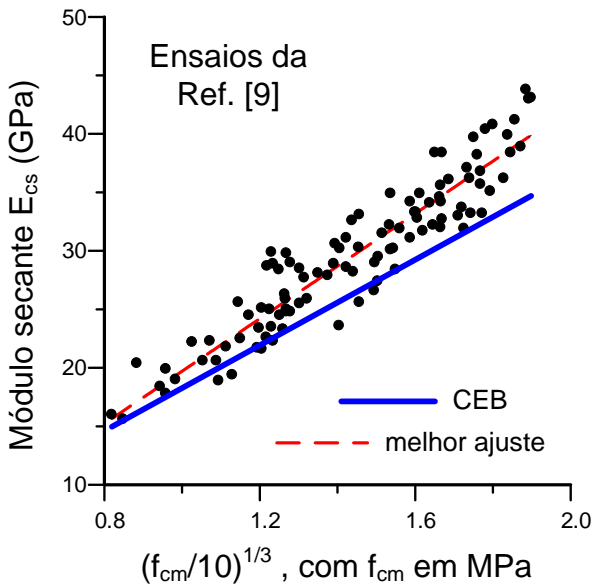


Fig. 11 - Modelo do CEB e resultados da ref.[9] – módulo secante

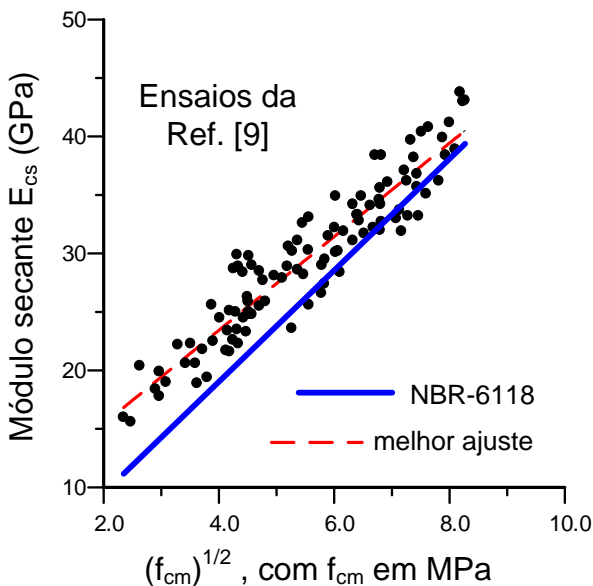


Fig. 12 – Modelo da NBR-6118 e resultados da ref.[9] – módulo secante

Os coeficientes de correlação, para os módulos secantes, são iguais a:

- CEB/90:  $r = 0,82$ ;
- NBR-6118:  $r = 0,81$ .

Observa-se que o modelo do CEB se ajustou muito bem aos resultados obtidos para o módulo tangente (fig. 9). Por outro lado, o módulo secante, calculado como  $E_{cs} = 0,85E_c$ , ficou abaixo dos valores de ensaio (fig. 11). Isto ocorreu porque os resultados experimentais indicaram uma relação  $E_{cs}/E_c = 0,94$ . Logo, a consideração de

$E_{cs}/E_c = 0,85$  é conservadora para esses concretos.

#### 4.5 Resultados experimentais da referência 10

Nas figuras 13 e 14, apresentam-se os resultados obtidos para os concretos da ref. [10].

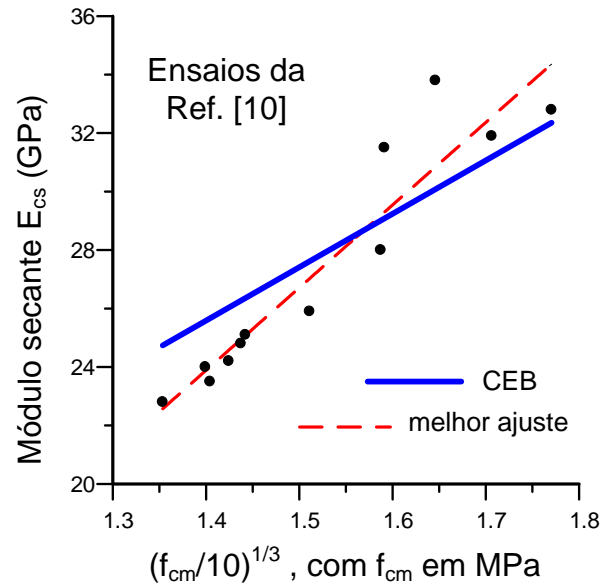


Fig. 13 – Modelo do CEB e resultados da ref.[10]

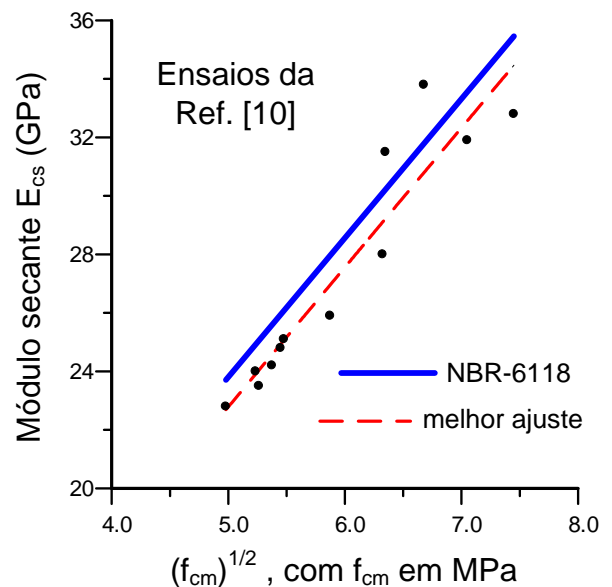


Fig. 14 – Modelo da NBR-6118 e resultados da ref.[10]

Para esses concretos, os coeficientes de correlação foram  $r = 0,92$ , para o modelo do CEB, e  $r = 0,96$ , para o modelo da NBR-6118, indicando um melhor ajuste do modelo da NBR-6118.

#### 4.6 Resultados experimentais da referência 11

Nas figuras 15 e 16 são apresentados os resultados correspondentes ao módulo tangente, divulgados na ref.[11].

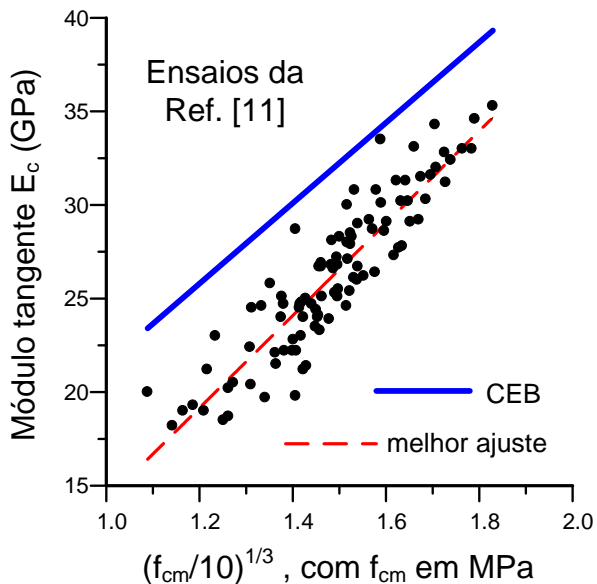


Fig. 15 – Modelo do CEB e resultados da ref.[11]

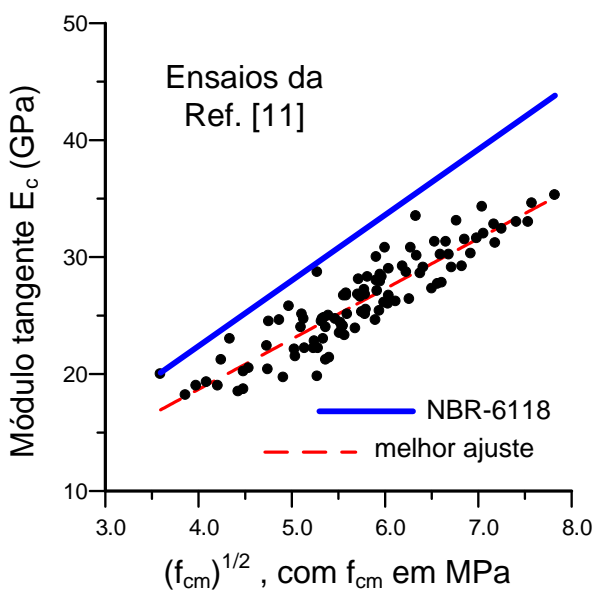


Fig. 16 – Modelo da NBR-6118 e resultados da ref.[11]

Os seguintes coeficientes de correlação foram encontrados:

- CEB/90:  $r = 0,73$ ;
- NBR-6118:  $r = 0,67$ .

Observa-se que os dois modelos fornecem valores do módulo tangente  $E_c$  superiores aos resultados experimentais. Há uma pequena

vantagem do modelo do CEB sobre a NBR-6118, quando se comparam os coeficientes  $r$ . Esse coeficiente indica o grau de afastamento máximo do modelo em relação à reta de mínimos quadrados. O CEB se afasta mais para os concretos de menor resistência, enquanto a NBR-6118 se afasta mais para concretos de maior resistência.

Consultando a ref. [11], verifica-se que foram utilizados diferentes procedimentos para a determinação do módulo de deformação do concreto: compressômetro, extensômetro mecânico e extensômetro elétrico. Conforme divulgado, houve necessidade de ajustes nos valores dos módulos, em vista da discrepância dos resultados. Tudo indica que esses resultados experimentais sejam mais representativos do módulo secante que do módulo tangente, como divulgado.

Admitindo que esses resultados experimentais sejam referentes ao módulo secante, obtém-se as correlações indicadas nas figuras 17 e 18. Neste caso, os coeficientes de correlação foram,  $r = 0,87$  para o modelo do CEB, e  $r = 0,92$ , para o modelo da NBR-6118.

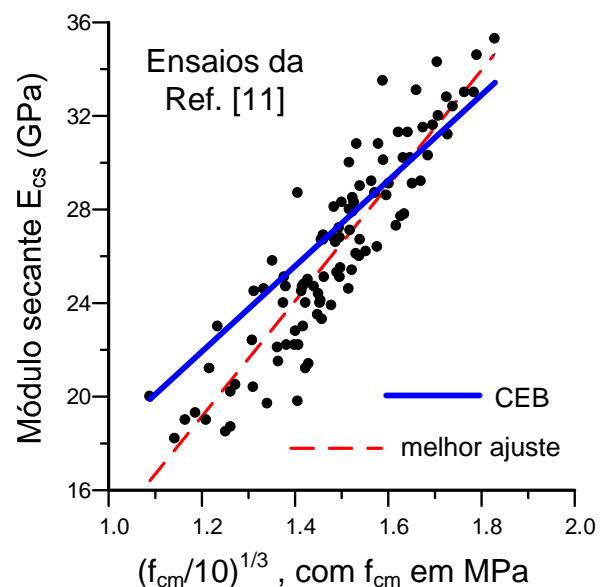


Fig. 17 – Modelo do CEB e resultados da ref.[11], considerados como módulos secantes



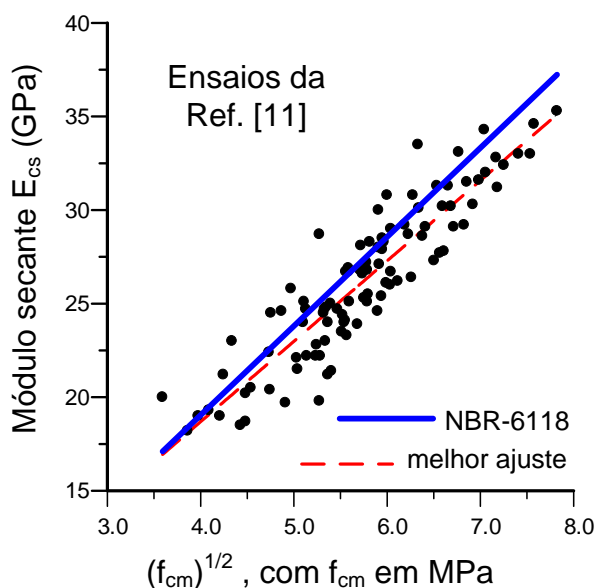


Fig. 18 – Modelo da NBR-6118 e resultados da ref.[11], considerados como módulos secantes

Analisando as figuras 17 e 18, conclui-se que esses resultados experimentais podem ser considerados como sendo representativos do módulo secante do concreto.

## 5. AGRUPAMENTO DE TODOS OS RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Nas figuras 19 e 20 considera-se a totalidade dos resultados experimentais referentes ao módulo secante do concreto. Apenas os 105 resultados da ref.[9], correspondentes ao módulo tangente, foram eliminados. Para esses 105 resultados, houve uma concordância quase perfeita com o modelo do CEB, como se verifica na fig. 9. Assim, considera-se um total de 319 pares de valores  $(f_{cm}, E_{cs})$ .

Para facilitar a visualização do erro das equações de projeto, esses gráficos são plotados a partir da origem (0,0).

Conforme se observa na fig. 19, a reta de mínimos quadrados tende a passar pela origem, quando a correlação é feita com a raiz cúbica da resistência à compressão. Por isso, é possível adotar uma expressão do tipo  $E_{cs} = a(f_{cm}/10)^{1/3}$ , onde  $a$  é uma constante, como no modelo do CEB.

Por outro lado, quando a correlação é feita com a raiz quadrada da resistência, a reta de mínimos quadrados se afasta da origem, como pode ser visto na fig. 20. Desse modo, a função  $E_{cs} = a\sqrt{f_{cm}}$  não possui um bom ajuste com os

resultados experimentais. Para empregar  $\sqrt{f_{cm}}$ , seria necessário adotar a expressão  $E_{cs} = a\sqrt{f_{cm}} + b$ , onde  $a$  e  $b$  são constantes. Por esse motivo, o próprio CEB abandonou sua formulação inicial, que tinha por base a raiz quadrada da resistência [12].

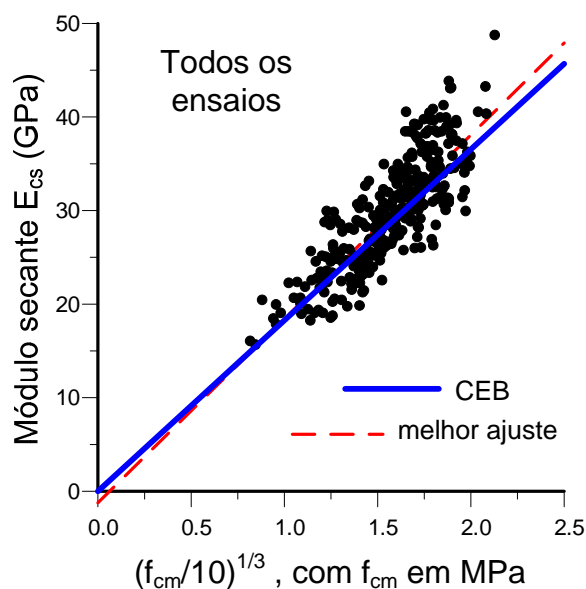


Fig. 19 – Modelo do CEB e todos os resultados para o módulo secante

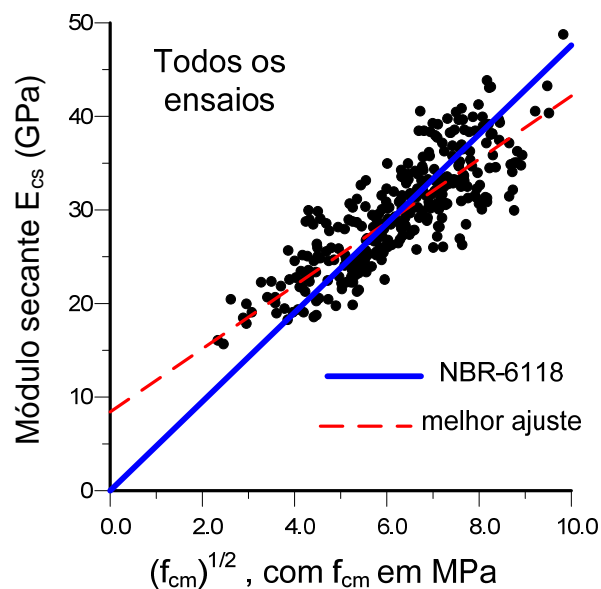


Fig. 20 – Modelo da NBR-6118 e todos os resultados para o módulo secante

Quando se consideram todos os 319 resultados experimentais, obtêm-se os seguintes coeficientes de correlação:

- CEB/90:  $r = 0,94$ ;
- NBR-6118:  $r = 0,82$ .

A partir desses valores e da análise das figuras 19 e 20, pode-se concluir, sem sombra de dúvidas, que o modelo do CEB/90 é o mais adequado para representar o comportamento de um conjunto de concretos de diferentes origens. Na verdade, isto é o que interessa ao projetista da estrutura, pois na fase de projeto ele não sabe qual concreto será utilizado na obra. Assim, é desejável que se disponha de um modelo de previsão do módulo que possa ser utilizado com boa confiabilidade.

A rigor, nenhuma fórmula simples, como as duas aqui analisadas, pode prever com certeza o módulo de deformação longitudinal de todos os concretos. Para isto, é necessário realizar ensaios na obra e obter as correlações apropriadas, se assim for desejado. Entretanto, se o objetivo for sugerir uma fórmula única para fins de projeto estrutural, essa fórmula deve ser aquela proposta pelo CEB.

## 6. CONCLUSÕES

O módulo de deformação longitudinal do concreto varia com sua resistência à compressão, como já se sabe de longa data. Entretanto, existem diversos fatores relacionados com a composição do concreto, os quais influenciam no valor do módulo de deformação. Desse modo, qualquer correlação entre o módulo e a resistência à compressão está sujeita a erros, que podem ser bastante grosseiros.

As equações que correlacionam  $E_c$  com  $f_c$  são muito úteis na fase de projeto, mas não servem para controle de qualidade de um concreto em particular. Esse controle deve ser feito por meio de ensaios com o concreto utilizado na obra.

A equação proposta na NBR-6118 não foi obtida a partir de ensaios realizados no Brasil, como tem sido aventado. Essa equação foi retirada do ACI, sofrendo apenas um pequeno arredondamento no coeficiente que multiplica  $\sqrt{f_{ck}}$ . Portanto, não se trata de uma equação original que representa os concretos produzidos no Brasil.

Neste trabalho, foram analisados 424 resultados de ensaios, realizados em diversas regiões do Brasil, por diferentes pesquisadores. Desse estudo, pode-se constatar que nenhuma fórmula é infalível, quando se analisam concretos particulares. É possível que, para um determinado concreto em

particular, a fórmula da NBR-6118 se ajuste melhor que a fórmula do CEB.

Entretanto, do ponto de vista do projetista e das normas que regulamentam o projeto estrutural, o mais importante é dispor de uma equação simples, que seja capaz de representar o comportamento de todos os concretos usualmente utilizados, em termos de um comportamento médio.

Nesse sentido, não resta a menor dúvida de que a equação do CEB/90 é mais adequada do que a equação da NBR-6118. Estranhamente, a NBR-6118 adotou todas as equações do CEB/90 para a modelagem das propriedades do concreto, exceto a equação que fornece o módulo de deformação longitudinal.

Sugere-se que, na futura revisão da NBR-6118, seja adotada a equação do CEB/90 para avaliar o módulo de deformação longitudinal do concreto na fase de projeto. Em todas as verificações, locais ou de comportamento global, onde se emprega uma análise elástica linear, deve-se adotar o módulo secante. O módulo tangente só deve ser utilizado na modelagem das equações constitutivas do concreto, quando for realizada uma análise não-linear.

## REFERÊNCIAS

1. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR-8522: Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão*. Rio de Janeiro, 2008.
2. Comité Euro-International du Béton. *CEB-FIP Model Code 1990*. Published by Thomas Telford, London, 1993.
3. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR-6118: Projeto de Estruturas de Concreto*. Rio de Janeiro, 2003.
4. American Concrete Institute. *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-95) and Commentary (ACI 318R-95)*. Detroit, 1995.
5. Araújo, J. M. *O módulo de deformação longitudinal do concreto*. Revista Teoria e Prática na Engenharia Civil, Rio Grande: Ed. Dunas, n. 1, p. 9-16, nov. 2000 (disponível em: <<http://www.mikrus.com.br/~revistatpec>>).
6. Ferrari, A. A.; Flor, J. M.; Calixto, J. M. *Propriedades mecânicas do concreto de alto desempenho fabricado com diversos materiais*. International Congress on High-Performance Concrete, and Performance and Quality of

- Concrete Structures. Anais, p.15-26, Florianópolis, 1996.
7. Gomes, P. C. C.; Shehata, L. C. D.; Almeida, I. R. *Resistência à tração e módulo de elasticidade de concretos de alta resistência*. International Congress on High-Performance Concrete, and Performance and Quality of Concrete Structures. Anais, p.27-38, Florianópolis, 1996.
  8. Valois, J. G. C.; Cassa, J. C. S. *Avaliação do módulo de elasticidade de concreto de elevado desempenho com agregado de escória britada*. International Congress on High-Performance Concrete, and Performance and Quality of Concrete Structures. Anais, p.70-81, Florianópolis, 1996.
  9. Helene, P. R. L. *Estudo da variação do módulo de elasticidade do concreto com a composição e características do concreto fresco e endurecido*. Relatório à ABCP, São Paulo, 1998.
  10. Freitas, L. B. et al. *Avaliação do módulo de elasticidade de concretos de alto desempenho com diferentes idades*. 43º Congresso Brasileiro do Concreto, Foz do Iguaçu, 2001. (Disponível em CD: trabalho I022).
  11. Nunes, F. W. G. *Resistência e Módulo de Elasticidade de Concretos Usados no Rio de Janeiro*. COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, 2005 (dissertação de mestrado).
  12. Comité Euro-International du Béton. *Selected Justification Notes*. Bulletin d'Information n.217, Lausanne, 1993.