

**IBAPE – XII COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE
AVALIAÇÕES E PERÍCIAS, BELO HORIZONTE/MG.**

**CONTRIBUIÇÃO PARA A DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA
DO CONCRETO NA ANÁLISE DE ESTRUTURAS PERICIADAS**

Autores:

DA CUNHA, José Celso (1)

Engenheiro Civil, EE.UFMG, 1975

CREA- 13.871/D – 4ª REGIÃO (MG)

Professor Adjunto da Escola de Engenharia da UFMG;

D.E.A. em Mecânica dos Solos Estruturas, CEBTP/ECP, Paris, França – 1982

Dr. em Mecânica dos Solos Estruturas, CEBTP/ECP, Paris, França – 1985

Rua Levi Coelho, 43, 8º andar, Santa Efigênia, Belo Horizonte, MG, CEP 30.260-000

Telefone (31) 3241 3755 – E-Mail: tecton@gold.com.br

VIERA ANGELO, Ana Margarida (2)

Engenheira Civil, EE.UFMG, 1988

CREA –50.795/D – 4ª Região (MG)

IBAPE - No. 545

Especialista em Avaliações e Perícias – F.E.A.FUMEC – 2000

Mestranda em Engenharia de Estruturas na EE.UFMG

Rua Levi Coelho, 43, 8º andar, Santa Efigênia, Belo Horizonte, MG, CEP 30.260-000

Telefone (31) 3241 3755 – E-Mail: TECTON@gold.com.br

Resumo.

Uma das dúvidas do engenheiro, quando visa a estabelecer parâmetros para a análise de estruturas acabadas ou prontas, é aquela relacionada com as propriedades do concreto, como por exemplo a sua resistência à compressão ou à tração, o seu módulo de elasticidade, dentre outras. Como estabelecer uma relação aceitável e segura entre os valores teóricos, de projeto, com aqueles reais ou potenciais disponibilizados ao perito, no momento de sua avaliação em campo? Como determinar as resistências de cálculo na análise das capacidades dos elementos da estrutura, quando não se dispõe da história da estrutura ou da documentação de projeto, ou mesmo de testemunhos extraídos da mesma? O que diferencia a resistência potencial do concreto de estruturas novas com a de estruturas velhas? No presente trabalho procura-se responder a tais questões, indicando soluções técnicas de engenharia na análise de problemas que envolvem estruturas de concreto, com base nos elementos disponíveis ao Perito. São apontados riscos que podem surgir do decorrer da determinação das resistências do concreto de obras periciadas, quando não se considera os efeitos deletérios do tempo e das ações permanentes.

Palavras chave: Concreto, Propriedades, Concreto velho, Efeito do tempo.

**Contribuição para a determinação da resistência do concreto
na análise de estruturas periciadas**

**I - A EVOLUÇÃO DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO À COMPRESSÃO COM O
TEMPO**

Do ponto de vista da Engenharia de Materiais, o conhecimento da evolução da resistência do concreto à compressão com o tempo, para um dado tipo de cimento, pode ser obtido através de estudos experimentais que possibilitem o traçado de curvas de **ABRAMS**, que são largamente utilizadas no meio técnico. Do ponto de vista da Engenharia de Estruturas, é também interessante conhecer essa evolução, tendo como base sua relatividade de crescimento relacionada com a resistência do concreto aos 28 dias. Isto nos possibilita trabalhar no projeto ou na análise estrutural, estimando-se resistências para diversas idades do concreto, com razoável vantagem. A Figura 1 mostra algumas curvas estilizadas da evolução da resistência relativa do concreto com o tempo, ($f_c(j)/f_c(j=28 \text{ dias})$), ou seja, entre a resistência numa data qualquer $f_c(j)$, e aquela verificada aos vinte e oito dias, $f_c(t=28 \text{ dias})$, para diversas classes de resistência do concreto. Ela sugere que para concretos com maior resistência, onde são empregados cimentos especiais de Alta Resistência Inicial, do tipo CP-V-ARI, o aumento relativo dessa resistência com o tempo, após 28 dias, não é tão acentuado como nas classes de menor resistência quando são empregados cimentos normais.

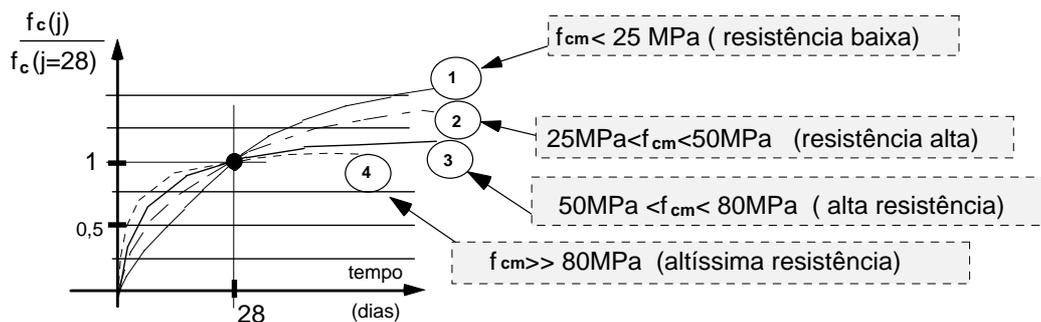


Figura 1 – Croquis – Representação esquemática da evolução relativa da resistência para várias classes do concreto, com o tempo.

O controle sistemático e o conhecimento da evolução relativa da resistência do concreto $f_c(j)/f_c(j=28)$ com o tempo, efetuados nos primeiros meses de uma obra em andamento, poderão ser úteis para estimarem-se resistências intermediárias ou em datas mais avançadas. Isso pode ser utilizado, por exemplo, para se programar retiradas de formas e escoramentos, ou ainda, para se reavaliar a segurança de elementos estruturais de responsabilidade. Uma regra de evolução da resistência do concreto com a idade (j), preconizada pela norma francesa **BAEL**¹, pode ser expressa de uma forma simples, como na equação 1.

$$f_c(j)/f_c(j=28) = \frac{j}{a + bj}, \text{ com } a = 28(1-b) \quad (\text{eq. 1})$$

Para concretos convencionais ou de Alta Resistência, com base nos resultados obtidos no controle tecnológico do concreto, em laboratório ou na obra, os valores dos coeficientes **a** e **b** da Equação 1 são facilmente definidos. Alguns desses valores, com dados obtidos em ensaios para diversas idades do concreto, estão apresentados no Quadro 1.

¹ BAEL- Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états-limites.

Contribuição para a determinação da resistência do concreto na análise de estruturas periciadas

equações de previsão da evolução da resistência do concreto com o tempo deverão ser testadas e, quando necessário, afinadas com os dados de cada região.

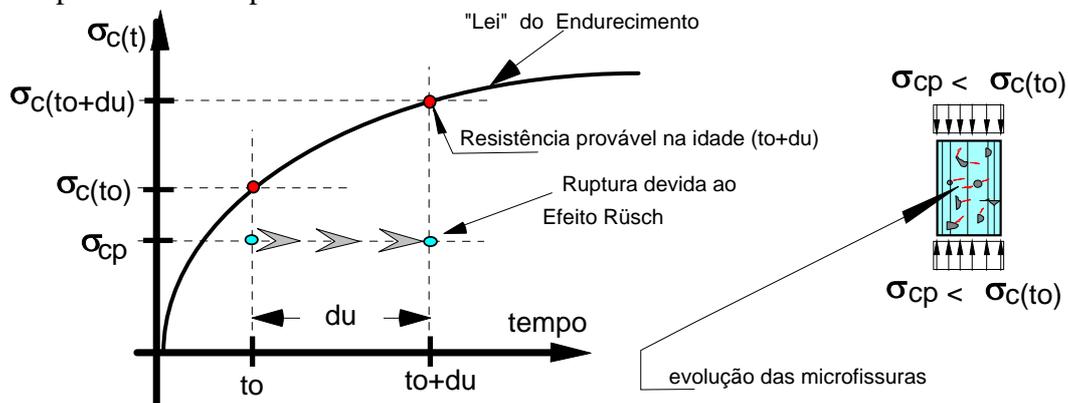
II - INFLUÊNCIA DAS CARGAS PERMANENTES NA RESISTÊNCIA DO CONCRETO, EFEITO RÜSCH

A resistência do concreto, quando se leva em conta a duração de aplicação de tensões de compressão ou tração, é influenciada por dois fenômenos, a princípio antagônicos:

- O endurecimento progressivo do concreto, devido a fenômenos físico-químicos ligados à hidratação do cimento, aumenta a sua resistência;
- A propagação interna de microfissuras no concreto, sob o efeito de tensões permanentes aplicadas, reduz a sua resistência.

Deve-se ainda considerar, em certos casos, que a migração da água intersticial dentro do concreto, mesmo na ausência de cargas exteriores, pode ser causa de tensões internas não desprezíveis e mesmo de microfissuras.

Os dados e diagramas mostrados na Figura 2, servem para compreender um pouco mais esse fenômeno observado por RÜSCH. A Curva mostrada representa uma “lei” de endurecimento do concreto com o tempo, cuja expectativa de crescimento da resistência do concreto é conhecida ou estimada. Ela define o valor da resistência de ruptura potencial esperada do concreto à compressão, $\sigma_c(t)$, numa idade qualquer. Um corpo de provas de concreto, submetido a uma tensão qualquer, σ_{cp} , inferior a $\sigma_c(t_0)$, aplicada numa data (idade) t_0 , e mantida constante ou permanente ao longo do tempo, poderá virtualmente entrar em ruptura após um período de tempo “ du ”.



$\sigma_c(t)$ = lei do endurecimento do concreto com o tempo, com base em ensaios.

$\sigma_c(t_0)$ = tensão estimada, provável, com base na lei de endurecimento, ou verificada em ensaios de curta duração do concreto, para uma idade (t_0).

$\sigma_c(t_0+du)$ = tensão do concreto estimada ou verificada para uma idade (t_0+du).

σ_{cp} = tensão permanente, inferior a $\sigma_c(t_0)$, aplicada na data t_0 .

du = duração do carregamento permanente, suficiente para que a tensão σ_{cp} provoque a ruptura do corpo de provas.

Figura 2 - Lei do endurecimento do concreto com o tempo e tensão permanente σ_{cp} .

Observa-se que isto depende basicamente de alguns fatores importantes, quais sejam:

**Contribuição para a determinação da resistência do concreto
na análise de estruturas periciadas**

- da proximidade do valor desta tensão permanente, σ_{cp} , daquela que levaria à ruptura instantânea do concreto, prevista na curva de endurecimento, $\sigma_c(t_0)$, ou seja da relação entre essas duas tensões;
- da expectativa do aumento da resistência do concreto com o tempo, a partir da data ou da idade do concreto, t_0 , verificada por ocasião da aplicação da tensão permanente σ_{cp} . O que tem a ver com o tipo de cimento empregado no traço do concreto ou mesmo — quando se tratar de concreto novo ou velho —, se a expectativa de crescimento ao longo do tempo for considerada, respectivamente, grande ou pequena;
- da duração, “**du**”, do carregamento permanente, observada até o momento da ruptura, “**du**”.

Esse fenômeno, que reduz a resistência potencial do concreto em consequência do carregamento permanente, foi colocado em evidência pelo engenheiro e pesquisador alemão Hubert **RÜSCH**⁴, em pesquisas empreendidas por ele na década de 50. **RÜSCH** sugere que essa redução ou perda de resistência do concreto sob tensões permanentes seja considerada da ordem de 15%. Diante disso, considera-se que esse fenômeno deve ser levado em conta no projeto e no cálculo de estruturas de concreto, quando as cargas previstas, atuantes nessas estruturas, forem de natureza permanentes ou de longa duração⁵.

Outros pesquisadores, como o engenheiro francês Bernard **FOURÉ**⁶ estudaram esse fenômeno em diversos trabalhos realizados nos anos 70 e 80, também para concretos de Alta Resistência. Suas pesquisas, assim com as de **RÜSCH**, levaram-nos a resultados que indicam que a resistência potencial do concreto sob tensões permanentes independe da idade do concreto no início do carregamento permanente, mas que depende da duração do carregamento (**du**), assim como do ganho virtual de resistência do concreto em consequência do seu endurecimento, (taxa de aumento da resistência com o tempo), ou seja, da sua lei de endurecimento com o tempo, a partir da data do carregamento. Essa perda relativa da resistência será maior quanto menor for a expectativa de aumento da resistência do concreto, a partir da data do carregamento com tensão permanente, σ_{cp} .

⁴ **RÜSCH**, Hubert, “Researches toward a general flexural theory for structural concrete”- *ACI Journal*, Juillet, 1960.

⁵ Para efeito de cálculo das estruturas de concreto, considera-se que um carregamento é de longa duração, quando o tempo decorrido na aplicação das cargas é superior a 30 minutos.

⁶ **FOURÉ**, Bernard; **BRONSART**, Odile – “Étude de la résistance du béton de T.H.R. sous contrainte soutenue” *Projet nacional, Voies Nouvelles du Matériau Béton- Relatório interno do CEBTP- 1990.*

**Contribuição para a determinação da resistência do concreto
 na análise de estruturas periciadas**

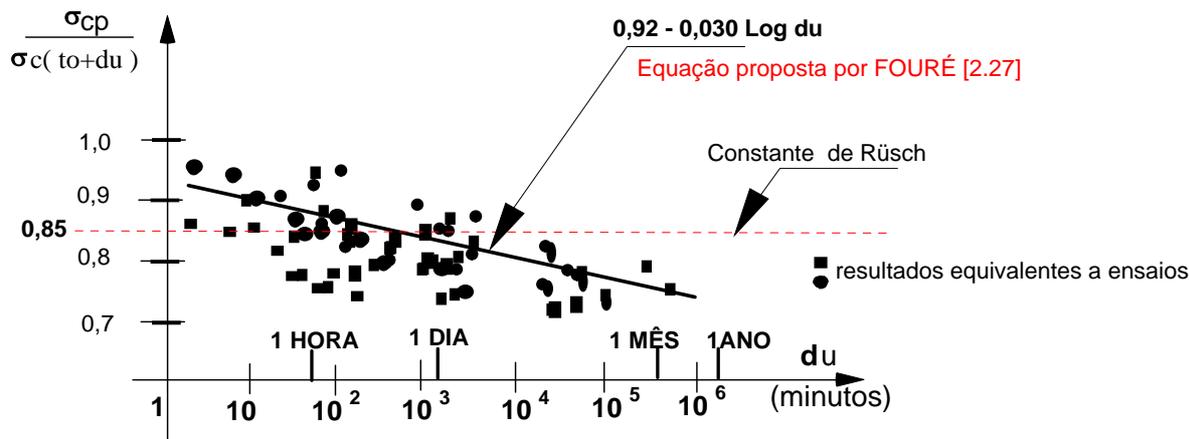


Figura 3 - Diagrama estilizado dos resultados de ensaios e a Lei da Ruptura sob tensões permanentes.

Com base nesses resultados, **FOURÉ**, propõe uma "Lei de Ruptura do Concreto sob Tensões Permanentes", Figura 3, da seguinte forma:

$$\frac{\sigma_{cp}}{\sigma_c(t_0 + d_u)} = 0,92 - 0,03 \text{Log} d_u \quad (\text{eq. 3})$$

A Equação 3, para uma duração de carregamento equivalente a $d_u=50$ anos (tempo considerado como o de vida útil da estrutura), indica uma queda da resistência relativa do concreto de alta resistência, ou mesmo para aqueles cuja expectativa de aumento de resistência com o tempo a partir do dia do carregamento seja pequena, (como para os concretos considerados velhos, por exemplo), da ordem de até 28%, portanto, igual a praticamente ao dobro do valor de 15% sugerido por **RÜSCH**, com base em seus ensaios realizados na década de 50.

III - O EFEITO RÜSCH DE ACORDO COM A NBR-6118/2003.

A NBR-6118/2003 considera que para o cálculo de estruturas de concreto armado, deve-se levar em conta o efeito **RÜSCH** a partir de uma constante β , para carregamentos ou cargas consideradas como permanentes. Segundo a NBR-6118/2003⁷, para o cálculo das estruturas de concreto, o valor de β pode ser dado como:

$$\beta = 0,85 \quad (\text{eq. 4})$$

Com base nesse valor do efeito **RÜSCH**, para a NBR-6118/03, as tensões finais de cálculo para o concreto serão reduzidas de 15%, independentemente de outras considerações. O valor

⁷ *Opinião do autor: O valor de $\beta=0,85$, considerado pela NBR-6118/2003, é, a nosso ver, muito alto quando comparado aqueles fornecidos pela equação 3, representada na Figura 3. Por esse motivo, para estruturas de grande responsabilidade, cujas cargas permanentes preponderam sobre as demais, ou para estruturas com concretos de classe superior a C50, sugerimos adotar $\beta=0,72$. Este valor deve ser também ser utilizado para concretos velhos, ou para aqueles, como os de alta resistência, cuja expectativa de aumento da resistência com o tempo seja pequena a partir de certa idade como será visto no próximo item.*

**Contribuição para a determinação da resistência do concreto
na análise de estruturas periciadas**

final da tensão de cálculo do concreto, σ_{Rd} , deverá ainda ser minorado por coeficientes de ponderação ou de redução da resistência do concreto, γ_c , previstos em norma.

$$\sigma_{Rd} = \beta \cdot f_{cd} \quad (\text{eq. 5})$$

$$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c \quad (\text{eq. 6})$$

**IV - DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO À COMPRESSÃO
PARA A ANÁLISE DE ESTRUTURAS PERICIADAS**

4.1 - Considerações iniciais.

Uma das dúvidas do engenheiro, quando visa a estabelecer parâmetros para a análise de estruturas acabadas ou prontas, é aquela relacionada com as propriedades do concreto, como por exemplo a sua resistência à compressão ou à tração, o seu módulo de elasticidade, dentre outras. Há grande dificuldade em se estabelecer uma relação aceitável e segura entre os valores teóricos, de projeto, com aqueles reais ou virtuais disponibilizados ao perito, no momento de sua avaliação em campo. Isto porque, torna-se difícil determinar as resistências de cálculo, σ_{Rd} , na análise das capacidades dos elementos da estrutura, quando não se dispõe da história da estrutura ou da documentação de projeto, ou mesmo de testemunhos extraídos da mesma. O que diferencia a resistência potencial do concreto de estruturas novas com o de estruturas velhas é efetivamente a expectativa do aumento da resistência com o tempo, ou seja, se ela é relevante ou desprezível.

No primeiro caso, em que há uma expectativa de que o aumento da resistência do concreto com o tempo seja considerável, basta conhecer ou estabelecer o ganho relativo dessa resistência com o tempo nos moldes visto no item I deste artigo, para concretos considerados normais ou de alta resistência. No segundo caso, quando essa expectativa de aumento da resistência seja considerada desprezível, não basta conhecer o valor da resistência característica, estimada ou real, na data considerada, sem se pensar nas condições de trabalho da estrutura sob a ação das cargas permanentes e o seu efeito deletério no concreto. O que deve ou não ser levado em conta nesses casos é objeto desse item.

4.2 - A resistência de cálculo do concreto a ser utilizada na análise de estruturas periciadas.

A nosso ver o ganho de resistência concreto após os vinte oito dias não deveria ser utilizado no cálculo das estruturas das edificações de concreto armado, ou seja, para o cálculo na fase de projeto para uma obra futura. Isto porque o referencial 28 dias, utilizado ao longo dos anos, serviu também como referencial para uma série de outros ensaios, visando a determinar as demais propriedades do concreto. em condições controladas de temperatura e umidade, além do valor da sua resistência à compressão. A mudança do referencial da resistência característica do concreto para datas superiores a 28 dias não encontra respaldo em nenhuma normalização moderna. A ação deletéria do tempo, as condições ambientais locais e as ações continuadas das cargas em serviço, contribuem para a deterioração do concreto nas estruturas, com conseqüências conhecidas em suas propriedades. Além disso, as condições sob as quais se baseiam os carregamentos e as ações concomitantes nas estruturas deveriam também ser revistas, caso se adotasse um novo referencial de tempo diferente de $j=28$ dias. Modernamente, em todo o mundo, não se tem mais valorizado apenas a resistência à

**Contribuição para a determinação da resistência do concreto
na análise de estruturas periciadas**

compressão do concreto como sua propriedade principal, tendo em vista os problemas ligados à durabilidade e a conservação das estruturas. A nova NB-1, (NBR-6118/2003), dedica três importantes capítulos a esses assuntos.

Por outro lado, existem condições especiais em que se deve levar em consideração esse ganho resistência do concreto em idades superiores a vinte e oito dias. Trata-se do caso da análise das estruturas já construídas, concluídas, também conhecidas Estruturas *Acabadas*, ou mesmo para aquelas em fase de construção. Nesses casos, sugerimos que essas estruturas sejam analisadas dentro de dois critérios:

a) Caso em que se dispõe de testemunhos extraídos da própria estrutura.

No caso da análise de uma estrutura acabada ou em construção, com o objetivo de se verificar a sua segurança, valores superiores para a resistência do concreto deverão ser definidos com base na resistência efetiva $f_{ck,j(test)}$ obtida em testemunhos extraídos da própria estrutura em datas "j" superiores a 28 dias. Esses valores devidamente comprovados em laboratório devem, entretanto, limitarem-se a um acréscimo de no máximo 15% da resistência característica do concreto f_{ck} , utilizada no projeto da estrutura.



a) equipamento para extrair testemunhos cilíndricos de concreto.



b) Corpos de provas, testemunhos, de diversos tamanhos e diâmetros retirados de uma estrutura de concreto.

Foto: José Celso da Cunha

Figura 4 – Foto - Corpos de provas, testemunhos, extraídos de uma obra para análise de resistência característica real.

Quando se conhecer a resistência característica estimada, $f_{ck,est}$, (obtida por controle estatístico de ensaios de corpos de provas de concreto obtidos na obra por ocasião da concretagem de algum elemento da estrutura), definida aos vinte e oito dias, em que essa resistência resultou em valor inferior à resistência característica f_{ck} , ou seja, $f_{ck,est} < f_{ck}$, o valor a ser considerado deve também se restringir a um acréscimo de no máximo 25% dessa resistência. Desta forma teremos:

$$f_{ck,j} = \text{menor} \{ 1,15f_{ck}; 1,25 f_{ck,est}; f_{ck,j (real)} \} \quad (\text{eq. 7})$$

f_{ck} = resistência característica do concreto, estipulada no projeto da estrutura.

$f_{ck,j(real)}$ = resistência característica estimada do concreto, obtida por controle estatístico a partir de testemunhos extraídos da estrutura na data j, em dias;

**Contribuição para a determinação da resistência do concreto
na análise de estruturas periciadas**

$f_{ck,est}$ = resistência característica estimada, obtida por controle estatístico de ensaios de corpos de provas de concreto provenientes da concretagem de algum elemento da estrutura.

j = idade do concreto considerada por ocasião da análise da estrutura periciada.

Observações:

- 1) A consideração de um acréscimo de 15% no valor de f_{ck} , dado na equação 7, visa também a não permitir que seja aumentada indiscriminadamente a responsabilidade do concreto na segurança da estrutura analisada, além do que já foi considerado no cálculo.
- 2) Limitando-se esse ganho de resistência a no máximo 25% do valor de $f_{ck,est}$, quando $f_{ck,est} < f_{ck}$ pretende-se corrigir algum erro que porventura tenha existido por ocasião do controle dessa resistência.
- 3) Quando não se dispuser da resistência de projeto, f_{ck} , ou da resistência $f_{ck,est}$ obtida em controle tecnológico durante a concretagem da obra, a Equação 7 pode ainda ser utilizada. Na ausência dessas duas resistências ou quando se tratar de obras velhas, com $j >$ seis meses considerar que se trata de um concreto velho ou com pouca possibilidade de aumento de resistência com o tempo.

O valor da resistência de cálculo do concreto, σ_{Rd} , deverá também ser determinado a partir da equação 5, considerando-se $f_{ck,j}$ no lugar de f_{ck} :

$$\sigma_{Rd} = \beta \cdot f_{cd} = \beta \cdot f_{ck,j} / \gamma_c \quad (\text{eq. 8})$$

Considerando-se, nesse caso um menor valor para o coeficiente γ_c , tendo em vista a confiabilidade dos resultados obtidos por extração de testemunhos, respeitados os procedimentos normativos à esse respeito⁸.

$$\gamma_c \approx 1,3 \quad (\text{eq. 9})$$

$$\beta = \begin{cases} 1,0 & \text{considerando - se o valor de } dp \leq 30 \text{ minutos} \\ 0,85 & \text{com } dp > 30 \text{ minutos para concretos jovens} \\ 0,72 & \text{para concretos considerados velhos} \end{cases} \quad (\text{eq. 10})$$

b) Caso em que não se dispõe de testemunhos extraídos da estrutura.

Essa segunda condição de análise da estrutura acabada deverá ser aplicada quando o controle tecnológico do concreto ao longo da construção for conhecido. Caso contrário deverá prevalecer a primeira condição em que se faz a extração de corpos de provas da estrutura. O problema colocado é o de se estabelecer um critério prático, baseado em parâmetros experimentais confiáveis, para se estimar o aumento relativo da resistência do concreto com o tempo, em função das propriedades do concreto empregado na construção. Na ausência de testemunhos extraídos da própria estrutura, ou mesmo, na impossibilidade de obtê-los, o valor do aumento da resistência do concreto, α_j , pode ser estimado com base em

⁸ O fator $\gamma_c=1,4$, que minor a resistência de cálculo do concreto na fase de projeto, leva também em conta a incerteza da obtenção da resistência f_{ck} na obra. Nesse caso de análise de estrutura acabada, com extração de testemunhos, considera-se que essa incerteza possa ser desconsiderada.

**Contribuição para a determinação da resistência do concreto
na análise de estruturas periciadas**

curvas de crescimento do concreto utilizado na obra pela construtora. Essas curvas devem ser definidas e testadas ao longo da construção, tendo como base o controle tecnológico do concreto. Elas podem ser do tipo apresentado na Equação 1, deste trabalho, com α_j , dado na Equação 10, extraído da segunda parte daquela equação:

$$f_c(j) = \alpha_j \cdot f_c(j=28) \quad (\text{eq. 11})$$

$$\text{Considerando-se, } \alpha_j = \frac{j}{a + bj} = \frac{j}{4,76 + 0,83j} \leq 1,15 \quad (\text{eq. 12})$$

Desta forma, a resistência característica desejada na idade j , $f_{ck,j}$, necessária à análise da estrutura acabada poderá ser definida pela Equação 13, para $f_{ck} \leq 40\text{MPa}$, e $j > 28$ dias.

$$f_{ck,j} = \text{menor} \begin{cases} (1,15 f_{ck}; \alpha_j \cdot f_{ck, \text{est}}) & \text{para } f_{ck, \text{est}} < f_{ck} \\ (1,20 f_{ck}; \alpha_j \cdot f_{ck, \text{est}}) & \text{para } f_{ck, \text{est}} \geq f_{ck} \end{cases} \quad (\text{eq. 13})$$

Na ausência desse controle, esse aumento de resistência pode também ser estimado com base em outras equações ou tabelas confiáveis que forneçam o aumento relativo da resistência do concreto, com base no tipo de cimento empregado, no fator A/C do traço do concreto, na sua classe de resistência, etc.. Em qualquer caso, entretanto, considerar no máximo o valor de $\alpha_j = 1,15$. Também nesse caso, considerar a tensão de cálculo do concreto, $\sigma_{Rd} = \beta \cdot f_{ck,j} / \gamma_c$, conforme a Equação 8, mas agora considerando-se $\gamma_c = 1,4$, dado que não se dispõe de testemunhos extraídos da estrutura na dada considerada para análise..

Esse critério, assim estabelecido, permite além de outras coisas que seja repassado à análise da estrutura um possível ganho da resistência do concreto quando o valor de $f_{ck, \text{est}}$, obtido aos vinte e oito dias de idade, for superior a resistência característica do concreto, f_{ck} , definida no projeto e que serviu de base para o cálculo da estrutura.

c) Resumo das considerações.

Apresentamos no quadro 2 um resumo das várias possibilidades abordadas nesse trabalho, visando a definição do valor da resistência característica do concreto para a análise de estruturas de concreto – consideradas construídas ou em construção – cujas condições de segurança deverão ser verificadas pelo perito numa data qualquer, j , superior a 28 dias.

**Contribuição para a determinação da resistência do concreto
 na análise de estruturas periciadas**

Quadro 2 – Valor de $f_{ck,j}$ em função de parâmetros conhecidos para a análise					
Parâmetros conhecidos ou disponíveis para a análise			Efeito Rüsçh	Valor máximo da resistência do concreto, $f_{ck,j}$, a ser considerado na análise da estrutura.	observações
$f_{ct}(test)$	f_{ck}	$f_{ck,est}$	β		
Sim	Sim	Sim	0,85	mín.(1,15 f_{ck} ; 1,25 $f_{ck,est}$; $f_{ck,test}$)	$f_{ck,est} < f_{ck}$
		Não	0,85	mín.(1,15 f_{ck} ; $f_{ck,test}$)	
	Não	Sim	0,85	mín.(1,25 $f_{ck,est}$; $f_{ck,test}$)	
		Não	0,72	$f_{ck,test}$	$j = \text{qualquer}$
Não	Sim	Sim	0,85	$\left\{ \begin{array}{l} (1,15 f_{ck}; \alpha_j.f_{ck,est}) \text{ para } f_{ck,est} < f_{ck} \\ (1,20 f_{ck}; \alpha_j.f_{ck,est}) \text{ para } f_{ck,est} \geq f_{ck} \end{array} \right.$	$\alpha_j \leq 1,15$
		Não			Extrair C.P.
	Não	Sim	0,72	$\alpha_j.f_{ck,est}$	$\alpha_j \leq 1,15$
		Não			Extrair C.P.

Notas:

- 1) f_{ck} = resistência característica do concreto definido no projeto e que serviu de base para o cálculo da estrutura;
- 2) $f_{ck,(real)}$ = resistência característica obtida a partir de testemunhos extraídos da estrutura;
- 3) $f_{ck,est}$ = resistência característica estimada a partir de ensaios do concreto retirado na ocasião da construção;
- 4) C.P. = corpos de provas
- 5) $\alpha_j = \frac{j}{a + bj} = \frac{j}{4,76 + 0,83j} \leq 1,15$ (aumento relativo da resistência do concreto para $j > 28$ dias).

4.2 – Outras propriedades do concreto com base na resistência característica $f_{ck,j}$.

Para as demais propriedades do concreto valem também aqui as mesmas adaptações provenientes das normas pertinentes, quando derivadas da resistência característica do concreto à compressão, f_{ck} . Para isso bastaria substituir esse valor nas formulações normativas pelo valor do $f_{ck,j}$ encontrado conforme indicado nesse artigo. Entretanto, observa-se que tais propriedades associadas à resistência característica do concreto, como a resistência à tração, f_{ctk} , ou o módulo de elasticidade tangente na origem, E_{ci} , devem ser consideradas como aproximadas ou indicativas. Elas não devem ser jamais vistas ou utilizadas como se fossem reais. Os verdadeiros valores dessas propriedades deverão ser obtidos através de ensaios especializados, de conformidade com as normas pertinentes.

Na ausência desses ensaios, a nova NBR-6118, propõe que a resistência a tração do concreto e o módulo de elasticidade tangente e secante sejam estimados por processos aproximados.

a) resistência à tração:

**Contribuição para a determinação da resistência do concreto
na análise de estruturas periciadas**

Na ausência de valores mais precisos, os valores da resistência à tração do concreto podem ser definidos por analogia ao que preconiza a nova NBR-6118, substituindo-se o valor da resistência característica, f_{ck} , pelo valor da resistência $f_{ck,j}$, definida neste artigo para o caso de análise de estruturas periciadas, já construídas.

$$\begin{aligned} f_{ct,m} &= 0,3 f_{ck,j}^{2/3} \\ f_{ctk,inf} &= 0,7 f_{ct,m} \\ f_{ctk,sup} &= 1,3 f_{ct,m} \end{aligned} \quad (\text{eq. 14})$$

onde:

$f_{ct,m}$ e $f_{ck,j}$ são expressos em megapascal.

O gráfico da Figura 5 relaciona esquematicamente a resistência à tração em função de diversos valores da resistência do concreto à compressão.

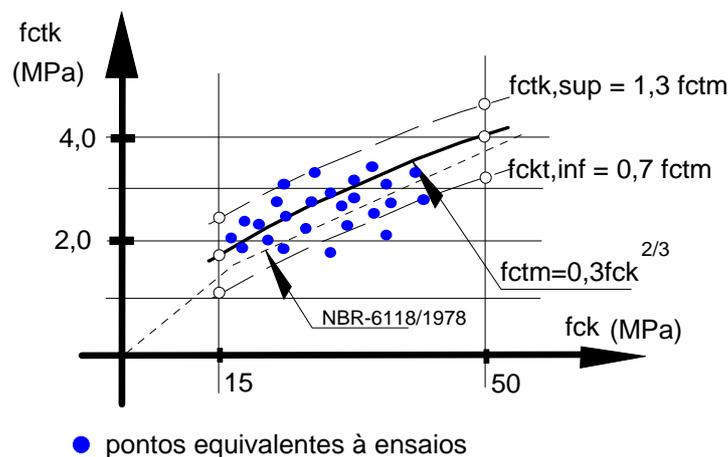


Figura 5 - Croqui - Relação entre as resistências característica à tração e à compressão.

Outras normas e procedimentos de vários países adotam valores diferentes em outras formulações, também válidas, que procuram relacionar a resistência do concreto à tração com a sua resistência à compressão. Desta forma, podemos dizer que a Equação 14, com base na norma brasileira, apesar de representar com razoável aproximação a resistência característica do concreto à tração, deve ser considerada como as demais curvas experimentais, como uma curva de aproximação.

b) módulo de elasticidade;

De acordo com a norma brasileira NBR-6118/2003, na ausência de valores mais precisos, obtidos em laboratórios de materiais, pode-se estimar o valor do módulo tangente do concreto, E_{ci} , tendo em vista a definição da classe do concreto a ser utilizada no projeto de uma determinada estrutura. No caso de análise de estruturas acabadas, substituindo-se f_{ck} , por $f_{ck,j}$, nas equações dessa norma, teremos:

**Contribuição para a determinação da resistência do concreto
na análise de estruturas periciadas**

$$E_{ci,j} = 5600 f_{ck,j}^{1/2} \quad (\text{eq. 15})$$

onde:

$E_{ci,j}$ e $f_{ck,j}$ são dados em megapascal, e $j > 28$ dias.

O módulo de elasticidade secante a ser utilizado nas análises elásticas, especialmente para determinação de esforços solicitantes e verificação de estados limites de serviço, deve ser calculado pela expressão :

$$E_{cs} = 0,85 E_{ci,j} \quad (\text{eq. 16})$$

V – CONCLUSÃO.

No presente trabalho foram apresentadas sugestões para a definição da resistência do concreto à compressão para o caso de análise de estruturas periciadas, em que o conhecimento dessa propriedade possa ser útil na determinação das condições de segurança da estrutura.

Observamos que os ganhos relativos de resistência do concreto com o tempo não podem ser repassados diretamente para o cálculo, tendo em vista que as influências deletérias dos carregamentos permanentes muitas vezes eliminam tais ganhos. Isso sempre vai ocorrer, quando se tratar de carregamentos futuros sobre a estrutura, numa fase em que o concreto não mais possui expectativa de aumento de resistência com o tempo.

Foram definidos valores de resistências características $f_{ck,j}$, que deverão ser utilizadas na análise das estruturas periciadas, observando-se os limites superiores possíveis dessas resistências, com base nas expectativas de aumento relativo com o tempo e nas condições de existência ou não de valores intermediários de controle, ou seja: da resistência característica de projeto, f_{ck} ; da resistência característica estimada, $f_{ck,est}$, verificada no controle tecnológico do concreto durante a construção, e nos valores característicos de testemunhos, $f_{ck,(real)}$ extraídos da estrutura na fase da perícia. Para as condições correntes, em que se dispõe do conhecimento de uma ou mais variáveis do problema, apresentamos um quadro com as várias possibilidades de análise e da determinação das resistências características, $f_{ck,j}$, a serem adotadas pelo perito na análise da estrutura.

Finalmente, para as demais propriedades do concreto, aquelas que são comumente associadas à sua resistência característica à compressão – como a resistência à tração e os módulos tangente e secante –, estabelecemos um paralelo com a nova norma brasileira NBR-6118/2003, em que as mesmas equações desta última são utilizadas, bastando substituir a resistência característica de projeto, f_{ck} , pela resistência definida para a estrutura acabada, $f_{ck,j}$.

VI – BIBLIOGRAFIA

**Contribuição para a determinação da resistência do concreto
na análise de estruturas periciadas**

- 1- BAEL- Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton arme suivant la méthode des états-limites.
- 2- NBR 12655– Concreto - Preparo, controle e recebimento – Procedimento.
- 3- RÜSCH, Hubert, “Researches toward a general flexural theory for structural concrete”- ACI Journal, Juillet, 1960.
- 4- FOURÉ, Bernard; BRONSART, Odile – “Étude de la resistance du béton de T.H.R. sous cantrainte soutenue” Projet Nacional, Voies Nouvelles du Matériau Béton- Relatório interno do CEBTP- 1990.
- 5- NBR 6118/2003– Projeto de Estruturas de Concreto, Procedimento.
- 6- DA CUNHA, José Celso, “Concreto Armado Para a Graduação em Engenharia”, Projeto de Ensino para Engenharia, no Prelo, B.H. 2003.
- 7- DA CUNHA, José Celso, “Considerações sobre o emprego de maior resistência em estruturas de concreto armado” – Seminário Técnico – Concreto de Alta Resistência – Durabilidade do Concreto, Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados, São Paulo, outubro 1992,

VII- RESUMO DOS CURRÍCULA DOS AUTORES:

**Contribuição para a determinação da resistência do concreto
na análise de estruturas periciadas**

- **JOSÉ CELSO DA CUNHA** é Engenheiro Civil com experiência em análise estrutural, soluções alternativas de engenharia de projetos, estruturas e fundações, formou-se em 1975 pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, **EE.UFMG**. Com interesse nas áreas de Mecânica dos Solos, Engenharia de Estruturas, Dinâmica das Estruturas e Recuperação de Estruturas, em 1985 tornou-se Doutor em Mecânica dos Solos/Estruturas pela **École Centrale de Paris, ECP**, e pelo *Centre d'Études et des Recherches du Bâtiment et des Travaux Publics (CEBTP)*, Paris, França. Professor da **EE.UFMG** desde 1978 leciona disciplinas de Estruturas de Concreto nos Cursos de Graduação em Engenharia Civil e no Mestrado em Engenharia de Estruturas nesta Escola. Profissional de engenharia, com várias obras especiais projetadas, pesquisador e orientador de trabalhos de pesquisa no Laboratório de Análise Experimental de Estruturas, (**LAEES**) da **EE.UFMG**, nas áreas de Estruturas de Concreto de Alta Resistência e de Recuperação de Estruturas, possui inúmeros trabalhos publicados sobre Engenharia de Estruturas e Recuperação de Estruturas em simpósios nacionais e internacionais. Sobre esses temas escreve quinzenalmente, desde 1993, na revista *Informador das Construções*, onde já publicou mais de 200 artigos. José Celso da Cunha é também diretor da **TECTON ENGENHARIA DE PROJETOS E CONSULTORIA S/C. LTDA.**, consultor de empresas da indústria da pré-fabricação, e membro efetivo da Comissão formada pelo **COBRACON/CB-2** da **ABNT**, Associação Brasileira de Normas Técnicas, para a revisão da Norma Brasileira de Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado, NBR-6118 (**NB-1**). Foi homenageado com o Prêmio “*Luiz Alfredo Falcão Bauer*”, outorgado pelo Conselho Diretor e Diretoria do **IBRACON**, em 2002, no 43º Congresso Nacional do Concreto.
- **ANA MARGARIDA VIEIRA ANGELO, Engenheira Civil**, formada pela **EE.UFMG** em 1988, Crea 50.795/D-MG, é Diretora da **TECTON ENGENHARIA PROJETO E CONSULTORIA, S.C, Ltda.**; Mestranda em Engenharia de Estruturas pela **EE.UFM**. Com interesse na área de avaliações e perícias é Especialista de Avaliações e Perícias pela **FEA.FUMEC-2000**. Associada ao Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias. Tem trabalhado na **TECTON ENGENHARIA** desde 1985, com grande conhecimento na área de projetos de estruturas, análise estrutural, e engenharia de recuperação de estruturas, tendo participado na equipe dos principais projetos executados pela empresa..