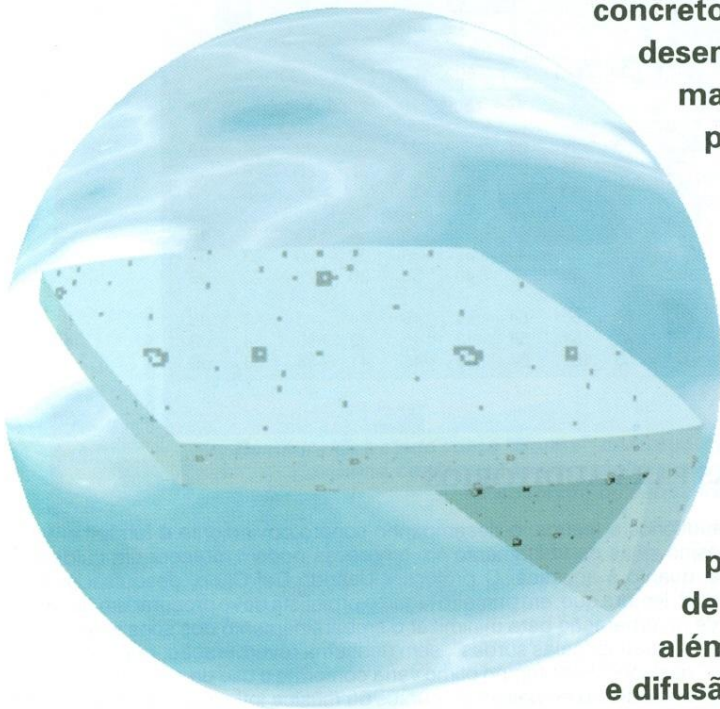


# CURA

## Como, quando e por quê

A cura adequada é fundamental para que o concreto alcance o melhor desempenho. Entretanto, na maioria das obras de médio e pequeno porte, os procedimentos limitam-se à molhagem das estruturas recém-concretadas poucas vezes ao dia, no máximo durante uma semana. Se essas operações fossem executadas de forma racional, durante dez dias consecutivos, proporcionariam uma redução de porosidade do concreto, além de dificultar a carbonatação e difusão de íons na massa, contribuindo muito para aumento da durabilidade das estruturas, especialmente da camada que recobre as armaduras



O maior dano causado ao concreto pela falta da cura não será uma redução nas resistências à compressão, pelo menos nas peças espessas, que retêm mais água e garantem o grau de umidade necessário para hidratar o cimento. A falta de uma cura adequada age principalmente contra a durabilidade das estruturas, a qual é inicialmente controlada pelas propriedades das camadas superficiais desse concreto. Secagens prematuras resultam em camadas superficiais porosas com baixa resistência ao ataque dos agentes agressivos. Ironicamente, as obras mais carentes de uma cura criteriosa – pequenas estruturas, com concretos de relação a/c (água/cimento) ele-

vada – são as que menos cuidados recebem, especialmente componentes estruturais, como pilares e vigas. Além disso, é prática usual nos canteiros de obras cuidar da cura somente na parte superior das lajes.

Neste artigo, procuramos demonstrar a importância do tipo de cimento e da relação a/c na definição científica dos prazos mínimos de cura. Tentamos deduzir os prazos de cura adequados e necessários para obtenção das resistências à compressão projetadas, como ocorre na maioria das obras brasileiras. Cabe ressaltar que nos casos em que a durabilidade seja o parâmetro principal, as considerações deverão ser mais complexas.



**Salomon Levy**  
Pesquisador na Escola Politécnica da USP

**Paulo Helene**  
Professor na Escola Politécnica da USP

## 1 Conceitos básicos

### Hidratação do cimento

A hidratação é uma reação química do cimento com a água, gerando produtos que possuem características de pega e endurecimento. Segundo o pesquisador P. Kumar Metha, essa reação ocorre por um dos mecanismos abaixo:

- dissolução/precipitação: com a dissolução de compostos anídeos em constituintes iônicos → formação de hidratos na solução, devido à pouca solubilidade → precipitação de cristais.
- topoquímico ou hidratação em estado sólido do cimento: as reações ocorrem diretamente na superfície dos componentes do cimento anidro sem entrar em solução.

Os primeiros mecanismos são dominantes nos estágios iniciais. Quando a mobilidade iônica da solução se torna restrita, a reação das partículas residuais do cimento ocorre pelo segundo mecanismo. A velocidade de hidratação depende da composição do cimento, da finura, da ação de aditivos e das condições extrínsecas de exposição, tais como temperatura e umidade relativa. Em condições normais de temperatura, em torno de 23°C e UR superior a 98%, a 28 dias, o grau de hidratação pode ser de 65% a 75%, alcançando os 100% somente aos 50 anos de idade. Para relações a/c muito baixas, ou concretos mantidos em ambientes secos, nunca será alcançada a hidratação completa.

### O que é cura do concreto?

Podemos designar por cura o conjunto das operações ou procedimentos adotados para evitar que a água de amassamento e de hidratação do cimento evapore das regiões superficiais do concreto.

### Por que é necessária?

A água é parte integrante do processo de pega e endurecimento; conseqüentemente não poderá ser perdida. A água que já foi consumida internamente nas reações químicas pode ser associada a uma água perdida; por isso, é preciso viabilizar a entrada de água externa no concreto. Dessa forma, quando uma mistura corretamente dosada é seguida de cura úmida, durante os primeiros estágios de endurecimento será conferido ao concreto as melhores condições para se tornar um material impermeável, de baixa absorção de água, de alta resistência à carbonatação e à difusão de íons, e com resistência mecânica e durabilidade adequadas.

### Principais objetivos da cura

Fundamentalmente, o conjunto de operações de cura adotado para a hidratação do cimento em condições adequadas tem como objetivo:

- impedir a perda de água de hidratação precocemente;
- controlar a temperatura do concreto durante período de tempo suficiente, até que alcance o nível de resistência desejado;
- suprir água extra para as reações de hidratação.

## 2 Métodos de cura

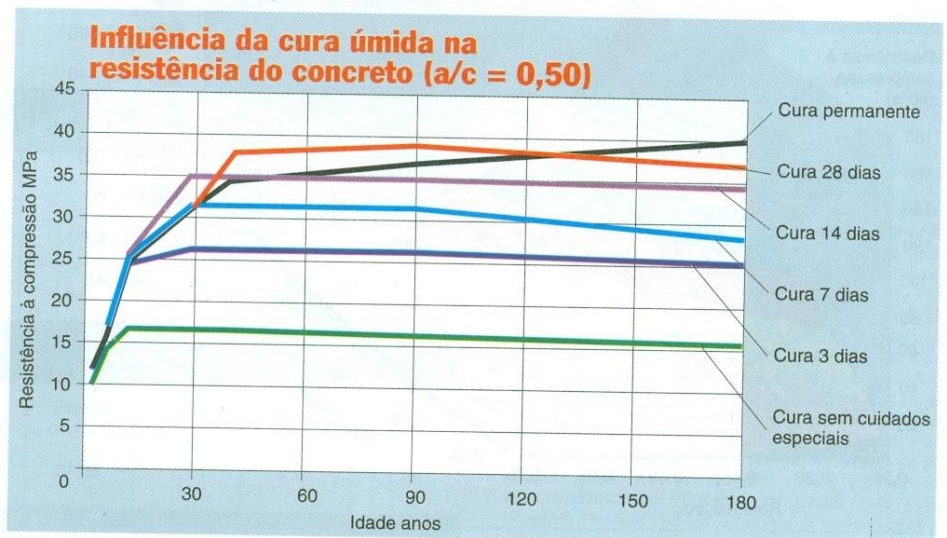
Vários procedimentos abaixo relacionados podem ser adotados para curas normais em temperaturas ambientes, situação que ocorre na grande maioria do território brasileiro:

- represamento ou imersão;
- borrifamento de água ou neblina de água;
- uso de revestimentos saturados que retenham umidade, tipo sacos de anagem;
- vedação da superfície concretada com a aplicação de manta de papel impermeável, mantas de polietileno, compostos formadores de membrana de cura.

Quando for necessário acelerar o ritmo da obra, agilizando a desforma, poderão ser utilizados procedimentos para cura acelerada. Tais procedimentos consistem em aquecer as fôrmas com a utilização de vapor d'água a temperaturas em torno de 80°C. Nessas condições, elevados graus de hidratação podem ser obtidos em horas.

## 3 Influência da cura no grau de hidratação do cimento

O gráfico abaixo, obtido para concretos produzidos com a relação a/c 0,50, permite verificar como as condições de cura influem no grau de hidratação do cimento. Percebe-se que há um grande incremento de resistência aos 28 dias para um concreto que permaneceu sob condições ideais de cura úmida por três dias, em relação a um



concreto que permaneceu exposto ao meio ambiente sem nenhum procedimento especial de cura. Se as condições de cura se estenderem por mais quatro dias, o incremento será de apenas 18%. Se a condição de cura úmida persistir até 14 dias, o incremento será de apenas 9%, e a partir desse momento não haverá mais nenhum ganho substancial de resistência, por mais tempo que o concreto permaneça em condições de cura úmida. A justificativa científica para a tendência observada passa a ser discutida na seqüência deste artigo.

#### 4 Que fator influencia mais a resistência do concreto?

Em fins da década de 50, o pesquisador Treval C. Powers propôs o modelo matemático representado pela equação 1 para determinação da resistência do concreto:

##### equação 1

$$f_c = k \cdot \left[ \frac{0,674\alpha}{0,32\alpha + a/c} \right]^n$$

onde:

k e n são constantes que dependem do tipo de cimento e dos agregados utilizados  
 $\alpha$  = grau de hidratação.

a/c = relação água/cimento do concreto, em massa.

Derivando-se a função  $f_c$  em relação a  $\alpha$  e a/c e dividindo-se as expressões assim obtidas, chega-se à equação 4, que permite avaliar qual dos parâmetros terá maior in-

fluência no crescimento da resistência do concreto.

##### equação 2

$$\frac{\partial f}{\partial \alpha} = k \cdot n \cdot \left[ \frac{0,674\alpha}{0,32\alpha + 1} \right]^{n-1} \cdot \frac{0,674 - 0,674\alpha \cdot 0,32}{[0,32\alpha + a/c]^{n-1}}$$

##### equação 3

$$\frac{\partial f}{\partial a/c} = k \cdot n \cdot \left[ \frac{0,674\alpha}{0,32\alpha + 1} \right]^{n-1} \cdot \frac{0,00 - 0,674\alpha \cdot 1,00}{[0,32\alpha + a/c]^{n-1}}$$

dividindo-se  $\frac{\text{eq.2}}{\text{eq.3}}$  tem-se:

##### equação 4

$$\frac{\partial f / \partial \alpha}{\partial f / \partial a/c} = \frac{\frac{0,674\alpha/c}{[0,32\alpha + a/c]^{n-1}}}{\frac{0,674\alpha}{[0,32\alpha + a/c]^{n-1}}} = - \frac{a/c}{\alpha}$$

Para a avaliação de qual dos parâmetros terá maior influência na resistência do concreto, adota-se o seguinte raciocínio:

• A equação 4 terá seu valor maior, menor ou igual a 1 em módulo, segundo uma das seguintes condições: Se | eq. 4 | for > 1 indica que a influência de  $\delta f / \delta \alpha$  será maior e, portanto, a variação de  $\alpha$  terá maior

importância na variação do crescimento da resistência do concreto sempre que  $\alpha < a/c$ . Se | eq. 4 | for < 1 indica que a influência de  $\delta f / \delta a/c$  será maior; portanto, a variação de a/c terá maior importância na variação do crescimento da resistência do concreto sempre que  $a/c < \alpha$ . Se | eq. 4 | for = 1 a influência das duas derivadas será igual, e isso ocorrerá quando  $\alpha = a/c$ ; portanto, quando o valor de  $\alpha$  se tornar igual ao valor de a/c, ambos terão a mesma importância na variação do crescimento da resistência do concreto.

Logo, o parâmetro que mais influi no crescimento do valor da resistência será o de menor valor unitário. Fisicamente, significa que o grau de hidratação  $\alpha$  terá menor influência no crescimento da resistência a partir do momento que superar o valor da relação a/c. Portanto, pode-se concluir que a cura terá importância enquanto o valor de  $\alpha$  supere o de a/c. Assim sendo, parece lógico que concretos com elevadas relações a/c devam ser curados, em condições ideais por períodos de tempos mais longos que os CED-Concretos de Elevado Desempenho, pois estes têm baixa relação a/c e o grau de hidratação supera o valor de a/c rapidamente.

Adotando k=100 e n=3 como valores médios característicos das constantes k e n para os cimentos Portland e agregados nacionais e substituindo-se esses valores na equação 1 resultará:

##### equação 5

$$f_c = 100 \cdot \left( \frac{0,674\alpha}{0,32\alpha + a/c} \right)^3$$

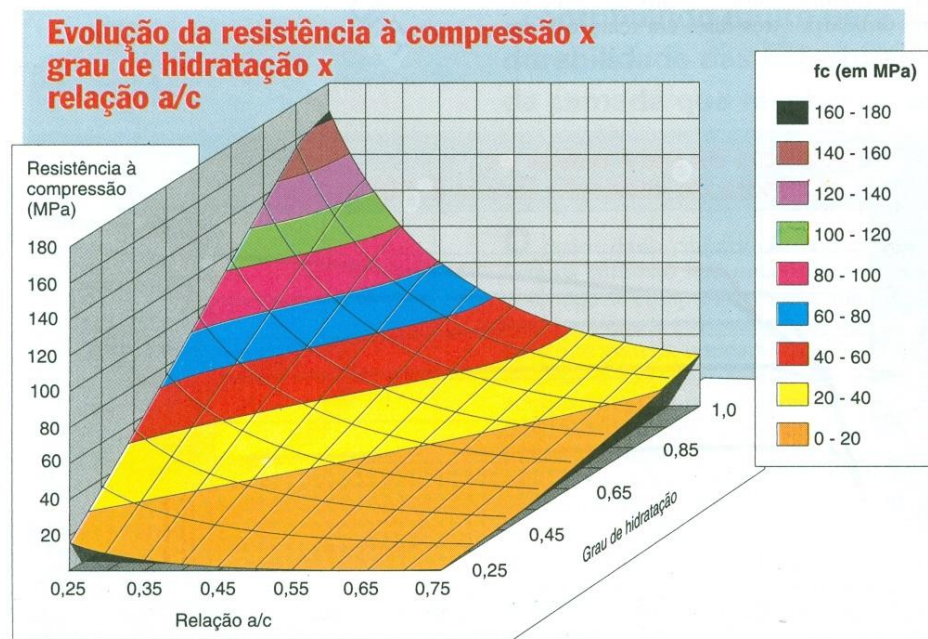
Calculando os diversos valores de  $f_c$  para os vários pares [  $\alpha$ , a/c ] pode-se construir o gráfico ao lado.

#### 5 Tempo de cura

Para definir o prazo de cura, motivo de constante preocupação de engenheiros e construtores nacionais, é necessário considerar dois aspectos fundamentais:

- a relação a/c e o grau de hidratação do concreto;
- o tipo de cimento.

Se na equação 5 o valor de  $\alpha$  for substituído por a/c ou vice-versa, chega-se a um  $f_c$  da ordem de 15 MPa e, portanto, a cura será imprescindível até a data em que o concreto atinja essa resistência. Utilizando as regressões lineares obtidas por Paulo Helene, pode-se concluir que os concretos nacionais devem atingir essa resistência entre dois e dez dias de idade, de acordo com o tipo de cimento utilizado e a relação a/c empregada, conforme sintetizado na Tabela 1.



**Tab. 1** Tempo mínimo de cura em função do tipo de cimento e da relação a/c

Cimento	a/c			
	0,35	0,55	0,65	0,70
CP I e II 32	2 dias	3 dias	7 dias	10 dias
CP-IV-POZ 32	2 dias	3 dias	7 dias	10 dias
CP-III-AF-32	2 dias	5 dias	7 dias	10 dias
CP-I e II-40	2 dias	3 dias	5 dias	5 dias
CP V-ARI	2 dias	3 dias	5 dias	5 dias

Há, também, outros aspectos importantes na determinação do tempo total de cura e não podem deixar de ser mencionados, uma vez que, de alguma forma, atuam sobre a cinética da reação de hidratação do cimento:

- condições locais, temperatura, vento e umidade relativa do ar;
- geometria das peças, que pode ser definida pela relação, área de exposição/volume da peça.

Em certas condições, haverá necessidade de concretos mais compactos (menos porosos), exigindo um prolongamento do período em que serão necessárias as operações de cura. Nessas condições haverá necessidade de considerar também a variável:

- agressividade do meio ambiente.

Para considerar o efeito dessas variáveis sobre os prazos citados na Tabela 1, sugere-se a utilização do fator  $k_n$ , que poderá ser determinado da seguinte forma:

$$k_n = n_1 \cdot n_2 \cdot n_3$$

Os valores  $n_i$  estão indicados na Tabela 2 e representam a influência das condições locais, geometria das peças concretadas e agressividade do meio ambiente sobre o tempo necessário às operações de cura.

Uma vez que a maioria das obras nacionais utiliza concretos com resistência característica à compressão  $f_{ck28}$  entre 18 e 20 MPa, com relação a/c entre 0,60 e 0,70, pode-se calcular o tempo máximo de cura necessário para uma estrutura com as características abaixo:

- concreto  $f_{ck28} = 18$  MPa, com brita 1 e 2, produzido com cimento CP-II-32 e relação a/c = 0,60, temperatura do ambiente por volta de 20°C e UR local sempre superior a 85%. Para o levantamento desses dados considerou-se a concretagem de uma laje tipo de um edifício residencial, com 500 m<sup>2</sup> e volume de 87 m<sup>3</sup>, situado numa região litorânea.

Com a utilização da Tabela 1 pode-se concluir que o tempo de cura necessário para um concreto produzido com cimento tipo CP-II-32 e fator a/c = 0,60 será de sete dias. Os fatores de correção indicados na Tabela 2 são, respectivamente,  $n_1=1,05$ ;  $n_2=1,20$  e  $n_3=1,15$ . Logo, o tempo total de cura será = sete dias  $\cdot 1,05 \cdot 1,20 \cdot 1,15$  dez dias.

Se no exemplo anterior a tensão caracte-

terística fosse alterada para  $f_{ck28} = 35$  MPa e sua relação a/c para 0,35, mantidas as demais condições, o tempo de cura seria de apenas dois dias, aplicando-se os mesmos fatores de correção. Logo, o tempo total = dois dias  $\cdot 1,05 \cdot 1,20 \cdot 1,15$  três dias.

## 6 Conclusões

Do exposto depreende-se:

- que os procedimentos de cura, se mantidos por dez dias consecutivos, satisfarão amplamente as necessidades da maioria dos concretos nacionais;
- para os CED-Concretos de Elevado Desempenho e aqueles produzidos com cimentos mais finos, as atividades de cura não são de vital importância, além dos três dias de idade. Todavia, isso não quer dizer que a partir desse momento os procedimentos de cura possam ser totalmente abandonados. Significa que não adiantará mais investir em métodos caros e sofisticados, uma vez que a partir desse momento o crescimento da resistência será afetado muito mais pela relação a/c adotada do que pelo grau de hidratação obtido com a cura;
- os resultados obtidos pela aplicação dessa metodologia para avaliação do tempo de cura de um concreto são compatíveis e com valores muito próximos daqueles alcançados pela aplicação da metodologia sugerida pelo CEB-Comitê Eurointernacional do Béton, FIP Model Code 1990, que adota outra filosofia para justificar cientificamente os prazos de cura.

Por fim, recomendamos que as sugestões constantes neste artigo possam ser estudadas para adoção na NBR 6118 ou noutra norma nacional similar.

## Fatores de correção dos tempos de cura

Condições atmosféricas	Temperatura	$\theta < 15^\circ\text{C}$		$16^\circ\text{C} < \theta < 39^\circ\text{C}$		
		Umidade relativa		UR < 70%	UR $\geq$ 70%	UR < 70%
Coefficiente de correção do tempo de cura	$n_1$	1,10	1,05	1,05	1,00	
Geometria da peça concretada		$R \leq 0,20$	$0,20 < R < 0,40$ (pouco espessa)	$0,40 < R < 0,70$ (delgada)	$R \geq 0,70$ (muito delgada)	
$R = \frac{\text{Área exposta}}{\text{Volume da peça}}$		(espessa)				
Coefficiente de correção do tempo de cura	$n_2$	1,00	1,05	1,10	1,20	
Agressividade do meio ambiente		Nula	Fraca	Média	Forte	Muito forte
Coefficiente de correção do tempo de cura	$n_3$	1,0	1,05	1,10	1,15	1,25

Nota: A agressividade do meio ambiente é definida pela norma Cetesb L 1007

**Leia mais:** METHA, P. Kumar & MONTEIRO, P.J. M. "Concreto, Estrutura Propriedades e Materiais". Tradução de Paulo Helene (coordenador). São Paulo, Pini, nov. 1994, p. 345; NEVILLE, Adam. "Propriedades do Concreto". Tradução Salvador Eugênio Giammusso, São Paulo, Pini, abril, 1982, p. 291-2; POWERS, Treval C. Structure and Physical Properties of Hardened Portland Cement Paste. "Journal of the American Ceramic Society", v. 41, nº 1, pp. 1-6, 1958; HELENE, Paulo R. L. & TERZIAN, Paulo R. "Manual de Dosagem e Controle do Concreto". São Paulo, Pini, abril 1993. p. 123 e pp. 238-240; ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. "Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado", capítulo 14: Cura do Concreto, NBR 6118 (NB-1), Rio de Janeiro, ABNT, 1978; THOMAZ, Ércio. "Estrutura Interna e Dosagem dos Concretos de Cimento Portland", disciplina do curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Urbana da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1994 (seminário sobre cura); CEB-Comitê Eurointernacional do Béton, FIP Model Code, 1990. London, Thomas Telford, Bulletin D'Information, nº 213/214, may, 1993 pp. 425-8.