

## Análise crítica do novo texto da ABNT NBR 7680-1:2015

### *ABNT NBR 7680-1:2015 Critical Analysis*

BILESKEY, Pedro<sup>(1)</sup>; COUTO, Douglas<sup>(2)</sup>; CARVALHO, Mariana<sup>(3)</sup>; HELENE, Paulo<sup>(4)</sup>

(1) *Mestrando IPT Habitação. PhD Engenharia;*

(2) *FEC / UNICAMP. PhD Engenharia;*

(3) *PhD Engenharia;*

(4) *Professor Titular da EPUSP. PhD Engenharia.*

*Rua Visconde de Ouro Preto, 201. Consolação. São Paulo/SP. CEP 01303-060*

### Resumo

Durante a construção de estruturas de concreto, Laboratórios especializados realizam o controle da resistência deste material e fornecem aos construtores e projetistas resultados de ensaios de determinação da resistência à compressão. No Brasil, a partir destes resultados, o concreto pode ser considerado conforme ou não, de acordo com os procedimentos da norma ABNT NBR 12655:2015. Para os casos onde há não-conformidade, deve-se recorrer ao procedimento estabelecido na norma ABNT NBR 7680-1:2015, recém-publicada, que, através da extração de testemunhos, busca confirmar a baixa resistência do concreto. Em ambas as ocasiões, o Laboratório deve realizar estes procedimentos de forma adequada e eficiente, de modo a obter resultados que mais se aproximem da resistência potencial máxima do material. Por outro lado, cabe lembrar que além das práticas laboratoriais, outras variáveis podem vir a interferir nos resultados dos ensaios realizados no concreto, tais como as operações de bombeamento, lançamento, adensamento, cura, desforma e outros. Neste contexto, apresenta-se neste trabalho uma análise do texto da nova norma ABNT NBR 7680-1:2015, à luz da normalização e literatura nacional e internacional. Procura-se também esclarecer e amadurecer os conceitos e parâmetros apresentados pelos autores durante os trabalhos de revisão da norma, realizados pela comissão de estudos do CB-18 da ABNT, com o objetivo de demonstrar que são vários os fatores intervenientes nos eventuais casos de não-conformidades. *Palavra-Chave: Resistência à compressão. Conformidade do concreto. Controle do concreto.*

### Abstract

During the construction of concrete structures, specialized laboratories perform the strength control of this material, and provide to builders and designers the determination of the compressive strength of concrete. In Brazil, from these results, the concrete of these structures shall be considered approved or not, in accordance with the procedures of the Brazilian standard ABNT NBR 12655:2015. For cases of low strength results in concrete specimens, should then be used the procedure established by ABNT NBR 7680-1:2015, recently published, which, from obtained cores, confirms or not the low strength results. In both situations, the laboratories shall perform these procedures properly and efficiently, in order to obtain the closest results to the maximum potential strength of the material. On the other hand, it is emphasized that, besides the laboratorial practices, other variables can affect the results of concrete strength, such as the operations of pumping, depositing, consolidation, curing, demoulding and more. In this context, this paper presents an analysis of the new standard ABNT NBR 7680-1:2015, according to Brazilian and international standards and literature. It also seeks to clarify and discuss the concepts and parameters presented by the authors during the revision of the standard, made by Brazilian Committee of Cement and Aggregates (CB-18 ABNT), in order to demonstrate that many factors can affect the possible low strength concrete cases. *Keywords: Compressive strength. Concrete compliance. Concrete control.*

## 1 Introdução

A conformidade da resistência à compressão do concreto numa estrutura é realizado segundo a ABNT NBR 12655:2015, através da confirmação de propriedades do concreto no estado fresco e endurecido. Neste caso, os dados de análise se concentram nos resultados de corpos de prova moldados por ocasião do recebimento do concreto no canteiro.

Caso sejam observadas nestes procedimentos eventuais não-conformidades na resistência do concreto (as quais podem ser relacionadas com deficiências na produção do concreto, ou falhas nas operações de controle da resistência, realizada pelo Laboratório de Controle, que deve preferencialmente pertencer à Rede Brasileira de Laboratórios e Ensaio – RBLE), o projetista da estrutura, em certos casos, pode vir a ser consultado e, quando necessário, poderá verificar a segurança da estrutura, considerando os resultados obtidos neste controle tecnológico.

Persistindo a não conformidade, ou seja, caso a estrutura não atenda a segurança desejada, a investigação deve passar à fase seguinte na qual testemunhos são extraídos da estrutura e, neste caso, entra uma outra variável importante, pois a qualidade das operações de execução realizadas pelo Construtor, assim como as novas operações de ensaio realizadas pelo Laboratório de Ensaio, passam também a interferir decisivamente nos resultados. Portanto a investigação e observação da qualidade e conformidade da execução (obra) passam também a ser fundamentais na análise.

Por essa razão, o julgamento da resistência do concreto a partir de testemunhos extraídos diretamente da estrutura é uma atividade ainda mais complexa que o exame dos resultados obtidos de corpos de prova moldados. Trata-se de um serviço técnico especializado, e que requer rigor nas operações de amostragem e nos ensaios, assim como experiência e bom senso na avaliação dos resultados obtidos, que são afetados pelas operações de extração e construção.

Assim, para a aceitação da estrutura de concreto a partir dos resultados de testemunhos extraídos, é necessário estabelecer critérios de comparação que corrijam as interferências dos procedimentos laboratoriais, de extração e de construção da estrutura, ou seja, deve-se introduzir coeficientes de ajuste que levem em conta aspectos relacionados à qualidade da execução, porosidade e vazios de concretagem e posição geométrica do testemunho no elemento estrutural, idade do concreto, fluência do concreto, histórico de carregamento da estrutura, “relaxação” do concreto e/ou efeito de carga de longa duração, natureza do aglomerante (cimento + adições), traço e outros.

É consenso no meio técnico que as resistências obtidas por meio de testemunhos extraídos da estrutura são potencialmente menores que as provenientes de corpos de prova moldados. Os testemunhos são porções íntegras e representativas do concreto de um componente estrutural, e considera-se que além das maiores variabilidades da resistência do concreto na estrutura, em princípio cobertas pelo coeficiente de segurança do concreto  $\gamma_c = \gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2} \cdot \gamma_{c3} = 1,4$ , também as operações de extração, por melhor que

sejam realizadas, introduzem efeitos deletérios nos mesmos que contribuem na redução de sua resistência original e dita potencial na boca da betoneira.

Desse modo, o primeiro problema da tecnologia do concreto reside em obter a resistência característica do concreto equivalente à do corpo de prova moldado ( $f_{c,j,eq}$ ) a partir de testemunhos extraídos ( $f_{c,ext,j}$ ), procedimento normalizado, no Brasil, pela ABNT NBR 7680-1:2015. Neste contexto, este artigo traz uma análise crítica da revisão desta norma, à luz da normalização e literatura nacional e internacional, com o objetivo de comparar conceitos e, de forma construtiva, dar continuidade à discussão do tema no meio técnico nacional.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 PROPOSTA DA ABNT NBR 7680-1:2015

Durante a execução da estrutura, o concreto produzido é controlado por meio de corpos de prova, que não representam a mesma resistência do concreto presente nas peças estruturais. Estes corpos de prova foram moldados e mantidos em condições ideais até a data de ensaio, diferentes do concreto empregado na execução da estrutura. Sendo assim, os resultados dos ensaios de resistência à compressão baseados nestas amostras presumem a resistência média máxima potencial de um volume definido e homogêneo de concreto bem misturado, ao sair da betoneira.

Segundo a ABNT NBR 7680-1:2015, as principais diferenças entre os resultados de corpos de prova moldados e testemunhos extraídos devem-se principalmente aos seguintes fatores:

- a) As dimensões de testemunhos e de corpos de prova podem não ser as mesmas;
- b) O testemunho pode refletir deficiências do processo executivo;
- c) O testemunho sofre o efeito de broqueamento devido ao procedimento de extração;
- d) Nos testemunhos, a direção da moldagem nem sempre é a mesma da aplicação da carga no ensaio de ruptura;
- e) O corpo de prova moldado é adensado de forma enérgica e homogênea, o que nem sempre ocorre em todos os pontos da estrutura;
- f) A retirada precoce de escoramentos pode gerar microfissurações no concreto em elementos submetidos à flexão, o que não se verifica em corpos de prova;
- g) O concreto de um testemunho pode não ter recebido cura adequada após a concretagem, além de ser submetido a um regime de temperatura diferente do de laboratório;
- h) A idade avançada dos testemunhos pode apresentar resistências mais elevadas que as de um concreto ensaiado a 28 dias.

Mesmo considerando que são vários os fatores podem influenciar a resistência do concreto obtida por meio de testemunhos extraídos, a correção da resistência “extraída” ( $f_{c,ext,j}$ ) à “moldada” ( $f_{c,j,eq}$ ) proposta pela ABNT NBR 7680-1:2015 leva em conta apenas quatro coeficientes, como se expõe na Equação 1.

$$f_{ci,ext} = [1 + (k_1 + k_2 + k_3 + k_4)] \cdot f_{ci,ext,initial} \quad (\text{Equação 1})$$

onde:

$f_{ci,ext}$  = resistência à compressão do concreto equivalente à obtida de corpos de prova moldados, a 28 dias de idade;

$f_{ci,ext,initial}$  = resistência do concreto à compressão obtida diretamente de testemunhos extraídos e ensaiados a "j" dias de idade;

$k_1$  = correção devida à relação altura/diâmetro (h/d) do testemunho cilíndrico;

$k_2$  = correção devida ao efeito deletério do broqueamento em função do diâmetro do testemunho;

$k_3$  = correção devida à diferença na direção da extração com relação ao lançamento do concreto;

$k_4$  = correção devida ao efeito da umidade do testemunho (condição de sazonalidade).

A uniformidade dos resultados deve ser verificada através do cálculo da média aritmética dos resultados individuais corrigidos, tratando com maior rigor os resultados com dispersão de  $\pm 15\%$  com relação à média.

É pertinente ressaltar que o 2º projeto de norma apresentado à consulta nacional apresentava, em seu Anexo A, outros coeficientes aplicáveis para a análise dos resultados de testemunhos extraídos, nos casos em que houvesse o intuito de realizar uma verificação aprofundada. Foram apresentadas disposições concernentes aos efeitos de segregação, cura, retirada precoce de escoramentos, idade da estrutura, adensamento, hidratação do cimento e efeito das cargas de longa duração (no Brasil conhecido como efeito Rüsçh), entretanto, o texto foi reduzido consensualmente pelos integrantes da Comissão pois havia algumas dúvidas e incertezas entre os membros.

Os subitens a seguir esclarecem as correções preconizadas na ABNT NBR 7680-1:2015.

### 2.1.1 Coeficiente $k_1$ : correção devida à relação altura/diâmetro (h/d)

De modo geral, quanto maior for a relação h/d, menor será a resistência à compressão obtida no ensaio do testemunho. Assim, a ABNT NBR 7680-1:2015 propõe os fatores de correção expostos na Tabela 1, permitindo a interpolação linear de valores.

Tabela 1 – Coeficientes  $k_1$  de correção devida à geometria do testemunho cilíndrico (relação h/d).

<b>h/d</b>	2,00	1,88	1,75	1,63	1,50	1,42	1,33	1,25	1,21	1,18	1,14	1,11	1,07	1,04	1,00
<b><math>k_1</math></b>	0,00	-0,01	-0,02	-0,03	-0,04	-0,05	-0,06	-0,07	-0,08	-0,09	-0,10	-0,11	-0,12	-0,13	-0,14

### 2.1.2 Coeficiente $k_2$ : correção devida ao efeito do broqueamento em função do diâmetro do testemunho

O efeito deletério do broqueamento deve ser considerado em todos os casos e é maior quanto menor for o diâmetro do testemunho. Ressalta-se que esse efeito ainda mais evidente e importante ao se considerar a possibilidade do uso de equipamentos velhos, mal conservados, mal fixados no momento da extração e manuseado por operadores mal treinados.



A Tabela 2 apresenta os valores dos coeficientes de correção propostos pela norma brasileira, sendo também permitida a interpolação de valores.

Tabela 2 – Correção devida ao efeito do broqueamento em função do diâmetro do testemunho.

Diâmetro do testemunho ( $d_t$ ) mm	$\leq 25$	50	75	100	$\geq 150$
$k_2$	Não permitido	0,12	0,09	0,06	0,04

### 2.1.3 Coeficiente $k_3$ : correção devida à diferença na direção da extração com relação ao lançamento do concreto

O responsável pela extração deve informar ao Laboratório sobre a direção da extração tendo em vista a direção do lançamento do concreto. Para extrações realizadas no sentido ortogonal ao lançamento (como, por exemplo, pilares e vigas moldados no local),  $k_3 = 0,05$ .

### 2.1.4 Coeficiente $k_4$ : correção devida ao efeito da umidade do testemunho

A correção devida ao efeito da umidade leva em conta a condição real da estrutura da qual são obtidos testemunhos. Caso a mesma não esteja em contato com água, os testemunhos devem ser mantidos expostos ao ar, em ambiente de laboratório, por no mínimo 72h, obedecendo aos critérios de temperatura da ABNT NBR 5738:2015, e ensaiados no estado de equilíbrio que se encontrem, adotando  $k_4 = -0,04$ .

Quando o concreto da região da estrutura que está sendo examinada estiver em contato com água, os testemunhos devem ser acondicionados em tanque de cura ou câmara úmida por no mínimo 72h, sendo rompidos saturados e com  $k_4 = 0$ .

## 2.2 LITERATURA NACIONAL E INTERNACIONAL

Com base na bibliografia fartamente disponível sobre tecnologia de concreto, resume-se que a conversão de “extraído” ( $f_{c,ext,j}$ ) a “moldado” ( $f_{c,j,eq}$ ) pode levar em conta os seguintes fatores ou coeficientes “k”:

$$f_{ck,ext,eq} = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \cdot k_7 \cdot k_8 \cdot k_9 \cdot f_{ck,ext,j} \quad (\text{Equação 2})$$

onde:

$f_{ck,est,eq}$  = resistência à compressão característica do concreto equivalente à obtida de corpos de prova moldados, a 28 dias de idade;

$f_{ck,ext,j}$  = resistência à compressão característica do concreto à compressão obtida diretamente de testemunhos extraídos e ensaiados a “j” dias de idade;

$k_1$  = correção devida à relação altura/diâmetro (h/d) do testemunho cilíndrico;

$k_2$  = correção devida ao efeito deletério do broqueamento;

$k_3$  = correção devida à direção de extração em relação à direção de lançamento e adensamento do concreto;

- $k_4$  = correção devida às condições de sazonalidade do concreto do testemunho, antes do ensaio de compressão;
- $k_5$  = correção devida às deficiências de cura do concreto na obra;
- $k_6$  = correção devida às deficiências de adensamento na obra;
- $k_7$  = correção devida às microfissurações causadas pela retirada precoce de escoramentos;
- $k_8$  = correção devida à idade;
- $k_9$  = correção devida ao efeito de carga de longa duração, também conhecida no Brasil por efeito Rüsçh.

Os coeficientes  $k_8$  e  $k_9$  levam em conta necessidade de se retroagir a resistência a 28 dias. No contexto internacional, pouco se discute sobre esta necessidade, sendo que estes pesquisadores não encontraram, na bibliografia disponível, nenhuma menção à necessidade de retroagir a resistência do concreto a 28 dias (CREMONINI, 1994; VIEIRA, 2008; CALAVERA, 2011; SILVA FILHO et al., 2011).

Nenhum texto foi encontrado considerando o crescimento ou o decréscimo da resistência do concreto após 28 dias, quando analisado em estruturas existentes e com idades muito ou pouco superiores a 28 dias.

O ACI 318-14 e o ACI 214.4R-10, nestes casos, adotam a resistência atual, “j”, como a resistência de projeto. O EUROCODE 2 e outras normas não são claros nesse critério, mas geralmente nada comentam sobre a necessidade de retroagir a resistência a 28 dias.

Fusco (2012) recomenda não corrigir desde que a idade de ensaio do testemunho não supere 91 dias. Para fins de discussão construtiva, admite-se neste artigo, que fosse necessário proceder com essa correção.

Os subitens a seguir dedicam-se a uma revisão da literatura concernente às correções apresentadas.

### 2.2.1 Coeficiente $k_1$ : correção devida à relação altura/diâmetro (h/d)

Como explica o ACI 214.4R-10, testemunhos com uma menor relação altura/diâmetro suportam maiores cargas pois as placas metálicas da prensa restringem completamente a expansão lateral do testemunho, além de promoverem confinamento. Este efeito já é conhecido e disseminado no meio técnico, e sabe-se que o mesmo é eliminado para testemunhos que apresentem relação  $h/d = 2$ .

Diversas normas trazem o valor do coeficiente utilizado para levar em conta esta correção, estando alguns exemplos apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Coeficientes  $k_1$  de correção devida à geometria do testemunho cilíndrico (relação h/d).

relação h/d	BS 1881	ASTM C 42	ABNT NBR 7680-1 coeficiente $k_1$
2,00	1,00	1,00	1,00

1,75	0,98	0,98	0,98
1,50	0,96	0,96	0,96
1,25	0,94	0,93	0,93

## 2.2.2 Coeficiente $k_2$ : correção devida ao efeito deletério do broqueamento

Vieira Filho (2007) ressalta que a boa performance com os testemunhos depende especialmente da experiência do operador e da fixação adequada da máquina extratora na estrutura, evitando-se vibrações e conseqüentes ondulações nos testemunhos, sugerindo que seja adotado  $k_2 = 1,07$  com base nos resultados experimentais de sua tese de doutorado. A Concrete Society (1976) considera razoável uma redução de 5% a 7% na resistência, correspondendo a um fator de correção médio da ordem de 1,06, equivalente ao também adotado pelo ACI 214.4R-10.

## 2.2.3 Coeficiente $k_3$ : correção devida à direção de extração em relação à direção de lançamento e adensamento do concreto

Segundo ACI 214.4R-10 e livros texto de concreto, o concreto extraído em direção ortogonal à de lançamento deve ser corrigido de  $k_3$  de 1,05, ou seja, a resistência do concreto extraído ortogonalmente é 5% menor que aquela do concreto do corpo de prova onde a moldagem e o ensaio estão na mesma direção, conforme Tabela 6.

Tabela 6 – Relação entre a resistência do concreto em testemunhos extraídos em direção paralela e ortogonal à concretagem. (CREMONINI, 1994).

Pesquisador	Relação $f_c$ horizontal / $f_c$ vertical
<i>Petersons (1971)</i>	1,12
<i>Grahan apud Neville (1969)</i>	1,08
<i>Ortiz &amp; Diaz (1973)</i>	1,01 a 1,06
<i>Liniers (1974)</i>	1,05
<i>Meininger (1977)</i>	1,07
<i>Concrete Society</i>	1,08
<i>Kasai &amp; Matui (1979)</i>	1,04
<i>Munday &amp; Dhir (1984)</i>	1,05 a 1,11
<i>Bloem (1968)</i>	1,00

## 2.2.4 Coeficiente $k_4$ : correção devida às condições de sazonalamento do concreto do testemunho, antes do ensaio de compressão

Segundo ACI 214.4R-10, caso o testemunho seja rompido imediatamente e na seqüência da extração, deve-se adotar  $k_4 = 1,00$ . Se mantido sob água

por 48h e rompido saturado,  $k_4 = 1,09$  e, se rompido seco em estufa ventilada por 7 dias,  $k_4 = 0,98$ .

### 2.2.5 Coeficiente $k_5$ : correção devida às deficiências de cura do concreto na obra

A cura deficiente de obra, comparativamente àquela padronizada como ideal (corpo de prova moldado), pode reduzir muito a resistência do concreto na obra, sempre em mais de 5%, como expõe a Tabela 4.

Tabela 4 – Efeito da natureza da cura sazonalidade (UR e temperatura) na resistência do concreto.

referência	sazonamento	coeficiente $k_5$
<i>Calavera et al. (2011)</i>	> 30°C	1,10
<i>Calavera et al. (2011)</i>	< 15°C	1,05
<i>Mehta e Monteiro (2014)</i>	ao ar	1,60
<i>Concrete Society (1976)</i>	usual de obra	1,20
<i>Concrete Society (1976)</i>	membrana de cura	1,10
<i>Battagin; Curti; Silva; Munhoz (2002)</i>	câmara seca	1,15
<i>U.S. Bureau of Reclamation (1981)</i>	ao ar	1,60

### 2.2.6 Coeficiente $k_6$ : correção devida às deficiências de adensamento na obra

Segundo ACI 214.4R-10 e livros texto de concreto, deve ser aumentada a resistência do testemunho de 5% a 7% para cada 1% a mais de porosidade (volume de vazios) do concreto extraído em relação à porosidade medida no concreto bem adensado do corpo de prova padrão. Isso pressupõe que a porosidade (ASTM C 642) tenha sido medida no corpo de prova moldado e também no testemunho extraído, para permitir a comparação e eventual correção, conforme Tabela 5.

Tabela 5 – Coeficientes de correção segundo teor de ar aprisionado no concreto devido ao adensamento insuficiente (CONCRETE SOCIETY, 1976).

porcentagem de ar aprisionado em volume	fator de correção por deficiência de compactação, $k_6$
1,0	1,08
1,5	1,13
2,0	1,18
2,5	1,23
3,0	1,28
3,5	1,33



4,0	1,39
4,5	1,45
5,0	1,51

### 2.2.7 Coeficiente $k_7$ : correção devida às microfissurações causadas pela retirada precoce de escoramentos

A ABNT NBR 14931:2004, embora não defina prazos para a retirada de escoramentos, esclarece que a mesma deve ocorrer apenas quando o concreto estiver suficientemente endurecido para resistir às ações que sobre ele atuarem e não conduzir a deformações inaceitáveis ou danos à superfície do elemento estrutural, ou seja, desde que o material apresente resistência à compressão e módulo de elasticidade compatíveis com as necessidades do projeto.

Vieira (2008) ressalta que quando um elemento sem resistência suficiente passa a suportar cargas de outros elementos estruturais (além de outras, provenientes da execução de serviços simultâneos), podem ocorrer deformações não previstas, que podem provocar o surgimento de fissuras e microfissuras devidas a esta aplicação prematura de esforços. Além disso, se existe um panorama de microfissuração precedente ao carregamento propriamente dito, este quadro tende a se potencializar dependendo do nível de solicitação imposto. Silva Filho e Helene (2011) complementam que a fissuração pode, também, facilitar o ingresso de agentes agressivos e comprometer a vida útil da estrutura.

Bartlett e MacGregor (1994) afirmam que as perdas de resistência devidas à microfissuração do concreto podem apresentar valores de até 11%. Assim, no caso de testemunhos extraídos de elementos estruturais de obras que não possuam registros que comprovem o atendimento aos requisitos da ABNT NBR 14931:2004 quanto ao descimbramento, seria razoável empregar um coeficiente  $k_7 = 1,11$ .

### 2.2.8 Coeficiente $k_8$ : correção devida à idade

Este coeficiente considera que o concreto esteve, até a idade de ensaio, livre e sem carga, podendo desenvolver todo o crescimento de sua resistência. Também pressupõe que havia em obra condições ideais de cura e temperatura, similares à de uma câmara úmida, que permitiriam o crescimento da resistência.

Como é sempre difícil definir a história real de carregamento desse concreto e suas condições de cura e temperatura, pode-se admitir que sempre que estiver pouco carregado, ou seja, com menos de 50% da carga de projeto, esse concreto pode desenvolver sua resistência “livremente”. Assim sendo, para retroagir essa resistência a 28 dias, poder-se-ia utilizar o modelo clássico de crescimento da resistência com a idade, previsto na ABNT NBR 6118:2014 e *fib* Model Code 2010, a saber:

$$\frac{f_{c,j}}{f_{c,28}} = e^{s*(1-\sqrt{\frac{28}{j}})} \quad (\text{Equação 3})$$

no qual  $s = 0,16$ ; uma vez que corresponde ao modelo de segurança da ABNT NBR 6118:2014, que admite  $0,85 (=1,17 \cdot 0,73)$  como o produto aos 50 anos do crescimento versus o efeito Rüsçh.

Assim sendo, para  $j > 28$  dias:

$$k_8 = e^{-0,16*(1-\sqrt{\frac{28}{j}})} \quad (\text{Equação 4})$$

### 2.2.9 Coeficiente $k_9$ : correção devida ao efeito das cargas de longa duração (efeito Rüsçh)

Todo concreto sob carga elevada, admitida como acima de 50% da carga de projeto, mantida por um período superior a 20 minutos, fica sujeito ao fenômeno de redução significativa de sua resistência, podendo chegar a perder 27% de sua resistência sob carga elevada mantida dos 28 dias aos 50 anos. O modelo clássico, adotado pelo *fib* Model Code 2010 e ABNT NBR 6118:2014, que representa esse fenômeno, é:

$$\frac{f_{c,sust}}{f_{c,t_0}} = 0,96 - 0,12 * \sqrt[4]{\ln\{72*(t-t_0)\}} \quad (\text{Equação 5})$$

Portanto, é possível obter a resistência inicial na idade  $t_0$  ou de 28 dias, desde que se tenha medido a resistência do concreto sob carga na idade  $j$  ou  $t$ , através do uso desse modelo, ou seja;

$$k_9 = [0,96 - 0,12 * \sqrt[4]{\ln\{72*(t-t_0)\}}]^{-1} \quad (\text{Equação 6})$$

sempre que  $t > 28$  dias e  $t_0 = 28$  dias.

## 3 DISCUSSÕES

Percebe-se que a análise proposta pela ABNT NBR 7680-1:2015 não contempla uma grande parte dos coeficientes de correção que constam na bibliografia consultada, restringindo-se apenas ao fator geométrico da relação  $h/d$ , efeito de broqueamento, efeito da direção de extração com relação à direção de adensamento do concreto e a condição de umidade ou sazonalidade do testemunho precedente a sua ruptura.

Outro ponto de divergência se dá no modelo empregado para o cálculo da resistência corrigida, onde na Norma Brasileira adota-se um modelo de somatório de coeficientes, enquanto em todas as demais referências, sem nenhuma exceção, adota-se o modelo multiplicativo dos coeficientes de correção (COUTO *et al.*, 2015).

Os autores entendem que esta foi uma decisão conservadora, que não considerou resultados de vários estudos laboratoriais apresentados na literatura, os quais comprovam a influência negativa de outros fatores (de responsabilidade do construtor, que ocorrem

durante o período de transporte, aplicação e cura do material, por exemplo) sobre a resistência final obtida, beneficiando claramente, assim, apenas um dos intervenientes nas questões comerciais.

Ressalta-se que os resultados dos experimentos realizados para conhecimento das perdas de resistência (causadas por cada um dos fatores mencionados neste artigo) são calculados de forma isolada diretamente sobre a resistência obtida em corpos de prova de referência. Mesmo entendendo que ainda não foram apresentados estudos que comprovem a real magnitude da perda de resistência provocada pela atuação sinérgica de dois ou mais destes fatores, considera-se conveniente que estes coeficientes de correção deveriam ser aplicados de forma multiplicativa, com o intuito de compensar estas perdas e como é adotado internacionalmente.

Observe-se que a prática da engenharia requer bom senso e conceitos firmes, pois não tem sentido corrigir sempre utilizando todos os coeficientes apresentados. Por exemplo, se não houve variação significativa de temperatura ou se a estrutura está na Amazônia onde a UR é equivalente à de uma câmara de cura, o coeficiente de cura e sazonalidade não deverá ser utilizado.

Lembre-se aqui que, com exceção dos coeficientes propostos pela Norma Brasileira, as demais correções apresentadas levam em conta perdas irreparáveis de resistência do concreto ocasionadas pela má execução da obra, de modo que as mesmas não devem ser levadas em conta na análise de segurança estrutural, restringindo-se ao mérito de resolução de questões comerciais.

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Diante do exposto, os autores consideram apropriado que novas discussões sejam promovidas na comunidade técnica com o objetivo de se aprimorar as análises de estruturas acabadas, e também buscar que os critérios de análise empregados estejam sempre alinhados com a prática internacional, dentro do seu estado da arte.

É notório que ainda há uma grande lacuna, em termos de pesquisas no campo das estruturas de concreto sob carga mantida, a exemplo do trabalho iniciado por Rüschi em 1960, no que tange a avaliação da resistência do concreto a partir de testemunhos, quando estes são oriundos de estruturas já submetidas a carregamento.

Não se sabe ainda, de forma fidedigna, como tratar esse tipo de resultado, em outras palavras, se deve-se ou não regredir a resistência do concreto a uma determinada idade, e ainda se o histórico de carregamento deve ser considerado nessa análise.

Nota-se que a atual revisão da ABNT NBR 7680 a deixou equivalente, em termos de resultados, as mais consagradas normas mundiais, apesar de ainda ter uma forma de análise conservadora e pouco pragmática.

Por fim, os autores recomendam que as entidades técnicas ligadas ao concreto, estabeleçam comitês permanentes para a discussão sistemática da análise de estruturas acabadas, incluindo análise de testemunhos extraídos, de forma a aprimorar os critérios normativos para esse fim.

## 5 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto. Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7680-1 (Versão Corrigida: 2015)**: Concreto - Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto. Parte 1: Resistência à compressão axial. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland. Preparo, controle, recebimento e aceitação. Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14037 (versão corrigida 2014)**: Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações – Requisitos para elaboração e apresentação dos conteúdos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931**: Execução de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

BATTAGIN, A.F.; CURTI, R.; SILVA, C.O.; MUNHOZ, F.C. **Influência das Condições de Cura em Algumas Propriedades dos Concretos**. IBRACON. Trabalho apresentado ao 44º Congresso Brasileiro do Concreto, 2002.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION (BSI). **BS 1881-120**: Testing Concrete. Method for determination of the compressive strength of concrete cores. London, 1983.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 318-14**: Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary. Farmington Hills: ACI, 2014.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 214.4R-10**: Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results. Farmington Hills: ACI, 2010.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C42 / C42M-13**: Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C642-13**: Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013.

BARTLETT, F. M.; MacGREGOR, J. G. **Assessment of concrete strength in existing structures**. Structural Engineering Report n. 198. Department of Civil Engineering, University of Alberta. Alberta, 1994.

CALAVERA, J.; FERNANDEZ-GOMEZ, J.; GONZALEZ, G; LEY, J.; LOPEZ, P. Effect of Initial On-Site Curing on 28-Day Cylinder Strength. **ACI Materials Journal**. N. 108, M.5, p. 510-515, Set-Oct. 2011.

COMITE EUROPÉEN DE NORMALISATION. **EUROCODE 2**: Design of concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings. Brussels: CEN, 2004.

CONCRETE SOCIETY. **Concrete Core Testing for Strength**. London. Concrete Society Technical Report, .11, 1976.

COUTO, D.; CARVALHO, M.; CINTRA, A.; HELENE, P. Concrete structures: Contribution to the safety assessment of existing structures. **IBRACON Structures and Materials Journal**, São Paulo, v. 8, n. 3, p.365-389, jun. 2015.

CREMONINI, R. A. **Análise de estruturas acabadas**: contribuição para a determinação da relação entre as resistências potencial e efetiva do concreto. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994. 195p.

FUSCO, P. B. **Controle da resistência do concreto**. ABECE Informa, São Paulo, n. 89, p.12-19, Jan/Fev. 2012.

FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON. **fib (CEB-FIP) Model Code for Concrete Structures 2010**. Lausanne: Ernst & Sohn, 2013.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. **Concreto**: Microestrutura, Propriedades e Materiais. 2.ª Edição. Ibracon, 2014.

SILVA FILHO, L. C. P.; HELENE, P. Análise de Estruturas de Concreto com Problemas de Resistência e Fissuração. In: **Geraldo C. Isaia. (Org.)**. Concreto: Ciência e Tecnologia. 1ed.São Paulo: Ibracon, 2011, v. 2, p. 1129-1174.

UNITED STATES BUREAU OF RECLAMATION. **Concrete Manual**: a manual for the control of concrete construction. 8ª ed. Denver, CO, 1981.

VIEIRA, G. L. **Influência da microfissuração causada por carregamento precoce nas propriedades mecânicas de concretos produzidos com diferentes tipos de cimento**. 2008. 189 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia. Porto Alegre, 2008.

VIEIRA FILHO, J. O. **Avaliação da Resistência à Compressão do Concreto através de Testemunhos Extraídos**: Contribuição à Estimativa do Coeficiente de Correção devido aos Efeitos do Broqueamento. 2007. 216 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.