

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA CURA NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO

SARAIVA, Marco Antônio Caixeta

*Discente, Bacharelado em Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA - Centro Universitário de Anápolis
(marcocsaraiva@hotmail.com)*

GOMES, Kíria Nery Alves do Espírito Santo

*Professora Mestra, Bacharelado em Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA - Centro Universitário de Anápolis
(kiriagomes@gmail.com)*

RESUMO

Este trabalho direciona-se a uma análise, verificação e comparação da resistência à compressão de corpos de prova submetidos a procedimentos de cura, divididos em cura em câmara úmida e cura em tanque com água potável, além de cura em ambiente interno e externo ao laboratório. Os corpos de provas foram avaliados quanto à resistência à compressão axial nas idades de 7 e 28 dias. Depois de serem curados, os corpos de prova foram levados à ruptura em prensa hidráulica para verificação de suas resistências, permitindo, a partir da obtenção dos resultados, comprovar que a hidratação do cimento é mantida quando a umidade interior do concreto é aproximadamente igual à umidade relativa do ar. Contudo, as baixas resistências aos 28 dias encontradas para os corpos de provas submersos evidenciam que a relação água/cimento e a resistência característica do concreto utilizado (30 MPa) podem ter influenciado o resultado.

PALAVRAS-CHAVE

Cura. Concreto. Aditivos. Adições. Hidratação. Cimento.

1 INTRODUÇÃO

O concreto é um dos materiais mais populares da construção civil, amplamente utilizado nos mais diversos tipos de edificações, composto de agregados graúdos, agregados miúdos, aglomerantes, água e adições/aditivos.

Para a obtenção de um concreto de qualidade e em conformidade com a sua finalidade, deverão ser executadas com controle, as operações de produção do material que influenciarão nas propriedades do concreto endurecido. Estas operações são: dosagem, mistura, transporte, lançamento, adensamento e cura, sendo o último tema deste trabalho.

O mesmo consiste no processo de controle da taxa e extensão da perda de umidade do concreto, de modo a assegurar uma hidratação ininterrupta do cimento Portland após o lançamento e adensamento do concreto. Segundo Curti (s.d), a não execução deste procedimento acarreta na não hidratação do cimento, deixando este anidro, com conseqüente perda de resistência, devido a não formação dos Silicatos de Cálcio hidratados, principal fase proveniente da hidratação do cimento Portland, com grande influência na maioria das propriedades físicas e mecânicas dos materiais cimentícios.

2 METODOLOGIA

2.1 CURA

De acordo com Neville e Brooks (2013), a cura do concreto é conhecida como o conjunto de medidas que tem por finalidade evitar a evaporação prematura da água necessária para a hidratação do cimento, que é responsável pela pega e endurecimento do concreto. O objetivo da cura é manter o concreto saturado, ou o mais próximo possível dessa condição até que os espaços inicialmente ocupados pela água sejam ocupados pelos produtos da hidratação do aglomerante, neste caso o cimento. A cura do concreto deve ser iniciada imediatamente após o endurecimento superficial.

A água é parte integrante do processo de pega e endurecimento, conseqüentemente não poderá ser perdida sob pena de deixar vazios e criar esforços de retração hidráulica. Desta forma, quando uma mistura corretamente dosada é seguida de

cura úmida, durante os primeiros estágios de endurecimento serão conferidos ao concreto as melhores condições para se tornar um material de baixa permeabilidade, de baixa absorção de água, de alta resistência à carbonatação e à difusão de íons, e com resistência mecânica e durabilidade adequada (FERNANDES; BITTENCOURT & HELENE, 2008).

2.1.1 Cura Submersa

A cura submersa possui como finalidade evitar a evaporação da água mantendo o concreto saturado. O processo de alagamento consiste em cobrir com água a superfície exposta da estrutura de concreto, dispensando a molhagem contínua. Na maioria dos casos, é preciso construir uma barreira de contenção (de areia, serragem, madeira, dentre outras opções) ao redor do elemento estrutural para que a água não vaze ou escorra.

2.1.2 Cura em Câmara Úmida

Este tipo de cura é utilizada principalmente por laboratórios em corpos de prova. Conforme a NBR 9479 (ABNT, 2006), uma câmara úmida é definida como um compartimento fechado, climatizado, isolado termicamente, de dimensões adequadas para a estocagem destes corpos de prova de argamassa e concreto durante o período de cura. Portanto, possui capacidade de manter as condições ambientais exigidas pela referida norma.

Estes requisitos se baseiam em: câmaras construídas de material resistente, durável e não corrosivo; a atmosfera no interior do compartimento deve estar saturada de água, de forma que as superfícies expostas dos corpos de prova estocados mantenham-se úmidas durante todo o período de cura; portas devem ser ajustadas com sistema de vedação com fechamento hermético do ambiente; as prateleiras em seu interior devem ser niveladas e com material resistente, durável e não corrosivo; a temperatura interna, mantida por dispositivos de climatização, deve ser $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ podendo também ser mantida nos intervalos $(21 \pm 2)^\circ\text{C}$, $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$ ou $(27 \pm 2)^\circ\text{C}$, contudo, deve-se registrar no relatório de ensaio; e a umidade relativa não deve ser inferior a 95%, mantida com uso de aspersores, cortinas de água ou outros dispositivos, evitando-se escorrimentos diretos ou contínuos sobre os corpos de prova.

2.1.3 Cura ao Ar

Para Ribeiro, Gomes & Valin Júnior (2014), o local da obra influencia diretamente no processo de cura. A cura ao ar é simplesmente, manter o concreto exposto ao ambiente que se encontra, não sendo tomados cuidados especiais para se evitar a evaporação prematura da água necessária para a hidratação do cimento.

Neville (2016) conclui que para se ter continuidade na hidratação, deve-se manter a umidade no interior do concreto, no mínimo, em 80%. Caso a umidade relativa do ar ambiente seja no mínimo esse valor, haverá pouca movimentação de água entre o concreto e o ambiente. Portanto, não será necessário nenhum procedimento de cura para garantir a continuidade da hidratação para casos como este.

2.2 RESISTÊNCIA MECÂNICA À COMPRESSÃO

A resistência mecânica à compressão é a principal propriedade do concreto no seu estado endurecido. É de conhecimento que o concreto é excelente quando submetido a esforços de compressão e deixa a desejar sob esforços de tração (PETRUCCI, 2005). Petrucci (2005) afirma ainda que a resistência à tração é da ordem da décima parte da resistência à compressão.

Normalmente, utiliza-se a resistência à compressão simples para medir a qualidade do concreto. Uma determinada resistência especificada pode ser obtida em menor prazo através de uma cura contínua. Quando a cura é interrompida antes da obtenção da resistência desejada, seja através de fontes naturais, como chuva, por aplicações artificiais de umidade, permitirá obter ganhos em resistência, porém inferiores ao obtido por processos contínuos (BAUER, 1991).

A Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2002) indica que a resistência depende essencialmente da relação a/c para um mesmo grau de hidratação. Neville e Brooks (2013) ainda mencionam o tempo de cura necessário para concretos com diferentes relações de a/c (Tabela 1), baseando-se no grau de hidratação necessário para evitar a propagação de poros capilares, ou seja, um aumento de vazios que acarretará em menor resistência.

Tabela 1 - Período de cura necessário para evitar a propagação dos poros capilares

Relação Água/cimento	Grau de Hidratação (%)	Período de cura necessário
0,40	50	3 dias
0,45	60	7 dias
0,50	70	14 dias
0,60	92	6 meses
0,70	100	1 ano
Acima de 0,70	100	Impossível

Fonte: NEVILLE E BROOKS, 2013.

3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA MECÂNICA À COMPRESSÃO APÓS PERÍODO DE CURA

Para a realização do ensaio, utilizou-se de um concreto usinado de fornecimento da Concreto Redimix do Brasil S/A com resistência característica à compressão (f_{ck}) de 30 MPa (Megapascal), brita 0 e 1 e abatimento de 120 ± 20 mm.

Com a finalidade comparativa, tornou-se necessário a investigação de técnicas de cura prescritas por norma juntamente com as utilizadas usualmente em obras.

Para se alcançar os objetivos propostos, definiu-se as variáveis utilizadas no experimento, são elas:

- a) técnicas de cura: cura submersa, câmara úmida, em ambiente interno ao laboratório e em ambiente externo ao laboratório;
- b) idade do ensaio: 7 e 28 dias para o ensaio de resistência à compressão.

Este ensaio iniciou-se no dia 14 de Março de 2018, com todos seus procedimentos realizados no laboratório de Construção do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) da cidade de Goiânia-GO. Na descarga da amostra do concreto realizada inicialmente a aferição de sua consistência através do ensaio do abatimento "Slump Test" em conformidade com a NBR NM 67 (ABNT, 1998).

Após a realização do ensaio do abatimento foram posicionados 32 moldes metálicos para moldagem dos corpos de provas conforme a NBR 5738 (ABNT, 2015).

Posteriormente a esta moldagem, os corpos de prova foram deixados no processo de cura inicial por 24 horas, cobertos e no local onde foram moldados, protegidos; no final desse período, realizou-se a desforma e a numeração dos corpos de prova para efeitos de identificação.

Estes foram submetidos a quatro tipos de curas e cada qual foi esperado atingir suas idades para ruptura dentro das faixas estipuladas, que foram 7 e 28 dias, sendo 04 corpos para cada tipo de cura rompidos em cada faixa estipulada (7 e 28 dias).

Sendo assim, realizado o procedimento de desforma, reuniram-se os corpos-de-prova para a realização de 04 processos de cura distintos, com posterior análise das suas propriedades de resistência à compressão em ruptura conforme a NBR 5739 (ABNT, 2007).

3.1 ENSAIO DE COMPRESSÃO AOS 7 DIAS

Passados 7 dias do início da realização dos quatro tipos de cura em análise, portanto, dia 21 de março de 2018, obteve-se através do ensaio de compressão os primeiros resultados quanto a resistência dos corpos de provas para cura submersa, câmara úmida, ambiente interno e externo ao laboratório. Na Tabela 2 são apresentados tais valores, sendo que a resistência final mencionada deriva da média dos resultados dos 4 corpos de provas submetidos a mesma técnica de cura.

Tabela 2 – Resultado do ensaio à compressão aos 7 dias

Câmara Úmida	Cura Submersa	Ambiente Interno ao Laboratório	Ambiente Externo ao Laboratório
Resistência (MPa)	Resistência (MPa)	Resistência (MPa)	Resistência (MPa)
40,80	39,50	38,30	42,10
39,40	39,00	40,10	40,40
43,30	42,00	40,70	38,40
41,20	38,30	40,80	40,60
Média das Resistências (MPa)	Média das Resistências (MPa)	Média das Resistências (MPa)	Média das Resistências (MPa)
41,18	39,70	39,98	40,38
Maior Resistência (MPa)	Maior Resistência (MPa)	Maior Resistência (MPa)	Maior Resistência (MPa)
43,30	42,00	40,80	42,10
Menor Resistência (MPa)	Menor Resistência (MPa)	Menor Resistência (MPa)	Menor Resistência (MPa)
39,40	38,30	38,30	38,40

Fonte: Próprio autor, 2018.

3.2 ENSAIO DE COMPRESSÃO AOS 28 DIAS

Realizada a cura e rompimento dos corpos de prova durante os primeiros 7 dias, seguiu-se por mais 21 com a cura dos demais corpos, totalizando 28 dias, portanto, 11 de abril de 2018. Neste dia foram obtidos os resultados do ensaio de compressão quanto à resistência dos corpos de prova. Na Tabela 3 tais valores são apresentados, sendo que a resistência final mencionada também deriva da média dos resultados dos 4 corpos de provas submetidos a mesma técnica de cura.

Tabela 3 – Resultado do ensaio à compressão aos 28 dias

Câmara Úmida	Cura Submersa	Ambiente Interno ao Laboratório	Ambiente Externo ao Laboratório
Resistência (MPa)	Resistência (MPa)	Resistência (MPa)	Resistência (MPa)
43,30	41,40	47,30	43,90
45,00	41,70	48,30	44,60
43,90	42,00	44,90	43,10
44,10	41,60	46,50	43,30
Média das Resistências (MPa)	Média das Resistências (MPa)	Média das Resistências (MPa)	Média das Resistências (MPa)
44,08	41,67	46,75	43,73
Maior Resistência (MPa)	Maior Resistência (MPa)	Maior Resistência (MPa)	Maior Resistência (MPa)
45,00	42,00	48,30	44,60
Menor Resistência (MPa)	Menor Resistência (MPa)	Menor Resistência (MPa)	Menor Resistência (MPa)
43,30	41,40	44,90	43,10

Fonte: Próprio autor, 2018.

4 CONCLUSÃO

Mediante os resultados obtidos com o presente trabalho, este capítulo é composto pela conclusão do que fora apresentado no capítulo anterior. A pesquisa buscou, através de corpos de provas, investigar diferentes tipos de técnicas de cura e a influência das mesmas sobre a resistência à compressão do concreto aos 7 e 28 dias.

Por ser o concreto um material aplicado em obras da construção civil, sujeito constantemente às intempéries, como por exemplo, ação do sol, vento e chuvas, conclui-

se haver uma necessária preocupação em relação à evaporação da água presente no concreto.

Portanto, com análise específica do caso que apresenta determinada relação a/c, temperatura ambiente e umidade relativa do ar, infere-se que para a idade inicial de cura (7 dias) as resistências encontradas não obtiveram grandes variações já que as influências externas não causaram perda de água necessária para a devida hidratação do cimento. O mesmo não ocorreu com o decorrer dos 28 dias de cura após a moldagem dos corpos. Um maior ganho de resistência para a cura realizada no interior do laboratório quando comparada aos demais tipos de cura realizados confirma o exposto por Neville (2016). E assim, pôde-se concluir que a hidratação do cimento é mantida quando a umidade interior do concreto é aproximadamente igual à umidade relativa do ar sem necessidade, portanto, de realizar o procedimento de cura. Desta forma, implica-se que poucas serão as chances de haver movimentação de água entre o concreto e o ar ambiente.

As menores resistências encontradas aos 28 dias foram dos corpos de provas submersos em tanque com água potável, onde com isso simulamos uma situação mais real e fácil de ser observado em obra como, por exemplo, a cura de uma laje sob uma lâmina de água, sendo que as seguintes citações podem justificar esses resultados:

Segundo a NBR 9479 (2006) corpos de prova curados em tanque de cura deverão ser imersos em água potável não corrente e saturada de cal. Algumas evidências importantes em presença de cal no sentido químico e físico das reações de hidratação podem ser sintetizadas segundo Silva (2009) que são a aceleração da hidratação do cimento, maior precipitação de aluminatos e preservar a saída de íons de cálcio para a água. Outro fator que poderá ser levado em consideração é a utilização de água saturada de cal hidratada como um meio de evitar o processo de lixiviação que segundo a NBR 6118 é um dos principais mecanismos de deterioração do concreto podendo ocorrer pela ação de águas puras, carbônicas agressivas ou ácidas que dissolvem e carregam os compostos hidratados da pasta de cimento. Thomaz (2009) mostra que durante a hidratação do cimento, os cristais de hidróxido de cálcio parcialmente solúveis em água, se diluem na água da cura e são transportados para fora do concreto.

Em condições onde se faz necessário concretos com baixa permeabilidade de água como concretos submersos a NBR 12655 (2015) estabelece que a máxima relação água/cimento seja 0,50 e 0,45 quando sujeito a cloretos provenientes de agentes químicos de degelo, sais, água salgada, água do mar, ou respingos desses; portanto

relações menores que a do concreto utilizado no experimento (0,54). É determinada também a resistência característica à compressão mínima do concreto 35 MPa, maior que a resistência característica do concreto utilizado (30 MPa).

Assim, a ausência de cal para a cura submersa pode ter ocasionado o processo de lixiviação fazendo com que durante a hidratação do cimento os cristais de hidróxido de cálcio sejam transportados para fora do concreto. Além deste fator, a relação a/c e a resistência característica do concreto utilizados podem ter determinado a baixa resistência mecânica do concreto curado por vias submersas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP. **Boletim técnico – Guia básico de utilização do cimento Portland**. São Paulo, 2002. 7. rev. 28 p

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. Cimento Portland composto - Especificação. **NBR 11578**, 1997. Disponível em: <<https://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/2015/02/nbr-11578-cimento-portland-composto.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2017.

_____. Argamassa e concreto – Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova. **NBR 9479**, 2006. Disponível em: <[http://docs10.minhateca.com.br/765875459,BR,0,0,NBR-9479-\(2006\)---C%C3%A2maras-%C3%BAmidas-e-tanques-para-cura-de-corpos-de-prova-\(em-vigor\).pdf](http://docs10.minhateca.com.br/765875459,BR,0,0,NBR-9479-(2006)---C%C3%A2maras-%C3%BAmidas-e-tanques-para-cura-de-corpos-de-prova-(em-vigor).pdf)>. Acesso em: 16 mar. 2018.

_____. Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. **NBR NM 67**, 1998. Disponível em: <<http://files.mvalin.com.br/200000140-668e26789b/NBR%20NM%2067%20-%20Concreto%20-%20Determinacao%20da%20consistencia%20pelo%20aba.pdf>>. Acesso em: 02 abr. 2018.

_____. Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. **NBR 5738**, 2015. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/21741552/nbr-5738---2015---concreto-procedimento-para-moldagem-e-cura-de-corpos-de-prov>>. Acesso em: 12 set. 2017.

_____. Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. **NBR 5739**, 2007. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAerRIAC/nbr-5739-2007-concreto-ensaio-compressao-corpos-prova-cilindricos>>. Acesso em: 07 abr. 2018.

BAUER, L. A. Falcão. **A CURA DO CONCRETO: Métodos e Materiais**. Boletim nº 32, São Paulo, 1991, 33 p.

BASTOS, P. S. S. **Fundamentos do concreto armado**. Notas de aula da disciplina de Estruturas de concreto I na Universidade Estadual Paulista. Disponível em: https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/43189267/FUNDAMENTOS_Concreto.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1526221730&Signature=29MMHkxrF0r6XLYB11j%2FjjTZYA%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DUNIVERSIDADE_ESTADUAL_PAULISTA_UNES P_-Ca.pdf. Acesso em: 12 mai 2018.

FERNANDES, J.; BITTENCOURT, T. N.; HELENE, P. A Review of the Application of Concrete to Offshore Structures. Chapter 25. In: Fifth ACI/CANMET International Conference on High-Performance Concrete Structures and Materials. **ACI SP-253**. Farmington Hills, Michigan: *American Concrete Institute*, 2008. p. 393-408

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. 888p.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 448 p.

PETRUCCI, Eladio G. R. **Concreto de Cimento Portland**. 14ª ed., revisado por Vladimir A. Paulon, São Paulo: Editora Globo, 2005, 307 p.

RIBEIRO, G. D.; GOMES, M. V.; VALIN JÚNIOR., M. O. **Influência da cura do concreto com e sem a utilização de lona plástica na resistência mecânica e absorção de água**. In: 56º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO/IBRACON, 2014. Natal. Disponível em: <<http://www.mvalin.com.br/products/influ%C3%Aancia-dosprocedimentos-de-cura-na-resist%C3%Aancia-e-absor%C3%A7%C3%A3o-doconcreto/>>. Acesso em: 12 ago. 2015.

SILVA, B. A. Análise da influência do tipo de cura na resistência à compressão de corpos-de-prova de concreto. 2009. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – ITA, São José dos Campos, 2009.

THOMAZ, E. **Lixiviação x Carbonatação**, 2009. Revista Pini Técnica. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/151/ipt-responde-lixiviacao-x-carbonatacao-285779-1.aspx>>. Acesso em: 12 mai. 2018.