

INFLUÊNCIA DO TIPO DE CURA DO CONCRETO NO GRAU DE CARBONATAÇÃO: COMPARAÇÃO ENTRE MOLHAGEM POR GOTEJAMENTO E MOLHAGEM MANUAL

Brenda Gomes de Sousa¹
Emanuella Silva Pereira de Macedo²
Francisco Ramon Rodrigues de Sousa³
Ana Paula Araújo Almeida⁴

RESUMO

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, sendo responsável pela pega e endurecimento do concreto. A cura adequada é fundamental para que o concreto alcance o melhor desempenho, proporcionando uma redução de sua porosidade, contribuindo para aumentar a durabilidade das estruturas. Desta forma, a pesquisa teve como finalidade criar um protótipo de aplicação de cura úmida formado por um sistema de gotejamento, permitindo que a cura do concreto ocorra pela formação de uma lâmina de água distribuída por toda a superfície de uma laje fabricada para o atendimento do protótipo. Para isso, desenvolveu-se um sistema de distribuição de água por gotejamento usando canos de PVC perfurados e conexões que quando alimentados por uma mangueira distribuíam a água até formar uma lâmina capaz de percorrer os interstícios deixados pelos poros da laje. Após a finalização do processo de cura, utilizou-se uma prensa para o rompimento e posterior obtenção dos resultados de resistência à compressão dos modelos, a fim de compará-los. As lajes fraturadas foram submetidas a uma câmara de fumaça com elevada concentração de CO₂ durante 3 semanas. Passado esse período, aplicou-se uma solução de fenolftaleína para análise do grau de carbonatação dos protótipos. A pesquisa mostrou que as lajes que usaram curas por gotejamento mostraram-se bastante resistentes, possuindo capacidade de carga superior a 13,6% que as lajes molhadas manualmente. Além disso, a carbonatação manteve-se contida na laje molhada por gotejamento.

Palavras-chave: Concreto, Cura, Gotejamento.

INTRODUÇÃO

Segundo Araújo (2014), o concreto consiste em um material formado pela união dos agregados (naturais ou britados) com cimento e água. Sendo que de acordo com as necessidades das obras, pode ser adicionados aditivos químicos (retardadores ou aceleradores

¹ Graduanda do Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual da Paraíba- UEPB, autorprincipal@email.com;

² Graduanda do Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual da Paraíba- UEPB, mcedoemanuella@gmail.com;

³ Graduado no Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, ramon_desousa@hotmail.com;

⁴ Professora Doutora do Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, annpawla@yahoo.com.br.

de pega, plastificantes e superplastificantes, etc.) ou adições minerais (escórias de alto-forno, pozolanas, fíllers calcários, microssílica, etc.) que garantem melhorias nas características do concreto fresco ou endurecido.

Atualmente é considerado por Vaz et al. (2016) um dos materiais de construção mais utilizados no mundo, e vem sendo bastante estudado em termos de melhoramento da sua qualidade e desempenho no que se diz a respeito ao processo executivo de cura. Aliás, são inúmeras as construtoras que ainda não sabem viabilizar os termos normativos em vigor e o modo de como se deve aplicar corretamente o processo da cura.

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. A cura adequada é fundamental para que o concreto alcance o melhor desempenho, proporcionando uma redução de sua porosidade, contribuindo para aumentar a durabilidade das estruturas (BARDELLA et. al, 2005).

Para Araújo (2014) o processo de fissuração do concreto seria amenizado se houvesse a associação de algumas medidas, entre elas, a cura prolongada, pois diminuiria o processo de retração do concreto, principalmente em peças esbeltas. Os principais tipos de curas feitos atualmente são por molhagem simples, lâmina d'água, aspersão, cobrimento úmido e película química (LAGOEIRO,2014).

A carbonatação do concreto é o processo de neutralização da fase líquida intersticial saturada de hidróxido de cálcio, Ca(OH)_2 , e de outros compostos alcalinos hidratados do concreto, como NaOH, KOH e a longo prazo também os silicatos e aluminatos são atacados, o hidróxido de cálcio é menos solúvel que os outros álcalis do cimento, assim este se apresenta nos poros do concreto normalmente na forma de cristais, enquanto os álcalis dissolvidos na forma de íons. Como a solubilidade do hidróxido de cálcio depende da concentração de OH^- , na solução intersticial, a reação de carbonatação inicia através dos álcalis NaOH e KOH, passando a seguir ao Ca(OH) , (HELENE, 2013).

Amparadas na tecnologia, pesquisas vêm sendo realizadas a fim de desenvolver novas técnicas de controle de qualidade nas obras, inclusive para a cura do concreto, a qual tem grande potencial para danificar estruturas de concreto se for realizada de forma errada ou insuficiente.

Reconhecendo a importância da execução uma cura eficaz, visando aumentar a durabilidade do concreto prevenindo patologias como a corrosão por carbonatação, a presente pesquisa teve a finalidade de criar um protótipo de aplicação da cura úmida, formado por um sistema de gotejamento, permitido que a cura ocorra pela formação de uma lamina d'água distribuída por toda superfície em períodos mais prolongados que os vistos comumente em obras pelo Brasil e comparar com o método de cura por molhagem manual em relação ao avanço da frente de carbonatação.

METODOLOGIA

Local de Estudo

Os experimentos foram realizados nos laboratórios de Química e de Estruturas do CCTS da UEPB e no LABEME, laboratório de estruturas da UFPB. Os procedimentos envolveram as seguintes etapas:

Etapa 1 - Desenvolvimento do Sistema de gotejamento

Foram fabricados dois sistemas de gotejamento nas dimensões 47 x 57 cm, com furos espaçados igualmente em 2,5 cm e diâmetro de 5 mm (Figura 1).

Para a fabricação do sistema de gotejamento foram utilizados: canos de PVC, joelhos de 90°, conexões tê, cola, furadeira, makita, serras e trena métrica. A Figura 2 ilustra o processo de fabricação do sistema.

Figura 1 - Sistemas de gotejamentos em PVC. **Figura 2** - Processo de Fabricação do Sistema de gotejamento



Fonte: Autoria Própria (2019).



Fonte: Autoria Própria (2019).

O sistema de distribuição de água por gotejamento foi alimentado através de mangueira com saída de água através de torneiras com vazão controlada e distribuídas sobre as lajes através dos furos.

Etapa 2 -Desenvolvimento dos protótipos das lajes

A produção de protótipos de laje, para teste do sistema de gotejamento e para teste de molhagem manual, afim de comparar os dois tipos de processos em relação ao surgimento de fissuras e outros defeitos, foi realizada utilizando os seguintes materiais:

- Cimento - Cimento Portland Composto, CP II-Z-32, resistência normal de 32 MPa e densidade de 3.150 kg/m³;
- Agregado miúdo - areia natural e Agregado graúdo - pedra britada de origem granítica “brita 0”.
- Água de amassamento;
- Lajotas cerâmicas;
- Vigotas treliçadas em concreto;
- Barras de aço de 10 mm ou 3/8;
- Tábuas de madeira para fabricação das fôrmas;
- Pregos e martelo;
- Trena métrica.

O procedimento realizado para moldagem não seguiu nenhum requisito preconizado em norma, porque o objetivo deste trabalho estava em analisar o comportamento de lajes já fabricadas cotidianamente na cidade a qual foi realizada o experimento, Araruna – PB.

Inicialmente, definiu-se o traço do concreto a ser utilizado através de conversas com pedreiros que fabricam lajes na região e utilizou-se a proporção de cimento, areia e brita com o seguinte traço 1:1,5:1,8 com fator água/cimento de 0,48.

Posteriormente, montaram-se as lajotas e vigotas, e fabricaram-se as fôrmas com madeira para se adequarem as dimensões das lajes que possuíam 48 cm de largura, 58 cm de comprimento e 15 cm de espessura (Figura 3 e 4).

Figura 3 -Montagem dos protótipos.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Figura 4 - Montagem dos protótipos e adequação das fôrmas.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Em seguida, com as fôrmas já montadas e com as lajotas e vigotas alocadas, colocaram-se as barras de aço, armando as lajes nas duas direções (Figuras 5 e 6).

Figura 5 - Alocação das barras de aço.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Figura 6 - Ajustes na colocação das barras de aço.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Por fim, despejou-se a massa de concreto sob as formas e assim os três protótipos de lajes estariam prontos para posterior desmoldagem após 3 dias e para iniciar o seu processo de cura (Figura 7 e 8).

Figura 7 - Espalhamento da massa de concreto sob a forma. **Figura 8** - Nivelamento do concreto na laje.



Fonte: Autoria Própria (2019).



Fonte: Autoria Própria (2019).

Etapa 3 – Desfôrma dos protótipos

A desmoldagem dos protótipos das lajes ocorreu três dias após a moldagem (Figura 9), onde iniciou-se o processo de cura do concreto, 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.

Figura 9 - Desforma das Lajes.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Conforme a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) NBR 5738/2015, que estabelece padrões de referência para a cura do concreto, o concreto deve ser curado submerso em água saturada de cal hidratada ou em câmara úmida, a uma temperatura de 23 ± 2 °C. Deve ser feita por no mínimo 7 dias corridos após o lançamento, sendo que nesse período a umidade é essencial para as propriedades do concreto, ou por 28 dias, idade considerada de referência para se avaliar a resistência.

Etapa 4 – Cura do concreto

Para processo de cura das lajes moldadas, foram utilizados o sistema de gotejamento, o qual permitiu que as lajes estivessem expostas a uma lâmina de água distribuída sob toda a sua superfície, possibilitando uma maior economia de água e uma grande eficácia quando as mesmas foram rompidas a compressão (Figura 10). O outro protótipo de laje teve processo de cura convencional, através do processo de molhagem manual.

O processo de cura dos protótipos molhados por gotejamento utilizou o sistema de gotejamento fabricado alimentado por uma mangueira durante 3 minutos, o mesmo era elevado a uma altura de aproximadamente 20 cm para que a água caísse sob a laje e conseguisse formar a lâmina d'água sob a camada de cobertura do concreto e por ela penetrar nos espaços vazios existentes na laje.

A cura foi feita durante 28 dias ininterruptos e sempre no mesmo horário. Após este período, os protótipos ficaram prontos para serem submetidos a ensaios.

Figura 10 - Molhagem por Gotejamento.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Etapa 5 - Rompimento dos protótipos das lajes

Após o período de cura, os protótipos foram levados a uma prensa de compressão para a análise da capacidade de carga, para se avaliar qual processo de cura seria mais eficiente com menor custo.

Sendo assim, duas lajes foram para prensa de compressão onde foram submetidas a esforços normais através de duas placas paralelas de metal medindo 41 cm, com espessura de parede de 14 cm.

Etapa 6 - Exposição das lajes à ambiente agressivo (elevada concentração de CO₂)

Para acelerar o processo de carbonatação, submeteu-se o protótipo de laje que foi exposto a molhagem por gotejamento à um ambiente com alta concentração de CO₂. O local escolhido foi próximo a uma churrasqueira de um restaurante da cidade, onde a laje ficou exposta a fumaça durante 3 semanas. E mais uma semana com a superfície interna exposta e parte da armadura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Avaliação da Capacidade de Carga do protótipo a partir do tipo de Cura do concreto

Para avaliar a influência do tipo de cura do concreto comparou-se a capacidade de carga entre os dois protótipos. Nomeou-se de Laje Convencional (LC) a laje fabricada utilizando a molhagem manual convencional e de Laje por Gotejamento (LG) o protótipo de laje obtida através da molhagem por gotejamento.

A Laje LC, quando submetida a prensa de compressão suportou 510,16 kN na eminência de ruptura (Figura 11). Notou-se que sua ruptura se deu inicialmente nas lajotas, parte inferior da laje, que foram usadas como base de sustentação da laje; o que já era de se esperar, haja vista que seria parte mais crítica, por possuir menor resistência (Figura 12). A ruptura também alcançou uma parte longitudinal da face superior da laje apresentando algumas fissuras que podem ser observadas na figura a seguir (Figura 13).

Figura 11 - Resultado obtido no Ensaio de Compressão da Laje LC.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Figura 12 - Rompimento das Lajotas.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Figura 1 - Ruptura sob a face superior com aparecimento de fissuras.



Fonte: Autoria Própria (2019).

A Laje LG, quando submetida a prensa de compressão suportou 579,5 kN na eminência de ruptura (Figura 14). Notou-se que a ruptura se deu primordialmente na longitudinal na face lateral da laje, apresentando fissuras grandes e bem definidas, delimitando bem uma face de corte (Figura 15). A ruptura também alcançou as lajotas, assim como a Laje LC (Figura 16).

Figura 14 - Resultado obtido no Ensaio de Compressão da Laje LG.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Figura 15 - Ruptura longitudinal na face lateral da laje.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Figura 16 - Rompimento das Lajotas.



Fonte: Autoria Própria (2019).

A Tabela 1 a seguir apresenta os resultados do ensaio de compressão. Pode-se observar a partir dos dados obtidos que a laje LG suportou uma carga significativamente maior em relação a laje LC. Isso se deve ao fato de que a laje LG apresenta menor índice de vazios, e conseqüentemente, menor porosidade, pois a molhagem por gotejamento permitiu que a Laje LG estivesse saturada por mais tempo, fazendo com que os espaços que estavam inicialmente ocupados pela água fossem ocupados pelos produtos da hidratação presente no aglomerante.

Tabela 1 - Resumo do Ensaio de Compressão.

LAJE	TIPO DE CURA	CAPACIDADE DE CARGA (kN)
LC	Manual	510,16
LG	Gotejamento	579,50

Durante o período de cura, notava-se visualmente que no processo manual de molhagem a superfície da laje absorvia a água mais rapidamente em comparação ao processo de molhagem por gotejamento, o que provavelmente conferiu a estrutura da laje LC mais espaços vazios fazendo com que, no momento da ruptura essa laje suportasse menos carga que a laje molhada por gotejamento.

Segundo LIMA (2017), há uma variação na cura do concreto quando os métodos de molhagem são diferentes. Nos dois casos, molhagem manual e por gotejamento, a água é lançada sobre a superfície do concreto, no entanto no caso da molhagem por gotejamento ao invés de se usar um jato de mangueira como se faz normalmente para fazer a cura, a água é lançada de forma mais contida e lenta, o que resulta no aumento da resistência do concreto, pois a distribuição da água sobre a superfície da laje é mais uniforme favorecendo as reações que vão garantir melhor desempenho ao material.

3.2 Avaliação do grau de Carbonatação no protótipo

Para a análise do grau de carbonatação o protótipo de Laje e corpos de prova confeccionados segundo os requisitos preconizados na NBR-5738 (ABNT, 2015) foram submetidas a um ambiente com elevado teor de dióxido de carbono. A reação de carbonatação que é alcalina ocorre na laje em decorrência da porosidade, que quando elevada, facilita a

passagem dos agentes que favorecem a ocorrência dessa reação química. A técnica de molhagem por gotejamento foi utilizada visando diminuir os espaços vazios do material impedindo assim que as reações alcalinas se iniciem.

O ensaio para a determinação de carbonatação no concreto consistiu na verificação da alteração do pH do concreto de cobrimento, pela aspensão do indicador fenolftaleína (1 g de fenolftaleína diluído em 100 ml de álcool etílico), onde o concreto de cobrimento foi fraturado e posteriormente foi feita a aspensão da solução imediatamente. A norma DIN EN 14630 (2007) recomenda a aspensão da solução de fenolftaleína perpendicularmente à área fraturada, até que o concreto esteja saturado, sem deixar que a solução escorra.

A Figura 17 abaixo apresenta a imagens dos corpos de prova após a fenolftaleína ser aspergida. Os mesmos apresentaram elevado grau de carbonatação marcados por extensas áreas na coloração rosa.

Figura 17 – Análise da ocorrência de carbonatação após exposição à ambiente agressivo de três corpos de prova



Fonte: Autoria Própria (2019).

No teste de carbonatação para a laje LG, notou-se que pós a aspensão da solução de fenolftaleína, a laje apresentou-se bastante contida no que se diz respeito ao fenômeno de carbonatação, ou seja, a laje apresentou sutis traços de carbonatação (difícil de ser observado a olho nu), o que indicou que o concreto pouco alterou o seu pH (Figura 18).

Figura 18- Laje com a presença de fenolftaleína sob sua superfície.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Segundo BORGES (2008), a umidade natural do concreto é suficiente para desencadear o processo de carbonatação, mas a maior abundância de água, provenientes de infiltrações, beneficia esse desencadeamento. A incidência de carbonatação na Laje LG foi bem pequena mesmo depois de expor a parte interna do concreto (Figura 19), devido provavelmente a laje com molhagem por gotejamento reter água por mais tempo.

Figura 19 - Laje LG com superfície interna exposta.



Fonte: Autoria Própria (2019).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do conhecimento sobre a importância de uma cura eficaz, que proporcione desempenho e durabilidade em estruturas de concreto, principalmente para as de pequeno porte, a referente pesquisa visou levantar dados sobre a relação entre o método de cura e o grau de carbonatação do concreto, com o objetivo desenvolver um protótipo de aplicação da cura úmida, formado por um sistema de gotejamento. O objetivo foi alcançado, as lajes comportaram-se de forma semelhante quando comparadas por ensaios de compressão.

O protótipo feito utilizando-se molhagem por gotejamento suportou uma carga bastante considerável, ultrapassando 13,6% da laje que foi molhada manualmente. E ainda, apresentou uma economia notória de água, que quando colocada em balança pode sim ser uma alternativa mais barata e viável que permitirá que as lajes das construções na fase de cura estejam expostas a uma lâmina d'água distribuída por toda superfície em períodos mais prolongados que os vistos comumente em obras pelo Brasil.

A vantagem desse sistema por gotejamento é sua simplicidade de projeto e manutenção e baixo custo. Sua desvantagem é a pouca estabilização da saída de água, mas que quando bem monitorada poderá deixar de ser considerada como uma desvantagem.

Além disso, o protótipo de laje proposto nessa pesquisa mostrou-se bastante resistente ao avanço da carbonatação, pois mesmo exposto a ambiente com elevado grau de CO₂ pouco

carbonatou, sendo uma descoberta satisfatória para este estudo, quando comparados a lajes molhadas manualmente.

Sendo assim, a obtenção desses dados poderá ajudar a desenvolver um método de cura mais eficiente com um custo reduzido, possibilitando uma maior economia de água, como se trata de um sistema de gotejamento, onde a vazão deverá ser controlada.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, J. M. **CURSO DE CONCRETO ARMADO (Volume 1)**. Professor Titular – Escola de Engenharia da FURG. Doutor em Engenharia. Editora DUNAS. 2014. p.01.

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

Bardella, P. S. et. al., **Sistemas de Cura em Concretos Produzidos com Cimento Portland de Alto-Forno com Utilização de Sílica Ativa**. 1º Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto Pré-Moldado. São Carlos (SP), 2005.

BORGES, MICHELINE GONÇALVES. **MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS INCIDENTES EM RESERVATÓRIOS DE ÁGUA ELEVADOS EXECUTADOS EM CONCRETO ARMADO. 2008.** Disponível em: <<http://civil.uefs.br/DOCUMENTOS/MICHELINE%20GON%20C3%87ALVES%20BORGES.pdf>>. Acesso em: 27 jul. 2019. Curado del hormigón, Cura do concreto, Concrete curing. Mérida (México), março de 2013.

HELENE P., LEVY. S, **Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción - ALCONPAT Int**. Boletín Técnico.

LAGOEIRO, V. **Concretagem**. PET ENGENHARIACIVIL UFJF. 2014. Disponível em: <<https://blogdopetcivil.com/2014/10/16/concretagem/>>. Acessado: 03 de mar. 2018.

LIMA, FLÁVIO TÚLIO DE. **SISTEMA DE MONITORAMENTO E CONTROLE DE UMIDADE EM CONCRETOS EM PROCESSO DE CURA**. 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/20954/6/SistemaMonitoramentoControle.pdf>>. Acesso em: 27 jul. 2019.

VAZ, F.H.B, et al. **O PROCESSO EXECUTIVO DE CURA DO CONCRETO E A SUA IMPORTÂNCIA COMO QUALIFICADOR DO MATERIAL**. XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Setembro de 2016.