

Estudo das propriedades do concreto quando submetido a diferentes tipos de cura

Study of concrete properties when submitted to different types of curing

Rafael Venson dos Santos ^{1*}, Eduardo Polesello ¹

RESUMO

Para que um concreto apresente as propriedades as quais foi projetado, é fundamental que as etapas do processo de controle tecnológico sejam eficazes. Dentre essas etapas, evidencia-se o processo do tipo de cura, que ao reduzir a evaporação antecipada da água, responsável pela hidratação do cimento, assegura-se o desenvolvimento da resistência mecânica e durabilidade do concreto. Por este motivo, é indispensável conhecer a influência que os distintos tipos e tempos de duração da cura têm sobre as propriedades físicas e mecânicas do concreto. Sendo assim, este estudo busca analisar os efeitos de três diferentes tipos de cura, usualmente adotados na execução das obras, sobre as propriedades finais do concreto. A cura úmida, como método mais tradicional, a cura química, e, por fim, a cura ao ar, submetendo o concreto ao ambiente sem qualquer interferência. O estudo se divide em quatro fases: produção do concreto para dois diferentes tipos de cimentos, CPIV-32 e CPV-ARI; exposição dos corpos de prova aos diferentes métodos de cura; realização do ensaio de resistência à compressão axial, para diferentes idades, e de absorção de água por capilaridade aos 28 dias; e, por fim, análises e discussão dos resultados com base nos dados obtidos.

Palavras-chave: Tipos de cura; Cura úmida; Cura química; Cura ao ar.

ABSTRACT

In order, to the concrete obtain the properties for which it was designed is fundamental that the stages of the process of technological control be effective. Among the stages, emphasize the process of curing that when reduce the early evaporation of water responsible by the hydration of cement ensures the development of the mechanical resistance and durability of the concrete. For this reason, it is essential to know the influence that the distinct types and duration times of curing impact on the physical and mechanical properties of the concrete. Therefore, this study aims to analyze the effects of three different procedures of curing commonly incorporated in the execution of works on the final properties of the concrete. The wet curing as the most traditional method, the chemical curing and finally the air curing submitting the concrete to the environment without water addition. The study is divided in four phases: determination of the traces and production of the concrete; Exposure of specimens to different curing procedures; Test run of resistance to axial compression, to the different ages and water absorption by capillarity to the 28 days, and, at last analyzes and discussion of the results according to the data obtained.

Keywords: Types of curing; Wet Curing; Chemical Curing; Air Curing.

¹ Universidade Feevale

*E-mail: rafael-venson@hotmail.com

INTRODUÇÃO

O concreto é um material avaliado como estável, mas por estar submetido a diversas interferências do meio em que está sendo utilizado, sua durabilidade pode ser alterada. No entanto, é fundamental que cada estrutura de concreto permaneça desempenhando suas funções previstas em projeto no decorrer de sua vida útil. Atualmente, um dos grandes problemas da construção civil é conseguir estabelecer a ligação entre o dano aparente nos elementos estruturais de concreto e o procedimento que o causou. Por este motivo, alguns estudos mencionam que se deve levar em consideração diversos fatores, entre os quais estão as variações de temperatura e umidade durante o período de cura do material (MEHTA; MONTEIRO, 2008; NEVILLE, 2016; MARTIN et al., 2017).

As condições de umidade e temperatura nas primeiras idades, estão diretamente ligadas a hidratação do cimento. Em consequência disso, influenciam as propriedades finais do concreto em seu estado endurecido (BAUER, 2019).

O processo de cura do concreto relaciona-se diretamente com a hidratação do cimento e é vital ao concreto lançado e adensado nas estruturas, pois impede a evaporação da água utilizada no amassamento, apontada como uma influência vantajosa na resistência do concreto (FIGUEIRA JÚNIOR; VALIN JR, 2013).

Quando a cura não é realizada de maneira adequada, há um efeito direto na resistência e durabilidade final do concreto, gerando fissuração e fazendo com que a camada superficial fique fraca, porosa e mais vulnerável à entrada de agentes agressivos presente no ambiente (RAMOS; SOUSA; MARTINS, 2018).

Desta forma, pode-se afirmar que os cuidados durante o processo de cura do concreto são fundamentais para seu bom desempenho mecânico. É visível a importância de um tipo de cura que proporcione a adequada hidratação do cimento, permitindo assim uma maior resistência mecânica e durabilidade do concreto. Assim, justificam-se mais pesquisas que analisem a aplicabilidade dos diferentes métodos de cura no concreto, ampliando-se o conhecimento para garantir eficácia na utilização de parâmetros construtivos da atualidade.

MATERIAIS UTILIZADOS

Foram utilizados na produção do concreto o cimento Portland pozolânico de classe CP IV-32 e cimento Portland de alta resistência inicial CP V-ARI. Segundo exigências especificadas na NBR 16697 (ABNT, 2018).

O agregado miúdo que foi utilizado na produção do concreto é uma areia de origem quartzosa, com módulo de finura de 2,62 e dimensão máxima do grão de 4,75mm conforme NBR NM 248 (ABNT, 2003), e massa específica de 2,59 g/cm³ de acordo com a NBR 16916 (ABNT, 2021), além da massa unitária de 1,46 g/cm³ segundo NBR 16972 (ABNT,2021). O agregado graúdo uma brita de origem basáltica, com módulo de finura de 6,09 e dimensão máxima do grão de 12,5mm conforme NBR NM 248 (ABNT, 2003), e massa específica de 2,56 g/cm³ de acordo com a NBR 16917 (ABNT, 2021), além da massa unitária de 1,63 g/cm³ segundo NBR 16972 (ABNT,2021).

Para o estudo, foi utilizado um aditivo plastificante poli funcional redutor de água do tipo P conforme NBR 11768 (ABTN, 2019). A água de amassamento utilizada na mistura foi disponibilizada pelo Laboratório Técnico da Construção da Universidade Feevale, oriunda de poço artesiano. Tratando-se de uma água classificada como potável, mostrando-se adequada para produção do concreto. As exigências relativas à qualidade da água, segue as prescrições da NBR 15900-1 (ABNT, 2009).

O agente de cura escolhido é a base de resina sintética. É um produto pronto para uso, destina-se a proteger a superfície de concreto dos efeitos da desidratação provocada pelo calor e pelo vento. O produto proporciona uma cura adequada a superfície evitando a formação de fissuras de retração plástica e favorecendo o perfeito desenvolvimento das resistências mecânicas. Este agente de cura é altamente eficiente e possibilita posteriormente a aplicação de pinturas e revestimentos de diversos materiais.

PROGRAMA EXPERIMENTAL

Com base nas especificações da NBR 6118 (ABNT, 2014), para a definição do traço, foi adotado uma relação a/c que atenda até as exigências de uma classe de agressividade III (CAA III), que limita em no máximo uma relação de 0,55. Tal especificação correspondente aos componentes e elementos estruturais de concreto

armado a qual abrange as possibilidades de utilização e aplicação em ambientes rurais, urbanos, região litorânea e em alguns ambientes industriais.

Frente ao exposto, especificou-se para a pesquisa, uma relação a/c de 0,48 com a adequação da dosagem considerando o comportamento dos materiais utilizados para a produção do concreto. Ainda, através de estudos prévios realizados em laboratório para esses materiais utilizados, o traço unitário em massa foi definido em 1:1,95:2,62, com 0,75% de teor de aditivo plastificante em relação a massa do cimento.

O mesmo traço foi utilizado na produção do concreto duas vezes, apenas com a alteração do tipo de cimento. O traço de concreto foi definido com C35 S160, que corresponde a uma classe de resistência de 35,0 MPa e uma classe com abatimento de 160 a 220 mm.

Produção do Concreto

Para a mistura do concreto, foi utilizada uma betoneira de eixo inclinado com capacidade máxima de 250 litros. Os materiais foram pesados e separados, a fim de facilitar o processo de produção do concreto que seguiu uma ordem já pré-estabelecida, iniciada após o processo de imprimação da betoneira, sendo esta ordem: agregado graúdo (total); cimento (total); aditivo (total); agregado miúdo (total), a inserção de água na mistura foi gradativa e lenta durante todo processo, foi inserida aos poucos até que a massa atinja um aspecto visual adequado, verificado pela determinação de sua consistência.

Após a verificação do abatimento do concreto, segundo ensaio do tronco de cone prescrito pela NBR 16889 (ABNT, 2020), foram moldados corpos de prova (CPs) cilíndricos, seguindo os procedimentos definidos pela NBR 5738 (ABNT, 2015). Após a moldagem dos CPs permaneceram superfície horizontal rígida, a fim de evitar qualquer ação que possa colocar em risco o processo de cura inicial do concreto, protegidos das intempéries com intuito de evitar a evaporação prematura da água. Após esse período inicial, executou-se a desmoldagem e identificação, com posterior exposição aos diferentes tipos de cura estabelecidos no estudo.

Cura Úmida (CU)

Para este método, os CPs foram armazenados em câmara úmida com temperatura mantida entre os intervalos de 21 ± 2 °C e umidade relativa do ar superior a 95%. Destaca-

se que no armazenamento das amostras foi mantido o espaçamento entre CPs, sem o empilhamento dos mesmos, com isso evitando qualquer tipo de influência no processo de cura, conforme estipulado pela NBR 5738 (ABNT, 2016).

Cura Química (CQ)

Foi utilizado um agente de cura químico industrializado, indicado para substratos cimentícios. O produto tem coloração branca e não gera filme sobre a superfície mesmo após estar seco. Apresenta-se na Tabela 1 as informações referentes a quantidade recomendada de aplicação pelo fabricante bem como a quantidade utilizada na aplicação das amostras.

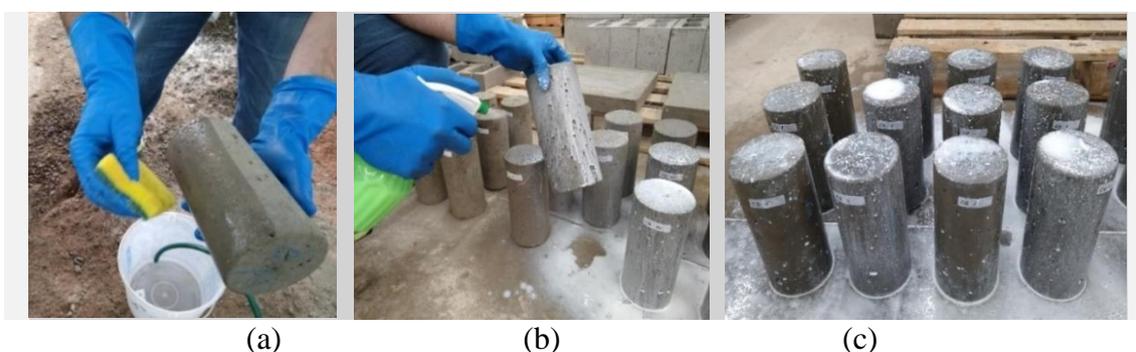
Tabela 1 – Agente de cura químico: recomendação e aplicação

Recomendação do fabricante por demão	450g/m ²
Área de aplicação (CPs)	2,72m ²
Quantidade de aplicação recomendada	1224g
Quantidade aplicada	1500g
Quantidade em excesso aplicada	276g
Relação entre a quantidade e o excesso aplicado	22,55%

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

As amostras foram limpas, com água e esponja (Figuras 1a), antes da aplicação do produto, com o intuito de eliminar qualquer resíduo de desmoldante que ainda estivesse presente. O agente químico foi aplicado utilizando um borrifador de baixa pressão (Figuras 1b) em todos os lados dos CPs, para garantir a uniformidade de aplicação.

Figura 1 – (a) Remoção do desmoldante CPs; (b) borrifamento; (c) aplicação concluída.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Foi necessário utilizar uma quantidade em excesso do produto (Figura 1c) para garantir o cobrimento superficial de ambos os lados das amostras utilizadas na cura química. Após aplicação, os exemplares foram levados a um local externo do laboratório, onde permaneceram até as idades definidas para cada ensaio.

Cura ao Ar (CA)

Neste processo de cura ao ar, os corpos de prova foram simplesmente expostos ao ambiente externo. Os CPs da cura química e cura ao ar, ficaram à mercê das intempéries, como por exemplo a chuva, vento e sol, ou qualquer outro agente agressivo que possa ocorrer no local, até a data final dos ensaios a serem realizados.

Ensaio de Resistência à Compressão

O ensaio de resistência à compressão, seguindo as especificações apresentadas na NBR 5739 (ABNT, 2018), foi realizado aos 7, 28 e 63 dias de idade. A máquina (prensa) utilizada no ensaio de resistência à compressão é da marca Emic, com certificado de calibração n.0121/21 e datado em 08/06/2021. Possui capacidade de aplicação de carga de 2000 kN no qual será determinada uma velocidade de aplicação de 0,45 MPa/s, que deverá ser mantida constante durante todo o ensaio. Para regularização dos CPs, no intuito de garantir uma superfície reta, será utilizado a máquina (retifica) da marca Setor. Os corpos de provas já retificados e prontos para realização do ensaio de compressão axial.

Ensaio de Absorção de Água por Capilaridade

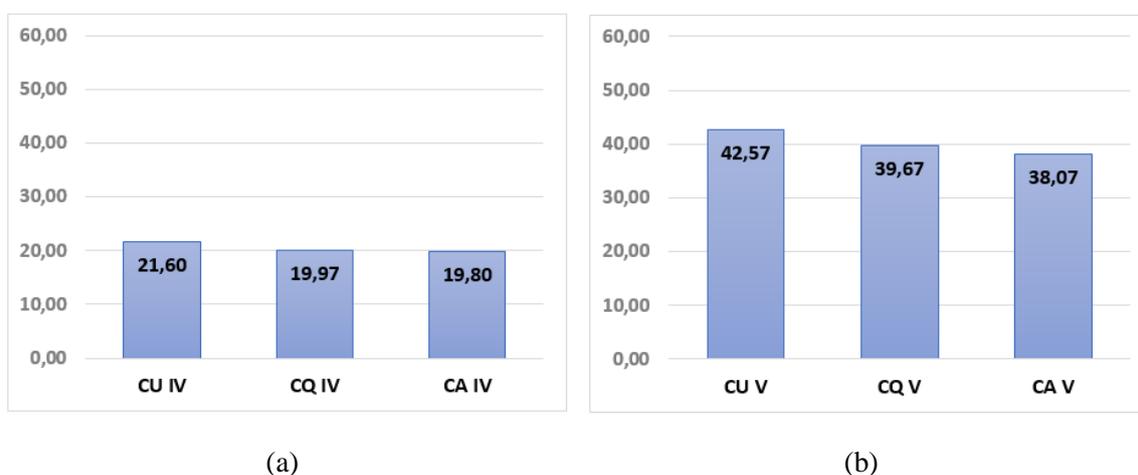
Seguindo as orientações prescritas pela NBR 9779 (ABNT, 2012), no período referente a 28 dias de cura, foram selecionados 3 (três) corpos de prova de cada tipo de cura para ambos os traços, a fim de realizar o ensaio de absorção. Todos os corpos de prova foram colocados em uma estufa à temperatura de $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ até que se foi atingido a constância de massa. Depois, foram resfriados em um ambiente com temperatura constante de $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e, a partir de então, determinada a massa inicial dos corpos de prova. Em seguida, os corpos de prova foram posicionados sob suportes do tipo grelha e submetidos a um nível de água constante de 5 ± 1 mm acima da sua face inferior.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Resistência à Compressão Axial

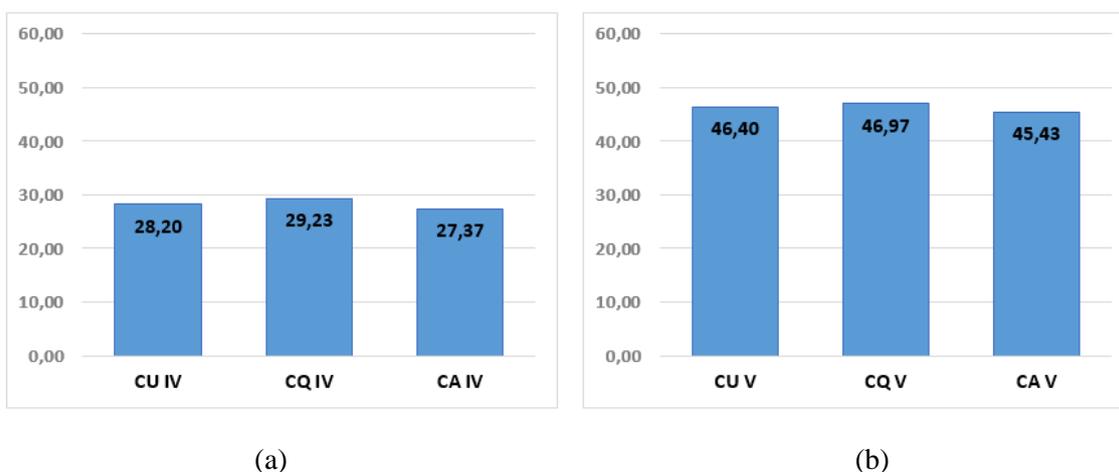
Para cada idade de cura definida no estudo, romperam-se 18 corpos de prova, totalizando em 54 CPs. Foram selecionados 3 CPs para cada tipo de cura referente a dois concretos produzidos em laboratório, para realizar o ensaio de compressão axial conforme NBR 5739 (ABNT, 2018). Os Gráficos 1, 2 e 3, apresentam as médias de resistência à compressão axial, em MPa, obtidas em cada período de cura, respectivamente, para as idades de 7, 28 e 63 dias.

Gráfico 1 – Resultados de compressão axial aos 7 dias (MPa): (a) CP IV; (b) CP V



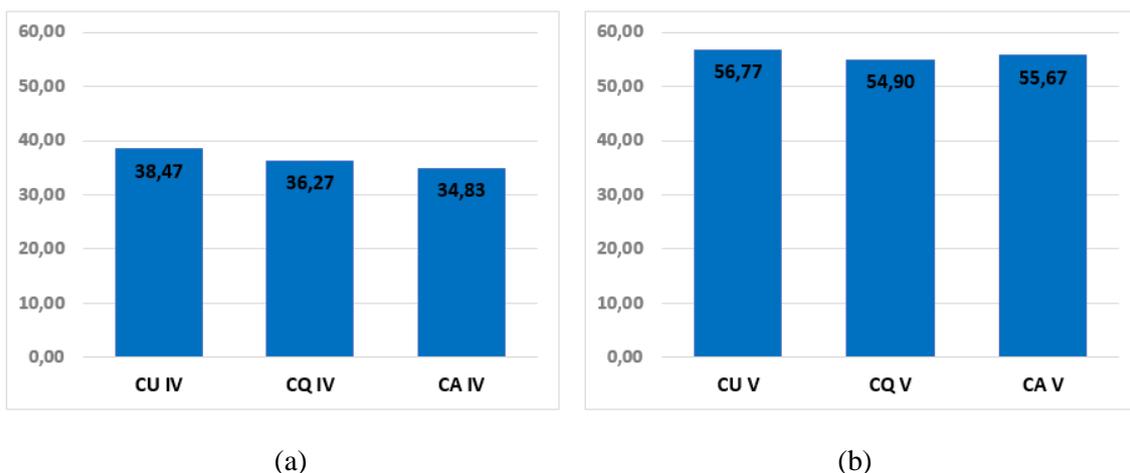
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Gráfico 2 – Resultados de compressão axial aos 28 dias (MPa): (a) CP IV; (b) CP V



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Gráfico 3 – Resultados de compressão aos 63 dias (MPa): (a) CP IV; (b) CP V



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Para os resultados obtidos aos 7 dias (Gráfico 1) e aos 63 dias (Gráfico 3), observa-se que o método CU apresentou melhor desempenho em relação aos demais tipos de cura ensaiados. Suas respectivas resistências foram de 21,6 MPa utilizando o cimento CP IV e 42,57 MPa para o cimento CP V aos 7 dias, seguidos por 38,47 MPa para o cimento CP IV e 56,77 MPa para o CP V aos 63 dias.

Analisando o período de 28 dias (Gráfico 2), a maior amplitude de resistência obtida foi através do método CQ, tendo como valores 29,23 MPa utilizando o cimento CP IV e 46,97 MPa para o cimento CP V, porém resultados muito próximos aos obtidos pela CU. Entretanto, ao se observar os resultados dos ensaios de resistência à compressão axial realizado aos 28 dias, utilizando o cimento CP IV, percebe-se que os valores apresentados são muito inferiores aos obtidos utilizando o cimento CP V.

Absorção de Água por Capilaridade

De acordo com a NBR 9779 (ABNT, 2012), a partir do contato inicial com a água, os corpos de prova foram pesados em diferentes tempos, estipulados em 3, 6, 24, 48 e 72 horas. A absorção de água por capilaridade dos concretos foi determinada aos 28 dias para cada tipo de cura estudado. Ao todo, foram ensaiados 18 CPs, apresentando a média dos resultados encontrados na Tabela 2.

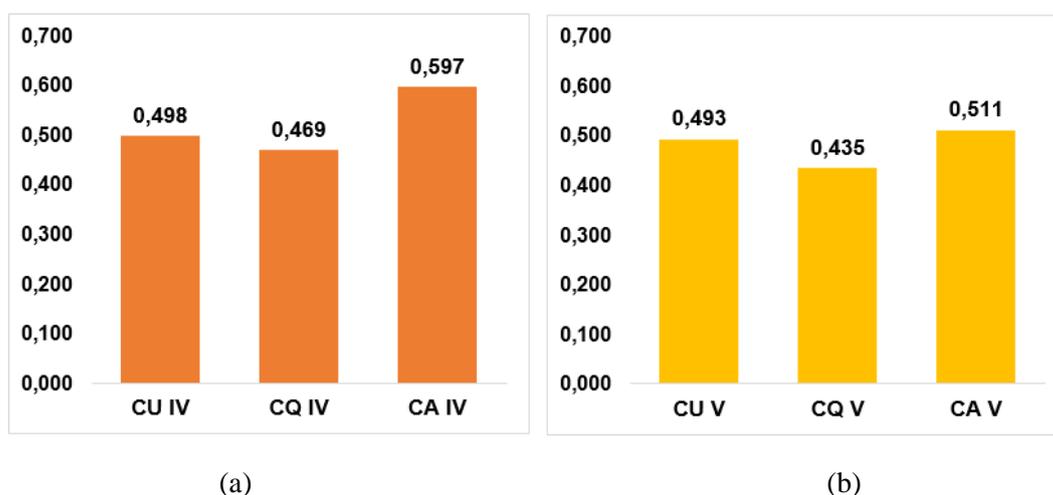
Tabela 2 – Absorção de água por capilaridade para cada tipo e tempo de cura

Cura	Média da absorção de água por capilaridade (g/cm ²)				
	3h	6h	24h	48h	72h
CU IV	0,182	0,273	0,406	0,467	0,498
CQ IV	0,156	0,240	0,359	0,426	0,469
CA IV	0,256	0,357	0,494	0,557	0,597
CU V	0,159	0,256	0,372	0,448	0,493
CQ V	0,147	0,217	0,332	0,400	0,435
CA V	0,211	0,293	0,410	0,475	0,511

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Para melhor avaliar a absorção capilar para os métodos de cura, apresenta-se no Gráfico 4 os resultados do ensaio ao final das 72 horas, que corresponde aos concretos produzidos com CP IV (Gráfico 4a) e com CP V (Gráfico 4b).

Gráfico 4 – Resultados de absorção capilar as 72 horas (g/cm²): (a) CP IV; (b) CP V



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Analisando os resultados do Gráfico 4, pode-se verificar que todos os tipos de cura apresentaram valores de absorção baixos em comparação com o ensaio de absorção realizado por Sales et. al (2018), que apresenta resultados de 1,27 g/cm² para o método CU, utilizando um tanque com água para imersão dos exemplares e 1,31 g/cm² para o método CA, expondo os corpos de prova simplesmente ao ambiente externo. Contudo, conforme registrado ao longo das 72 horas, observa-se que os concretos CP IV e CP V ensaiados pelo método CQ, apresentaram menores índices de absorção de água, registrando, respectivamente, 0,469 g/cm² e 0,435 g/cm². O fabricante descreve o produto químico como sendo a base de resina sintética, não formador de película pois suas reações

ocorrem internamente evitando a evaporação prematura da água e, conseqüentemente, a entrada de água por absorção nos corpos de prova, assegurando uma baixa permeabilidade. Isso explica as menores taxas de absorção registradas para os concretos de cura com o agente químico.

Segundo Gonçalves et al. (2019), a porosidade do material é um dos principais fatores que afetam a durabilidade das estruturas e suas propriedades mecânicas, logo, a baixa porosidade proporciona um aumento de resistência mecânica do concreto. No que diz respeito a influência da cura na absorção de água no concreto, os resultados obtidos neste estudo possuem familiaridade com o de Schovanz et al. (2019), destacando que a relação a/c entre 0,30 e 0,50 possui uma influência menor na absorção de água em comparação às outras relações de a/c superiores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo provou-se interessante pelos resultados obtidos por meio dos ensaios realizados no concreto referente aos traços adotados no trabalho. Os dados resultantes desta pesquisa foram satisfatórios, mas também curiosos e trouxeram uma nova perspectiva em relação aos métodos de cura analisados. Abaixo, listam-se as principais conclusões obtidas:

- a) Através dos resultados de resistência à compressão axial, conclui-se que o método CU, apresentou melhor desempenho aos 7 e 63 dias sobre os demais processos de ambos os cimentos utilizados. Porém, aos 28 dias, o tipo CQ obteve um desempenho superior às CU e CA, para ambos os traços ensaiados. É possível perceber que o método de cura úmida, possui uma regularidade no ganho de resistências sobre os demais tipos de cura e com base nos valores destacados, foi possível validar, na prática, as afirmações levantadas por diversos autores quanto a importância da cura na resistência mecânica e na durabilidade do concreto;
- b) Em análise individual ao período de 28 dias, o ensaio de compressão axial apresentou o método CQ com um desempenho maior. O agente químico desenvolveu sua principal função que era evitar a evaporação prematura do concreto garantindo evolução gradual de resistência. Este resultado era esperado durante todo o período de ensaios, porém, somente aos 28 dias o método apresentou superioridade aos demais;

c) Diante dos resultados de absorção de água por capilaridade, a cura com agente químico industrializado promoveu menor permeabilidade para ambos os concretos analisados. Como o produto não gera filme sobre a superfície, as reações ocorrem no interior da estrutura, desta forma, o produto garantiu por completo a cura do concreto ensaiado, evitando a evaporação prematura e a possível entrada de água durante o período de exposição ao ambiente externo. Estes parâmetros se refletem nos resultados de ascensão capilar, que obtiveram menores alturas médias para esse método de cura.

Por fim, destaca-se a importância desta pesquisa, já que o estudo das propriedades do concreto para os diferentes tipos de cura apresentou resultados distintos para o estado endurecido, ainda mais quando comparado entre dois tipos de cimentos Portland.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

_____. NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

_____. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

_____. NBR 9779: Argamassa e concreto endurecido - Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 2012.

_____. NBR 11768: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2011.

_____. NBR 15900-1: Água para amassamento do Concreto – Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2009.

_____. NBR 16889: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 2020.

_____. NBR 16916: Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2021.

_____. NBR 16917: Agregado graúdo - Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2021.

_____. NBR 16972: Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro, 2021.

_____. NBR 16697: Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

BAUER, L. A. Falcão. Materiais de Construção – Vol. 1. 6. ed. Coordenação João Fernando Dias, Rio de Janeiro: LTC, 2019. 538 p. E-book Disponível em:<
<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521636632/cfi/6/2!/4/2/2@0:0>>. Acesso em: 27 de abr. 2021.

FIGUEIRA JÚNIOR., Ariosvaldo da Silva; VALIN JR., Marcos de Oliveira. Influência climáticas na cura do concreto. Manifestações patológicas na construção. In: CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE PATOLOGIA E RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS, XI., 2013, João Pessoa, PB. Anais. João Pessoa, PB: CINPAR, 2013. p. 1-12.

GONÇALVES, Laura Milanez et al. Avaliação da influência de diferentes processos de cura, aos 14 e aos 28 dias, em concreto convencional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 61., 2019, Fortaleza, CE. Anais. Fortaleza, CE: IBRACON, 2019. p. 1-11.

MARTIN, R. P. et al. Evaluation of different techniques for the diagnosis & prognosis of Internal Swelling Reaction (ISR) mechanisms in concrete. Construction and Building Materials, v. 156, p. 956-964, 2017.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais. 3. ed. São Paulo, SP: IBRACON, 2008. cap. 2, p. 21-202.

NEVILLE, A. M. Propriedades do Concreto. Tradução: Ruy Alberto Cremonini. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. E-book Disponível em:<
<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788582603666/cfi/0!/4/4@0.00:0.00>>. Acesso em: 27 de abr. 2021.

RAMOS, Jocelinda Alves; SOUSA, Laís Gonçalves de.; MARTINS, Ícaro Rodrigues. Influência do processo de cura nas propriedades do concreto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 60., 2018, Foz do Iguaçu, PR. Anais. Foz do Iguaçu, PR: IBRACON, 2018, p. 1-8.

SALES, Nicássio et al. Análise da resistência mecânica de corpos de prova de concreto fabricado com cimento CP V, submetidos a diferentes técnicas de cura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 60., 2018, Foz do Iguaçu, PR. Anais. Foz do Iguaçu, PR: IBRACON, 2018, p. 1-14.

SCHOVANZ, Dioice et al. Influência das condições de cura nas propriedades físicas e mecânicas do concreto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 61., 2019, Fortaleza, CE. Anais. Fortaleza, CE: IBRACON, 2019, p. 1-13.

Recebido em: 21/09/2022

Aprovado em: 25/10/2022

Publicado em: 04/11/2022