

**CONCRETO AUTOCICATRIZANTE: EFICIÊNCIA DO CATALISADOR
CRISTALINO EMPREGADO AO CONCRETO*****SELF-HEALING CONCRETE: EFFICIENCY OF THE CRYSTALLINE CATALYST ADDED
TO THE CONCRETE***

Amanda Karolyne Stoll Silva (1); Bruno Damaceno Belem (2); Lays Gaspar de Santana (3); Leonardo Martins Gambale (4); Rodrigo Augusto Freitas de Parada (5); Victor Marques Pavan (6); Conrad Elber Pinheiro (7).

- (1) *Graduanda em Engenharia Civil, Universidade Anhembi Morumbi, Amandastoll01@outlook.com*
(2) *Graduando em Engenharia Civil, Universidade Anhembi Morumbi, Bbelem@libercon.eng.br*
(3) *Graduanda em Engenharia Civil, Universidade Anhembi Morumbi, Lays.gsantana@gmail.com*
(4) *Graduando em Engenharia Civil, Universidade Anhembi Morumbi, Leonardomg2406@hotmail.com*
(5) *Graduando em Engenharia Civil, Universidade Anhembi Morumbi, Rodrigo_freitas50@hotmail.com*
(6) *Graduando em Engenharia Civil, Universidade Anhembi Morumbi, vmrqspavan@outlook.com*
(7) *Professor Mestre, Departamento de Engenharia, Universidade Anhembi Morumbi, Conrad.yy@gmail.com.*

RESUMO

A razão pelo qual as estruturas de concreto armado deterioram está atrelada diretamente com a sua capacidade de resistência a penetração de diversos agentes agressivos, como por exemplo os íons de cloreto, isso porque possuem uma facilidade de penetração para o interior da estrutura através de poros presentes no concreto, atingindo assim as armaduras e causando a corrosão, o que diminui a vida útil da estrutura, além do alto custo para manutenção. Tendo esse conhecimento e com o avanço da tecnologia, aditivos cristalinos têm sido grande pauta na área de engenharia civil, pois tem a capacidade de autocicatrizar fissuras através da cicatrização autógena, potencializando os processos químicos entre os componentes presentes no concreto e o aditivo, o que dificulta o ingresso de agentes agressivos e assim aumentando a vida útil das estruturas de concreto. Este artigo tem como objetivo provar a eficiência dos aditivos cristalizantes para a autocicatrização, permeabilidade e aumento da vida útil do concreto. Para a produção dos corpos de prova foi utilizado cimento Portland de alta resistência inicial - CP V-ARI, agregados graúdo e miúdo e aditivo cristalino Xypex Admix, resultando em 4 corpos de prova, sendo eles 2 somente com o concreto denominado comum e 2 com aditivo cristalino, denominados como aditivados. Os corpos de prova entraram em processos de cura inicial, depois foram induzidos ao processo de cura úmida e submetidos aos ensaios de compressão axial e absorção de água (permeabilidade) com 7 e 28 dias. Os resultados demonstraram que, comparativamente ao concreto comum, o concreto aditivado apresentou diferença de 0,14% em relação a permeabilidade e houve um desempenho significativo em relação a cicatrização de fissuras externas.

Palavras-Chave: concreto; íons de cloreto; autocicatrização; durabilidade.

ABSTRACT

The reason why reinforced concrete structures suffer from deterioration is directly linked to their resistance to the penetration of various aggressive agents, such as chloride ions. This is because these agents can easily penetrate the structure through pores in the concrete, reaching the reinforcement and causing corrosion, which reduces the lifespan of the structure and increases maintenance costs. With the advancement of technology, crystalline additives have become a significant topic in the field of civil engineering. They have the ability to self-heal cracks through autogenous healing, enhancing the chemical

processes between the components present in the concrete and the additive. This hinders the ingress of aggressive agents, thus increasing the lifespan of concrete structures. This article aims to prove the efficiency of crystalline additives for self-healing, permeability, and increased lifespan of concrete.

For the production of the test specimens, high-early-strength Portland cement (Type V-ARI), coarse and fine aggregates, and Xypex Admix crystalline additive were used. This resulted in four test specimens, two of which were made with regular concrete and two with the crystalline additive, referred to as the admixed specimens. The test specimens underwent initial curing processes, followed by wet curing, and were subjected to axial compression and water absorption (permeability) tests at 7 and 28 days. The results demonstrated that, compared to regular concrete, the admixed concrete showed a difference of 0.14% in permeability and exhibited significant performance in terms of external crack healing

Keywords: concrete, chloride ions, self-healing, durability.

1. INTRODUÇÃO

Novos conhecimentos a respeito da durabilidade das estruturas de concreto surgiram e continuam se ampliando graças ao aumento dos estudos sobre os mecanismos de transporte de líquidos e de gases agressivos. Segundo Medeiros, Andrade e Helene (2011), essas pesquisas são de extrema importância, dado que elevar a durabilidade das estruturas, de maneira geral, acarreta uma maior preservação dos recursos naturais, redução dos impactos ambientais, economia de energia e o prolongamento do potencial de extração das reservas naturais, temas esses com grande importância atualmente.

A durabilidade do concreto de cimento Portland é definida como sua capacidade de resistir à ação do tempo, ataques químicos, abrasão ou qualquer outro processo de deterioração (MEHTA; MONTEIRO, 2014 *apud* SILVA, 2019, p. 19). Um dos principais problemas que causam a deterioração das estruturas de concreto são os agentes agressivos tais como os íons de cloreto, pois eles podem penetrar no material e atingir a armadura, causando corrosão e a perda de eficiência do concreto. De acordo com Neville (2010 *apud* HELENE *et al*, 2018), o que determina a penetração e deslocamento dos agentes agressivos no concreto é a estrutura da sua pasta de cimento hidratada, suas características químicas e físicas, a concentração superficial das substâncias agressivas e as condições ambientais.

Para minimizar esse problema estão sendo usados Aditivos cristalinos a fim de se conseguir um preenchimento das fissuras e diminuir a quantidade de poros, reduzindo assim a intensidade de penetrações.

Os aditivos cristalinos são capazes de induzir a cicatrização autógena (BELIE *et al.*, 2018), que é a capacidade auto curativa do concreto proporcionada pelos componentes hidratados do concreto, podendo ou não serem ativados.

Este artigo tem-se como objetivo verificar a influência do aditivo autocicatrizante cristalino em concretos frente aos agentes agressivos e suas interferências em relação a resistência a compressão até a formação de fissuras e permeabilidade do concreto.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

“Nas estruturas usuais, a associação do concreto com o aço forma um dos sistemas estruturais mais difundidos na construção civil, sendo este concebido com o propósito de se obter um melhor aproveitamento das potencialidades individuais de cada um destes materiais” (MAGALHÃES, 2019, pg.1).

A corrosão em estruturas de concreto armado decorre, principalmente, de dois fenômenos: carbonatação do concreto e penetração de íons cloreto. O primeiro, ocorre devido ao avanço de CO_2 da superfície para o interior do concreto. Já o segundo, ocorre em estruturas localizadas em ambientes marinhos ou expostas aos sais de degelo, assim como em concretos que contenham adições ou agregados contaminados com sais (BAROGHELBOUNY, 2014 *apud* SCHMIDT *et al.*, 2022). Os danos causados por este processo manifestam-se através de manchas superficiais, expansão, fissuração e destacamento do concreto, e redução de área de seção de aço e perda de aderência na interface aço/concreto, interferindo na durabilidade da estrutura (MEHTA, 2014 *apud* SCHMIDT *et al.*, 2022).

Dependendo das circunstâncias e do local onde a estrutura se encontra, pode ser desafiador ou até impossível realizar inspeções. Além disso, a realização dessas avaliações e eventuais consertos requer um investimento financeiro considerável (LI e HERBERT, 2012; AZARSA *et al.*, 2019; YUAN *et al.*, 2019 *apud* ZIEGLER, 2020).

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), a durabilidade de uma estrutura depende das características da espessura e da qualidade do concreto de cobrimento. Felix *et al.* (2018)

afirma que ter uma proteção suficiente, que corresponda ao nível de agressividade do ambiente em que a estrutura se encontra, prolonga o seu tempo de vida e reduz a necessidade de reparos iniciais. Esta barreira dificulta o ingresso de substâncias que podem dar início ao processo de corrosão, bem como limita o acesso de água e oxigênio (MEDEIROS *et al.*, 2009), que segundo MEHTA e MONTEIRO (2013) é um fator primário para a durabilidade do mesmo. Entretanto, o sistema contínuo de poros do concreto e sua tendência a formar fissuras superficiais, fazem com que o cobrimento não represente uma barreira perfeita (MEDEIROS *et al.*, 2009).

Vários autores explicam que fissuras com aberturas elevadas (em geral superiores a 0,3 ou 0,4 mm) podem se tornar um caminho preferencial para ingresso de água e agentes agressivos, acelerando os mecanismos de degradação e reduzindo o cobrimento efetivo das armaduras (JOHNSON, 1973). Na tentativa de minimizar a entrada desses agentes agressivos no concreto, uma medida preventiva que pode ser aplicada é a cicatrização autógena do concreto.

“A cicatrização autógena de materiais cimentícios é o fenômeno básico que determina o fechamento parcial ou total das fissuras e, implicitamente, a recuperação parcial da durabilidade inicial e do desempenho físico-mecânico dos compósitos” (BELIE *et al.*, 2018).

Segundo Belie *et al.* (2018), para o acontecimento deste fenômeno é preciso a hidratação contínua dos grãos de cimento não hidratados anteriormente na reação química entre os íons de cálcio Ca^{2+} encontrados na matriz cimentícia, e o íons de CO_3^{2-} encontrados na matriz cimentícia. Essa reação química é a responsável pelas precipitações de carbonato de cálcio $CaCO_3$, que formam os cristais nas faces da fissura, processo esse chamado de "crescimento de cristal controlado pela superfície". Após a formação de uma camada inicial de calcita nas paredes da fissura e a matriz de concreto nas proximidades se tornar menos rica como fonte de íons de cálcio, ocorre o chamado "crescimento de cristal controlado por difusão", no qual os íons de cálcio precisam se difundir através do concreto e da camada de $CaCO_3$ para alcançar a superfície da fissura e permitir a precipitação dos produtos de cicatrização (BELIE *et al.*, 2018).

De acordo com Belie *et al.* (2018), são vários os fatores que desencadeiam esse processo químico, mas dentre os principais estão: a composição do concreto (aditivos e

agregados), a água e a geometria da fissura, como comprimento, largura e profundidade. Sabendo disso é preferencial que se use um concreto com alto teor de clínquer, que aumenta a disponibilidade “de íons Ca^{2+} , que são cruciais para o desenvolvimento de produtos de precipitação de carbonato de cálcio” (BELIE *et al.*, 2018).

Um dos meios da cicatrização autógena é a adição de aditivos cristalinos na mistura cimentícia.

Em geral, os aditivos cristalinos são produtos formados por "substâncias químicas ativas", geralmente misturadas com cimento e areia, e possuem comportamento altamente hidrofílico. Eles reagem na presença de água, formando precipitados insolúveis em água que bloqueiam os poros e fissuras, aumentando a densidade de gel de silicato de cálcio (CSH) e a resistência à penetração de água. Foi demonstrado que os aditivos cristalinos melhoram as propriedades mecânicas do concreto quando utilizados em teores de 3%, 5% e 7% do teor de cimento, submetidos à umidade, embora esses percentuais mencionados possam ser bastante altos para uma adição (BELIE *et al.*, 2018).

“Os aditivos cristalinos são eficientes não apenas no bloqueio de poros, mas também possuem a capacidade de suportar condições hidrostáticas e selar fissuras muito finas quando ativados pela umidade” (BELIE *et al.*, 2018). “Como produto de sua reação, os aditivos cristalinos formam CSH modificado, dependendo do promotor cristalino, e um precipitado formado por cálcio e moléculas de água” (BELIE *et al.*, 2018).

3. METODOLOGIA

Nessa etapa são relatados todos materiais e métodos utilizados afim de avaliar os parâmetros necessários para chegar a uma conclusão. Também foram detalhadas quais normas utilizadas para todos os procedimentos e a procedência de cada material.

3.1. Materiais

O cimento utilizado para preparação dos corpos de prova foi o cimento Portland de alta resistência inicial - CP V-ARI, como agregado miúdo foi utilizado areia média já lavada e como agregado graúdo foi utilizado brita 1, também já lavada. Com o objetivo de induzir

a autocicatrização, foi acrescentado a mistura o aditivo em pó Xypex Admix C-500 NF da Bauchemie, cujos componentes estão listados na tabela a seguir:

Tabela 1: Componentes do aditivo cristalino.

Componentes (gramas)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O
Xypex Admix	20,3	1,7	4,3	30,9	19,4	1	5	0,15

Fonte: Fornecido pelo fabricante.

3.2. Programa experimental.

Sabendo que a autocicatrização sucede um “ferimento” no concreto, ou seja, uma fissura, o programa experimental consiste em aplicar uma carga nos corpos de prova, gerando fissuras nos mesmos, para que assim seja possível avaliar o fenômeno da autocicatrização. Outros parâmetros para se verificar é quanto a absorção de água do concreto aditivado em relação ao concreto comum sem aditivos e sua trabalhabilidade. Para isso foi utilizado o teste de permeabilidade e o teste de *Slump*.

Para a realização de todos os testes previstos foram confeccionados 4 corpos de provas cilíndricos (10x20cm), utilizando o traço 1:2:3 que consiste em 3 medidas de agregado graúdo e 2 de agregado miúdo para cada 1 medida de cimento.

Foi realizado o teste de *slump*, a fim de determinar a consistência do concreto fresco através da medida de seu assentamento, procedimento realizado de acordo com a NBR NM 67. Em seguida foi realizada a moldagem dos corpos de prova de acordo com a NBR 05738. Depois de 7 dias de cura seca, os 4 corpos de prova foram desmoldados e 2 deles (um comum e um com o aditivo cicatrizante) foram submetidos ao teste de compressão axial a fim de gerar fissuras e em seguida submersos em água para dar início a sua cura úmida, em que ficaram 21 submersos em água, enquanto os 2 corpos de prova restantes ficaram submersos em água em sua forma original, sem a geração de fissuras.

Após 21 dias submersos em água, os outros 2 corpos foram submetidos ao teste de permeabilidade para determinar a capacidade do material em permitir a passagem de fluidos a fim de avaliar sua resistência a penetração de agentes externos.

3.3. Testes realizados

Os testes realizados para obtenção de dados foram os de abatimento de cone, compressão axial e permeabilidade.

3.3.1. Teste de abatimento de cone (*Slump*)

Após a preparação do concreto, que foi feita no laboratório da Universidade Anhembi Morumbi no campus Mooca, foi realizado o teste de abatimento de cone de acordo com a NBR NM 67:1998, a fim de determinar sua trabalhabilidade no estado fresco.

3.3.2. Teste de compressão axial

Com idade de 7 dias em cura inicial, os corpos de prova foram submetidos ao teste de compressão axial, que não foi executado para romper o mesmo e sim para induzir a formação de fissuras.

O carregamento foi feito através da prensa elétrica Fortest modelo FT 01 com capacidade de 100 toneladas. E só foi interrompido quando houve a observação de fissuras aparentes no corpo de prova. A resistência a formação de fissuras foi calculada através da equação 1.

$$f_c = \frac{\text{Tonelada} \times 9810}{\pi \times 100/4^2} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

f_c = resistência a compressão (MPa).

Após a formação de fissuras em 2 corpos de prova, 1 comum e 1 com aditivo cristalino, com idade de 7 dias, ambos foram deixados submersos em água afim de induzir a autocicatrização, uma vez que a presença de água é essencial para as reações químicas.

3.3.3. Teste de permeabilidade

Após a cura úmida de 21 dias, os 2 corpos de prova não fissurados, sendo 1 comum e 1 com aditivo cristalino, foram retirados da água e pesados para determinar sua massa saturada.

Após a verificação de seu peso através de uma balança de precisão, ambos foram colocados em uma estufa com temperatura e umidade previamente regulada e controlada de $105 \pm 5^\circ\text{C}$ por 72 horas. Após o processo na estufa, ambos foram pesados novamente para a determinação da massa seca dos mesmos. Após a determinação das duas massas foi calculada a permeabilidade de ambos os corpos de prova através da fórmula:

$$A = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \times 100 \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

A = Massa saturada em água

m_{sat} = Massa saturada em água.

m_s = Massa seca.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a análise do teste de *Slump* é possível concluir que a adição do cristalizante na mistura cimentícia não alterou sua trabalhabilidade ainda no estado fresco em comparação ao concreto sem aditivo, sendo ambos de 130mm.

O teste de compressão axial, diferente do estudo do *slump* demonstrou uma diferença no trabalho dos dois tipos de concreto, onde a carga de fissuração no corpo de prova comum foi atingida a partir de 15,04 toneladas e o no corpo de prova com aditivo as fissuras vieram após a compressão de 19,60 toneladas.

A figura 1 mostra o momento em que o corpo de prova com concreto comum atingiu o seu limite máximo para a formação de fissuras aparentes com as 15,04 toneladas e a

figura 2 mostra o momento em que o corpo de prova aditivado atingiu o seu limite máximo para a formação de fissuras aparentes com as 19,60 toneladas.

Figura 1: Corpo de prova com concreto comum sendo fissurado



Fonte: Fotografia autoral.

Figura 2: Corpo de prova com concreto aditivado sendo fissurado



Fonte: Fotografia autoral.

Após a determinação da carga, foi feito o cálculo para a conversão de toneladas para Mpa utilizando a equação 1 como mostra a seguir:

$$\text{Comum: } f_c = \frac{15,04 \times 9810}{\pi \times 100/4^2} = 18,79 \text{ MPa}$$

$$\text{Aditivado: } f_c = \frac{19,60 \times 9810}{\pi \times 100^2/4} = 24,48 \text{ MPa}$$

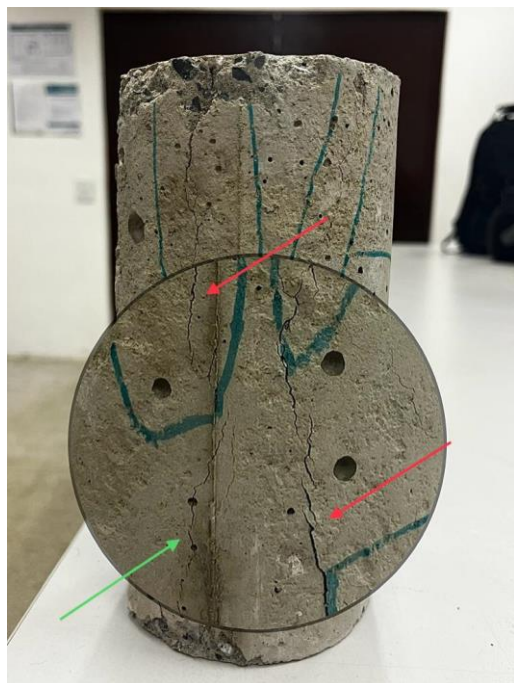
Através dos cálculos é possível notar que o concreto aditivado conseguiu uma melhor resistência até a formação de fissuras, suportando 5,69 Mpa a mais que o comum.

Em seguida da formação de fissuras, foram demarcados os pontos com maior probabilidade de cicatrização com uma caneta azul, para que fosse possível a comparação exata das fissuras antes e depois da imersão em água, como é possível ver a seguir.

Concreto comum

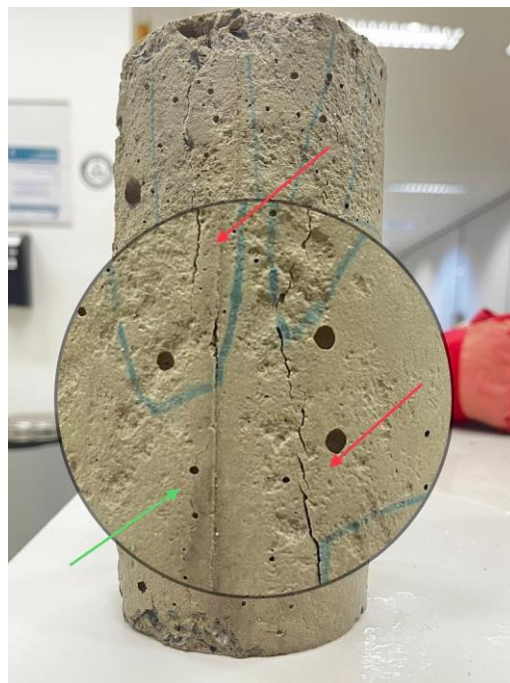
Ao analisar as fissuras demarcadas, foi notado que ocorreu uma pequena cicatrização na fissura indicada pela seta verde, mas não nas duas outras fissuras indicadas pela seta vermelha. Na figura 3 mostra o antes do corpo de prova ser submerso em água para indução da cicatrização, e na figura 4 o depois:

**Figura 3: concreto comum
antes**



Fonte: Fotografia autoral (2023).

**Figura 4: concreto comum
depois**



Fonte: Fotografia autoral (2023).

Concreto com aditivo cicatrizante

Após a análise do concreto com o aditivo cicatrizante é notável que as fissuras menores que 0,4mm indicadas pelas setas verdes se fecharam, isso pela reação química causada pelo aditivo. A figura 5 mostra o corpo de prova após a fissuração e a 6 mostra o corpo de prova após a submersão em água.

Figura 5: concreto aditivado antes



Fonte: Fotografia autoral (2023).

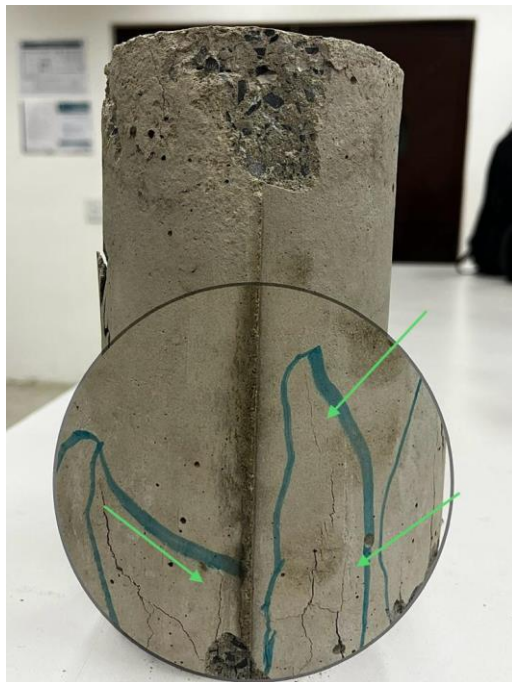
Figura 6: concreto aditivado depois



Fonte: Fotografia autoral (2023).

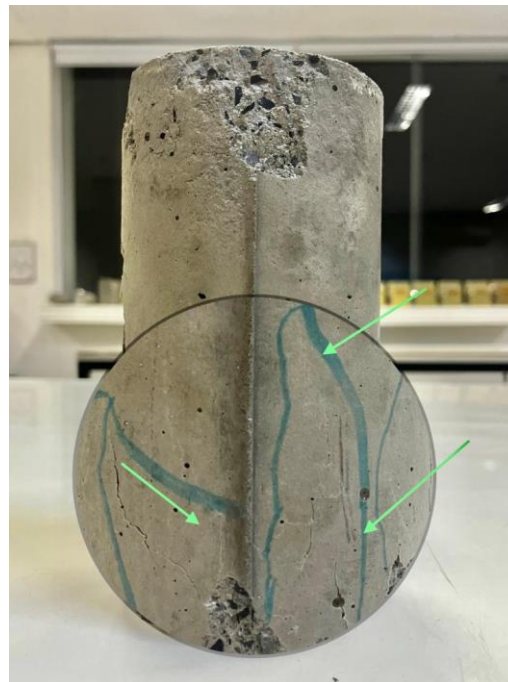
A figura 7 mostra o corpo de prova aditivado após a fissuração e a 8 mostra o corpo de prova após a submersão em água.

**Figura 7: antes do
concreto comum**



Fonte: Fotografia autoral (2023).

**Figura 8: depois do
concreto comum**



Fonte: Fotografia autoral (2023).

Através das figuras, é possível notar que as fissuras indicadas com setas verdes do concreto aditivado se fecharam, enquanto as do concreto comum não apresentou grande diferença.

Em seguida da realização do ensaio de permeabilidade foi confirmado que o concreto com a adição do cicatrizante possui uma melhor capacidade impermeável, pois absorveu uma menor quantidade d'água que o concreto comum.

Após a pesagem foram obtidos os seguintes dados:

Tabela 2: pesos dos corpos de prova secos e saturados

	Comum	Com aditivo cicatrizante
Massa saturada em água	3807.2	3784.9
Massa seca	3593.7	3577.2

Fonte: tabela autoral (2023).

Tendo conhecimento dos pesos, os mesmos foram aplicados na fórmula 2 citada na página 8, para obter a porcentagem de permeabilidade de cada corpo de prova:

Concreto comum:

$$A = \frac{3807.2 - 3593.7}{3593.7} \times 100$$

$$A = 5,94\%$$

Concreto com aditivo autocicatrizante:

$$A = \frac{3784.9 - 3577.2}{3577.2} \times 100$$

$$A = 5,80\%$$

Através dos resultados, foi notado 0,14% de diferença em relação a impermeabilidade do concreto aditivado comparado ao comum.

5. CONCLUSÕES

Após a análise do teste de *Slump* é possível concluir que a adição do cristalizante na mistura cimentícia não alterou sua trabalhabilidade ainda no estado fresco em comparação ao concreto sem aditivo.

No ensaio de resistência a compressão o concreto aditivado teve uma tendência a suportar mais carga em relação ao concreto comum até o surgimento de fissuras aparentes, o que mostra uma melhora no ponto de vista mecânico do concreto aditivado.

A indução das fissuras por meio submerso apresentou certa cicatrização das fissuras menores que 4mm, porém o concreto aditivado apresentou um fechamento mais considerável das fissuras quando comparado ao concreto comum, mostrando assim uma grande melhora no fenômeno da autocicatrização.

Em relação ao ensaio de permeabilidade, o cálculo mostrou que houve uma pequena melhora de 0,14% no quesito de impermeabilidade do concreto aditivado em relação ao comum, o que dificulta o ingresso de agentes agressivos no mesmo.

No geral a utilização de aditivos cristalinos no concreto com cimento Portland alta resistência inicial apresentou somente efeitos positivos em todos os testes realizados quando comparados ao concreto com cimento Portland sem aditivo, validando assim sua eficiência no fenômeno da autocicatrização.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer primeiramente às famílias, nosso orientador Conrad e a todos aqueles que caminharam com a gente nessa trajetória até aqui. Agradecer a Bauchemie pelo fornecimento do aditivo em pó Xypex Admix C-500 NF, à Universidade Anhembi Morumbi por ceder o laboratório e os materiais utilizados para a confecção do concreto e ao técnico de laboratório Roberto que nos auxiliou em todo o processo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BELIE, Nele et al. A Review of Self-Healing Concrete for Damage Management of Structures. Alemanha: Advanced Materials Interfaces, 2018.

Felix, E. F., Balabuch, T. J. R., Posterlli, M. C., Possan, E., & Carrazedo, R. (2018). Análise da vida útil de estruturas de concreto armado sob corrosão uniforme por meio de um modelo com RNA acoplado ao MEF. Revista Alconpat 8(1), p. 1-15.

HELENE, Paulo et al. Avaliação da penetração de cloretos e da vida útil de concretos autocicatrizantes ativados por aditivo cristalino. São Paulo: Ibracon, 2018.

JOHNSON, S. M. Deterioro, conservación y reparación de estructuras. Madrid: Blume, 1973.

MAGALHÃES, Thiago Abdala . ANÁLISE DA PENETRAÇÃO DE ÍONS CLORETO EM COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS CONTENDO DIFERENTES TEORES DE ESCÓRIA DE ALTO-FORNO. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 2019. 1 p.

MEDEIROS, Marcelo Henrique Farias; ANDRADE, Jairo José De Oliveira ; HELENE, Paulo. Concreto: ciência e tecnologia: Durabilidade e Vida útil das estruturas de concreto. IBRACON, 2011.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concrete Microstructure, Properties, and Materials – Fourth Edition. Ed.: McGraw Hill. ISBN.: 978-0-07-179787-0. Inglês, 2013 p.675.

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

SCHMIDT, Bruna Caroline et al. Utilização do concreto autocicatrizante e sua influência na corrosão das armaduras. São paulo: Research, Society and Development, 2022. v. 11.

SILVA, R. ESTUDO DA DURABILIDADE DE CONCRETOS COM A SUBSTITUIÇÃO DO CIMENTO POR CINZA DE CASCA DE ARROZ SOB AÇÃO DE SULFATOS. Lageado: UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI - UNIVATES CURSO DE ENGENHARIA CIVIL, 2019. 19 p.

ZIEGLER, Fabiana et al. Avaliação da autocicatrização de fissuras em concretos com aditivos cristalizantes. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul Escola de Engenharia, 2020.