

CONCRETO AUTOCICATRIZANTE E ANTIFISSURANTE COM ADIÇÃO DE CATALISADOR CRISTALINO E FIBRAS A BASE DE POLIÉSTER

Thiago Augustus Remacre Munareto Lima

thiago.remacre@gmail.com

Flávio Oliveira Santana

flavio.eng16@gmail.com

Tainar Rodrigues dos Santos

tainarrodrigues@outlook.com

Nayara Bispo Barros

nayara_bb_@hotmail.com

Pedro Henrique Gama Silva

riquesilva6421@gmail.com

Resumo: Em função dos problemas de degradação observados nas estruturas de concreto ao longo do tempo e o seu elevado custo de reparo, houve a necessidade de estudos que pudessem estender a vida útil dessas estruturas, mantendo inalterada ou alterando de maneira minimalista a sua capacidade ao suporte de cargas. Diante disso, o presente projeto visa desenvolver, através do mecanismo de cicatrização autógena um possível concreto com propriedades cicatrizantes, a fim de erradicar ou minimizar os eventuais gastos exacerbados com reparo e manutenção de estruturas. Para esse estudo e desenvolvimento foi utilizado materiais, como por exemplo, catalisador cristalizante e fibra a base de poliéster, com o objetivo de diminuir o aparecimento de fissuras, bem como sua propagação e melhorar o processo de colmatação natural do concreto. Foi observada mediante os ensaios realizados nas amostras com a fibra a base de poliéster pouca propagação das fissuras e uma resistência considerável. Por fim, com a adição de catalisador, modificador de viscosidade e superplastificante polifuncional, o concreto apresentou elevada resistência à compressão. No entanto, se faz necessário a reformulação das porcentagens destes e dos demais aditivos a serem utilizados, para uma melhor análise, em relação à restrição de fissuras em níveis aceitáveis, ocorrendo assim o processo de autocicatrização.

Palavras-chave: Comaltação, Degradação, Poliácrlonitrila, Superplastificante polifuncional.

INTRODUÇÃO

A percepção da necessidade de reparo e manutenção de estruturas de concreto depende de programas de inspeção regulares, que no geral possuem custos elevados, ou de uma combinação entre ensaios não destrutivos e a percepção humana. Nos casos em que os danos são menos extensos a estrutura é reparada, porém quando os danos são irreparáveis a estrutura é totalmente substituída.

De acordo com Takagi (2013), o concreto é um material muito vulnerável à formação de fissuras, estando o comprometimento de sua durabilidade diretamente ligado à abertura da fissura, conseqüentemente sendo necessário reparo. Sabe-se que, a indústria de cimento é responsável por cerca de 3% da emissão dos gases causadores do efeito estufa e por cerca de 5% das emissões de gás carbônico mundiais, sem levar em consideração o consumo em combustíveis. Pensando nestes fatores, uma das alternativas mais recentes estudadas é a capacidade do concreto de autorrecuperar suas propriedades mecânicas, uma vez que é danificado.

O conceito surgiu a partir da observação de alguns tecidos biológicos ou sistemas na natureza que podem se curar de forma autônoma (de Rooij et al., 2009, apud Aliko-Benitez, Doblaré, Sanz-Herrera, 2015). Este novo

conceito propiciará uma série de benefícios para o prolongamento de sua vida útil.

Diferentes abordagens foram desenvolvidas com o intuito de obter novos tipos de concreto com a propriedade curativa, entre elas a autocicatrização autógena, que segundo Takagi (2013), tem a propriedade de aprimorar o mecanismo de colmatação natural do concreto, utilizando materiais genéricos que estariam presentes na sua composição, mesmo que estes não fossem especificamente desenvolvidos com finalidade de autocicatrização, como é o caso da hidratação residual e da carbonatação, e a cicatrização autônoma que consiste em envolver os agentes cicatrizantes em microcápsulas.

No Brasil, o estudo sobre concreto autocicatrizantes ainda é muito recente, apenas cinco autores discutiram sobre o assunto e nenhum deles no Nordeste. O fenômeno é conhecido, mas nem os seus efeitos benéficos, nem suas limitações têm sido compreendidas.

Desta forma, os objetivos do presente trabalho são: conhecer os efeitos do acréscimo dos agentes cicatrizantes as propriedades mecânicas do material antes e depois da fissuração, perscrutar as áreas de aplicabilidade do concreto autocicatrizante na construção civil, e analisar a eficiência da fibra a base de poliéster na restrição a abertura de fissuras.

MATERIAL E MÉTODOS

Preparação do traço e moldagem dos corpos de provas

O processo de dosagem do concreto é a obtenção de uma proporcionalidade adequada de alguns materiais como: cimento, agregados, água e eventuais aditivos, com o objetivo de que a mistura resultante atenda a alguns pré-requisitos: trabalhabilidade que possibilite o transporte, lançamento e adensamento sem que ocorra a segregação, características especificadas no projeto, ou seja, resistência,

durabilidade e permeabilidade adequadas, além de ter o menor custo possível, dessa forma a obra será economicamente viável. Portanto, para começar a pesquisa, foi necessária a realização de ensaios normatizados pela ABNT, a fim de se obter a caracterização dos materiais a serem utilizados no projeto, e a partir daí foi iniciado o cálculo do traço de acordo com o método da ABCP.

Quando se trata de melhorias em composições da mistura de concreto e/ou adição de novos componentes, é imprescindível o cálculo devido de um traço que será tido como base para se ter as porcentagens dessas adições. Algumas das características específicas para o desenvolvimento desta pesquisa e, principalmente, para o cálculo do traço, foram estabelecidas como: o Fck de 25 MPa com um sd de 4 MPa, permitindo assim que se encontrasse um Fcj para 28 dias de 32 Mpa, e o cimento com peso específico de 3100 kg/m³.

Para a elaboração do traço base, se fez necessário inicialmente a caracterização dos materiais a serem empregados por meio de ensaios laboratoriais, como a caracterização dos agregados miúdo e graúdo, com base na NBR-248: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Após a realização dos ensaios, foi observado para o agregado graúdo um diâmetro máximo de 19 mm, um peso específico compactado de 1500 kg/m³ e peso específico real de 2650 kg/m³. Já o agregado miúdo foi caracterizado com um módulo de finura de 2,4 e peso específico real de 2630 kg/m³. Utilizando o método ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), que estuda a dosagem experimental do concreto fresco e endurecido, a partir da curva Abrams (CP II 32) foi encontrado um fator A/C de 0,5, e ao definir um abatimento de 100±20 mm foi possível determinar pelo quadro 2 - Consumo de água, um valor de aproximado 205 l/m³. No quadro 3 - Volume Compactado Seco de Agregado Graúdo, com o módulo de finura e o diâmetro máximo foi

encontrado um volume de $0,71 \text{ m}^3/\text{m}^3$.

Com esses dados foi possível calcular um traço base, para uma resistência de 32 MPa aos 28 dias. A partir do traço base foi feito o cálculo da adição da fibra a base de poliéster em porcentagem, catalisador, polifuncional e modificador de viscosidade, com a finalidade de conhecer o ganho de característica com cada adição em proporções diferentes.

Adição de fibras no concreto

O concreto é um material altamente suscetível a formação de fissuras, o que influencia diretamente em sua durabilidade por diminuir sua capacidade de suporte de carga, além disso, para a análise do concreto autocicatrizante se faz necessário o aparecimento de fissuras de até 0,4 mm. A partir dessa problemática, ouve então a necessidade da adição de fibras no concreto, para que ocorra a redução na espessura das fissuras.

A fibra a base de poliéster, mostrada na figura 1, possui uma composição química de 79% algodão, 19% poliéster e 2% elastano, possui também uma densidade de $1,36 \text{ g/cm}^3$, um comprimento médio de 98,7951 mm, um peso específico de $1,38 \text{ kg/cm}^3$ e um diâmetro médio de 0,0946 mm. Quanto a sua atuação no concreto, observou-se através dos ensaios que esta não interferiu na capacidade de resistência do concreto tornando assim a fibra ideal para esse estudo.

Figura 1 - Fibra poliéster.



Adição do catalisador cristalino, aditivo superplastificante e modificador de viscosidade

O catalisador cristalino utilizado é um impermeabilizante de combinação de cimento, areia de quartzo e aditivos, que quando aplicado penetra nos capilares do concreto formando cristais insolúveis e permanentes que se multiplicam e se expandem em contato com a umidade. Assim, o mesmo preenche os poros e fissuras causando uma barreira permanente contra a umidade, liberando somente a passagem de vapor de água, permitindo que o concreto respire. Tem a aparência de um pó cinza com densidade de 1,25 kg/L, quando argamassa fresca. Desta forma, foi estabelecida a porcentagem a ser utilizada, fixando o valor em 3% da massa de cimento.

Segundo a NBR 11768, plastificante e superplastificante são aditivos que, sem modificar a consistência do concreto no estado fresco, permite reduzir o conteúdo de água de um concreto, ou que, sem alterar a quantidade de água, modifica a consistência do mesmo, aumentando o abatimento e a fluidez, podendo gerar os dois efeitos simultaneamente. Utilizou-se nesta pesquisa um superplastificante polifuncional à base de lignosulfonato, que é um líquido de coloração castanho escuro, com um pH entre 7 e 9, densidade entre $1,175 \text{ g/cm}^3$ e $1,215 \text{ g/cm}^3$ e uma porcentagem de sólidos entre 35,5% a 39,5%.

Modificador de viscosidade é o aditivo constituído por polímeros solúveis em água que, quando adicionado ao concreto, realiza uma modificação de suas propriedades reológicas, promovendo redução da segregação e exsudação, maior viscosidade, coesão e homogeneidade da mistura, além de melhor bombeamento. Utilizou-se nesta pesquisa um modificador de viscosidade à base de éter de celulose.

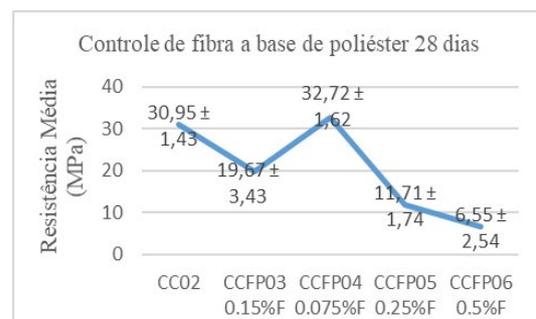
Moldagem e cura dos corpos de prova

Para cada 3 corpos de prova moldados com adição de algum aditivo podendo ser eles: fibra, catalisador, modificador de viscosidade ou superplastificante, foi necessário moldar mais 3 corpos de prova denominado corpo de prova controle, ou seja, moldado sem a adição dos aditivos, permitindo assim fazer uma análise das características físicas e químicas entre os corpos de prova com adição e sem adição. Para efetuar a moldagem dos corpos de prova controle e os demais foram pesadas as quantidades estabelecidas para 3, 6 ou 9 corpos de prova. Após a mistura dos materiais em betoneira, é realizado o slump test, regido pela NBR NM 67. No decorrer da pesquisa foram moldados 101 corpos de prova, sendo estes, para correção do traço, corpo de prova para controle, ou seja, sem adição de fibra, corpo de prova com adição de fibra a base de poliéster nas porcentagens de 0,5%, 0,25%, 0,15%, 0,10% e 0,075% de fibra da massa total do concreto, além de corpos de prova com adição de 3% do catalisador cristalino, 0,5% do modificador de viscosidade e 0,6% do superplastificante. Após o processo de mistura, os corpos de prova foram moldados e cobertos com plástico filme, como mostra a figura 6, a fim de evitar a perda de umidade e permanecendo assim por 24 horas. Passado o tempo de cura, estes foram depositados no tanque 1, como mostra a figura 7, permanecendo lá durante 28, 84 e 168 dias, submerso em uma coluna de água contínua de 45 cm. Ao esgotar desses tempos, os corpos de prova foram retirados do tanque e levados para a prensa mecânica, onde foram niveladas com bases de neoprene, e submetidos ao ensaio de compressão normal, onde a partir dele foi possível determinar a capacidade de carga do concreto e ainda forçar o aparecimento das primeiras fissuras nos corpos de prova com adição do catalisador.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se o comportamento do concreto em duas situações diferentes. No que diz respeito a diminuição da propagação das fissuras com o uso da fibra a base de poliéster, e no que tange o aumento da resistência a compressão axial com a adição do catalisador cristalino e os demais aditivos.

Gráfico 1 - Resistência à compressão do concreto aos 28 dias com a adição da fibra a base de poliéster



CC02 – Concreto Convencional para Controle; CCFP 03. 0.15% - Concreto Convencional com Fibra a base de Poliéster 0.15%; CCFP 04. 0,075% - Concreto Convencional com Fibra a base de Poliéster 0.075%; CCFP 05. 0,25% - Concreto Convencional com Fibra a base de Poliéster 0.25%; (Com correção da água do traço); CCFP 06. 05% - Concreto Convencional com Fibra a base de Poliéster 0.5% (Com correção da água do Traço).

A partir da moldagem dos corpos de prova com adição de fibra a base de poliéster, adicionando 0,5%, 0,25%, 0,15%, 0,10% e 0,075% de fibra, da massa total do concreto, e execução do ensaio de resistência à compressão, foi possível encontrar a quantidade ideal desta fibra com uma porcentagem de 0,075% da massa total de materiais, como mostrado no gráfico 1.

A partir da análise do gráfico 1, percebe-se que os corpos de prova sem a adição de fibra possuem uma resistência média de 30,95±1,43 MPa. Já os corpos de prova com adição de 0,075% de fibra a base de poliéster apresentaram uma resistência média de 32,72 ± 1,62 MPa, representando assim um aumento

de 5,71% da resistência à compressão axial.

Após a realização do ensaio de compressão axial, foi observado também o comportamento da fibra a base em poliéster no interior do concreto, como mostra a figura 8. Foi possível constatar que a mesma pode agir como pontes de tensões, o que interfere significativamente na diminuição das propagações das fissuras. Além disso, visualmente pode-se perceber que esse tipo de fibra depois de adicionada ao concreto, apresenta uma característica singular: ela se torna mais fina e mais elástica, como se fosse filamentos ligantes da matriz do concreto. Uma possível causa desse comportamento é que a reação presente na pasta cimentícia é exotérmica, ou seja, libera calor, este que por sua vez faz com que a fibra a base de poliéster apresente esse comportamento e aparência dentro do corpo de prova.

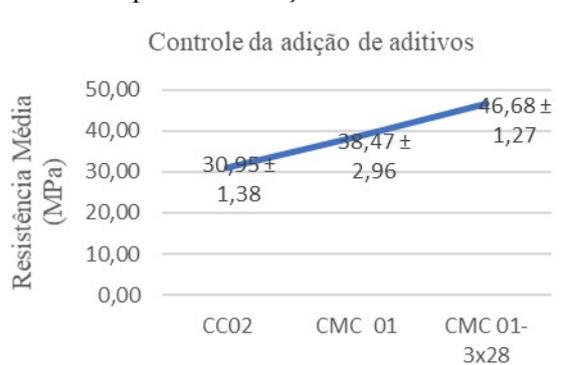
Figura 8 - Comportamento da fibra dentro do corpo de prova



Notou-se ainda que, com a adição do catalisador cristalino juntamente com os aditivos modificador de viscosidade e superplastificante no concreto, ocorreu um aumento significativo da resistência à compressão axial, como está disposto no gráfico 2. O traço base inicial possuía uma resistência característica os 28 dias (fcj) de 30 MPa, no entanto foi obtido para os corpos de prova controle um fcj médio de $30,95 \pm 1,38$ MPa. Com a adição do catalisador cristalino e os demais aditivos obtivemos um fcj médio de $38,47 \pm 2,96$ MPa, onde foi observado que com o aumento na idade dos corpos de

prova sua resistência continuou aumentando, chegando a atingir aos 84 dias uma resistência média de $46,68 \pm 1,27$ MPa, como mostra o gráfico 2. Porém, o foco da pesquisa é estudar a capacidade autocicatrizante do concreto, e não o aumento da resistência do concreto com o passar do tempo, além de que o aumento exacerbado da resistência à compressão dificultou a análise do surgimento de fissuras, uma vez que os corpos-de-prova passaram a se comportar como material frágil no momento do rompimento na prensa mecânica.

Gráfico 2 - Resistência média dos corpos de prova com adição dos Aditivos.



CC 02 - Concreto Convencional para controle; CMC 01 - Concreto Convencional + 3% Catalisador + 0.6%Polifuncilna + 0.5% Modificador de Viscosidade.

CONCLUSÕES

Em termos gerais, o desenvolvimento desta pesquisa permitiu aprimoramento do conhecimento acerca do concreto autocicatrizante, por meio das revisões bibliográficas sobre o tema, principalmente as produções do autor Takagi, dos ensaios laboratoriais realizados, das discussões temáticas durante reuniões de projeto, bem como o comportamento dos aditivos utilizados.

É possível concluir que a fibra a base de poliéster configura-se como um material promissor para o desenvolvimento de concreto autocicatrizante, pois apresentou bom desempenho ao ser incorporado ao concreto, propiciando um ganho considerável de resistência, além de se comportar como um

material que pode restringir a propagação de fissuras, limitando sua espessura.

Para o catalisador cristalino se faz necessária, em análises futuras, a reformulação da porcentagem utilizada neste estudo, juntamente com os demais aditivos utilizados, como o modificador de viscosidade e superplastificante polifuncional, de forma que a percepção da restrição de fissuras a valores toleráveis à cicatrização seja mais efetiva.

REFERÊNCIAS

ALIKO-BENÍTEZ A.; DOBLARÉ M.; SANZ-HERRERA J. A.; Chemical-diffusive Omodeling of the self-healing behavior in concrete. *Construction and Building Materials*. Amsterdã, v. 69-70. p. 392-402. 22, Out. 2015. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/>. Acesso em: 20 dez. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Parâmetros de dosagem do concreto (Método da ABCP). São Paulo (ET-67).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67, 1998. Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, ABNT, 2009, p.4.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248, 2003. Agregados- Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, ABNT, 2003, p.6.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738, 2015. NBR- Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, ABNT, 2015, p.9.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739, 2007. Ensaio de compressão em corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, ABNT, 1992, p.14.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11768, 2011. Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, ABNT, 2011.

KANELLOPOULOS, A.; GIANNAROS, P.; AL-TABBAA, A.; The effect of varying volume fraction of microcapsules on fresh, mechanical and self-healing properties of mortars. *Construction and Building Materials*. Amsterdã, v. 122. p. 577-593. 9, jul. 2016. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/>. Acesso em: 12 dez. 2017.

TAKAGI, E. M. Concretos autocicatrizantes com cimentos brasileiros de escória de alto-forno ativados por catalisador cristalino. 2013. p. 130. Dissertação de mestrado em Engenharia de Infraestrutura Aeroportuária- Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campo