

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DA CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

JÉSSICA SANTOS DA SILVA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO EMPREGO DE ADITIVO
CRISTALIZANTE NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO**

FLORIANÓPOLIS, 2024.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DA CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

JÉSSICA SANTOS DA SILVA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO EMPREGO DE ADITIVO
CRISTALIZANTE NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de
Santa Catarina como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Engenheiro Civil.

Orientadora:
Prof.^a Luciana M. Calçada, Doutora.

FLORIANÓPOLIS, 2024.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Silva, Jéssica

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO EMPREGO DE ADITIVO CRISTALIZANTE NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO / Jéssica Silva; orientação de Luciana Maltez Calçada. - Florianópolis, SC, 2024.

34 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado em Engenharia Civil. Departamento Acadêmico de Construção Civil. Inclui Referências.

1. Concreto. 2. Impermeabilização. 3. Aditivo cristalizante. 4. Aditivos para concreto. 5. Cristalização integral. I. Maltez Calçada, Luciana. II. Instituto Federal de Santa Catarina. III. ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO EMPREGO DE ADITIVO CRISTALIZANTE NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO.

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO EMPREGO DE ADITIVO CRISTALIZANTE NAS
PROPRIEDADES DO CONCRETO**

JÉSSICA SANTOS DA SILVA

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro Civil e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, dezembro de 2023.

Banca Examinadora:

Luciana Maltez Calçada, Doutora
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC)

Alexandre Lima de Oliveira, Doutor
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC)

Juliana Machado Casali Peruch, Doutora
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC)

Henrique Aristeu Kolb Schiefler, Engenheiro Civil
Kolbtec Engenharia Ltda.

AGRADECIMENTOS

Agradeço sinceramente aos meus pais, em especial à minha querida mãe, cujo amor e inspiração continuam a guiar cada passo meu, mesmo não estando fisicamente presente. Expresso minha profunda gratidão ao Eng. Henrique Schiefler, cujo apoio constante e orientação foram pilares fundamentais para a conclusão desta jornada acadêmica. À minha dedicada orientadora, Luciana Calçada, que não apenas embarcou nas minhas ideias mais ousadas, mas também iluminou meu caminho com sabedoria e paciência. Um agradecimento especial à concreteira que forneceu o material e disponibilizou os equipamentos para confecção dos concretos utilizados.

Aos técnicos do laboratório, Rafael Souza e Alan Santos, por todo auxílio e apoio, bem como à Prof^a Juliana Casali pela assistência nas etapas de rompimento e fissuração dos corpos de prova.

Agradeço a todos os amigos e colegas, em especial a Lauren Kortz e ao João Victor da Palma, cuja amizade e apoio foram a força motriz que me impulsionou até este ponto. Cada um de vocês é parte essencial do meu sucesso, e este trabalho é resultado de um esforço conjunto. A todos, meu sincero agradecimento por fazerem parte desta jornada e contribuírem para o meu crescimento pessoal e acadêmico.

"A vida é o que acontece enquanto você está ocupado fazendo outros planos." -
Allen Sanders

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
1. INTRODUÇÃO.....	8
1.1 OBJETIVOS.....	11
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
2. MATERIAIS E MÉTODO.....	12
3. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	15
3.1. PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO.....	15
3.2. PROPRIEDADES NO ESTADO ENDURECIDO.....	17
3.3. ENSAIO DE PROPAGAÇÃO DE PULSO ULTRASSÔNICO.....	18
4. CONCLUSÃO.....	26
ABSTRACT.....	28
REFERÊNCIAS.....	29
APÊNDICE A – IMAGENS COMPLEMENTARES.....	33

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO EMPREGO DE ADITIVO CRISTALIZANTE NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO

Jéssica Santos da Silva¹

RESUMO

A permeabilidade do concreto tem sido objeto de preocupação dado o crescente aparecimento de patologias a ela associadas. A manutenção de estruturas de concreto por conta de sua permeabilidade exige investimento frequente e de grande monta. Neste contexto surgiram os aditivos cristalizantes que, integrados à massa de concreto ainda fresco, visam o aumento de sua durabilidade por meio da redução da sua permeabilidade através da vedação de fissuras quando da presença de água, promovendo uma espécie de “cicatrização” do concreto. Diante do uso recente do produto, ainda não normatizado no Brasil, há carência de estudos, no país, a este respeito. Desta forma, este trabalho tem como objetivo estudar o comportamento de um aditivo cristalizante com teores diferentes, em concretos com traços distintos, bem como sua influência sobre as propriedades do concreto no estado fresco. Foram estudados concretos com duas resistências nominais e três teores de aditivo cristalizante, para os quais determinou-se a consistência e a massa específica no estado fresco, já no estado endurecido, determinou-se a resistência à compressão e o módulo de elasticidade. O desempenho do produto foi observado por meio de medidas de velocidade de propagação de pulso ultrassônico ao longo do tempo. Os resultados mostraram que é possível utilizar esta técnica para evidenciar o efeito do cristalizante. Além disso, a presença do cristalizante não influenciou a resistência à compressão, porém teve influência sobre o módulo de elasticidade. Por fim, foi possível observar a importância de não se extrapolar a dosagem máxima recomendada pelo fabricante, sob pena de prejuízo significativo na resistência à compressão.

Palavras-Chave: Concreto, Aditivo cristalizante, Aditivos para concreto, Impermeabilização, Cristalização integral.

¹ Acadêmica do curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Santa Catarina. jessica.ss02@aluno.ifsc.edu.br.

1. INTRODUÇÃO

A permanente preocupação com a qualidade e a durabilidade das estruturas de concreto, considerando os altos custos envolvidos nas fases construtivas e de manutenção, torna obrigatória a adoção de medidas que visem aumentar cada vez mais a vida útil das estruturas, proporcionando sua utilização dentro dos padrões de segurança e funcionalidade (TAKAGI; JÚNIOR; OLIVEIRA, 2004).

No Brasil, por exemplo, há relatos de que nas cidades históricas, existem igrejas e pontes em perfeito estado de conservação, nas quais a argamassa de assentamento das pedras foi aditivada com óleo de baleia, utilizado como plastificante, visando a obtenção de estruturas menos permeáveis. (VEDACIT®, 2010). Através desta óptica, a incidência de manifestações patológicas relacionadas a umidade que ocorre nas edificações é relativamente alta quando comparada a outros tipos de manifestações, tais como trincas, descolamentos de revestimentos e outros. Em pesquisas realizadas no Brasil, constatou-se que aproximadamente 50% das patologias que ocorrem em edificações são decorrentes da ação da umidade. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA, 1990).

Ainda, segundo Pironi (1988), a água, apesar de ser o mais puro e imprescindível componente para a vida, passa a ser um dos meios mais graves de degradação das estruturas. Em decorrência disso, o autor alerta para que seja pensada de maneira correta, a melhor forma para proteger toda parte exposta da edificação que esteja sujeita a intemperismo. Na mesma linha de raciocínio, Lima (2012) descreve que, caso essas proteções não sejam adequadamente previstas, ou sejam executadas de forma incorreta, a camada que deveria ser estanque acaba se degradando com o tempo, expondo os componentes da construção a agentes agressivos, reduzindo a sua vida útil. Desta forma, é necessária a intervenção prematura com manutenções que contribuem para elevar o custo total da construção.

Levando-se em conta as diversas patologias pela penetração de água na estrutura, Gonçalves (2015) relata que a corrosão das armaduras é um importante fator na perda de capacidade das estruturas de concreto armado em desempenhar corretamente suas funções de projeto. Os produtos gerados na corrosão da

armadura do concreto apresentam ação expansiva de até 8 vezes, gerando tensões não projetadas e podendo até causar o desprendimento do concreto responsável pelo cobrimento da armadura.

Outro fator associado a esse problema está relacionado com a discrepância de valores gastos no aspecto comparativo da manutenção preventiva com a da manutenção corretiva. Identifica-se que os reparos realizados para corrigir os problemas gerados pela falta ou falha da impermeabilização são onerosos, tendo em vista que incorrem na necessidade de remoção e, em muitas ocasiões, as perdas dos revestimentos para realizar a aplicação de um novo sistema de impermeabilização, promovendo ainda, quando necessário, posterior aplicação de uma nova camada de revestimento (LIMA, 2012).

Uma análise do histórico de casos fornecida pelo projeto CONREP-NET, relatado por Tilly & Jacobs (2007), mostrou que 50% das estruturas de concreto reparadas falharam mais uma vez, 25% dos quais nos primeiros 5 anos, 75% em 10 anos e 95% em 25 anos. Este é apenas um exemplo da necessidade urgente de um profundo repensar do conceito e dos processos de projeto para estruturas, novas e recuperadas, de concreto armado em ambientes agressivos, tendo em vista as demandas de custo-efetividade (Borg et al., 2017).

Em decorrência das fissuras e rachaduras, torna-se imperativo realizar manutenções e/ou reparos, os quais, em alguns casos, são prematuros, em outros casos a gravidade ou a deterioração é tal que a recuperação é inviável economicamente e faz-se necessária a demolição (Irrigaray e César, 2019).

Neste contexto, o concreto auto cicatrizante é um material relativamente novo no mercado. Começou a ser estudado em 2005 pelo comitê técnico 221-SHC da RILEM (União Internacional de Ensaios e Laboratórios de Pesquisa de Materiais e Estruturas), e seis anos depois, em 2011, a ideia de pesquisa sobre o material chegou ao Brasil. (CONCRETE SHOW, 2022). Segundo a American Concrete Institute (2010), pode-se classificar os aditivos redutores de permeabilidade em três famílias de químicos: materiais hidrofóbicos; sólidos finamente divididos, e materiais cristalizantes. Em especial, os materiais cristalizantes consistem em químicos ativos, compostos de cimento e areia.

Ao contrário dos outros produtos impermeabilizantes, que formam barreiras físicas através de membranas ou películas superficiais, o tratamento químico cristalizante é substancialmente diferente, pois se torna parte integrante do

concreto, devendo ser aplicado diretamente ao concreto, não necessitando de regularização da superfície ou proteção mecânica para a aplicação. (TAKAGI; JÚNIOR; OLIVEIRA, 2004)

Ainda segundo Takagi, Júnior e Oliveira (2004), o tratamento químico cristalizante, tem por objetivos impermeabilizar, proteger e aumentar a durabilidade de novos concretos, como também recuperar e reabilitar estruturas de concreto existentes. Os ingredientes ativos do tratamento químico cristalizante causam reações catalíticas que geram formações cristalinas dentro dos poros e capilares do concreto. A química envolvida é totalmente compatível com as reações do concreto. Em relatório técnico emitido pela American Concrete Institute (2010), aponta-se que as misturas cristalinas, ao contrário de materiais hidrofóbicos, demonstram hidrofília, onde os ingredientes ativos reagem com a água e partículas de cimento no concreto. Esse processo conduz à formação de hidratos de silicato de cálcio e/ou precipitados que bloqueiam os poros nas microfissuras e capilares existentes. O mecanismo envolvido é análogo à geração de hidratos de silicato de cálcio, e os depósitos cristalinos resultantes se integram de maneira abrangente à pasta de cimento hidratada. O resultado final é um concreto com resistência significativamente ampliada à penetração de água sob pressão. Uma representação resumida do processo global pode ser expressa pela seguinte equação química:



O custo da impermeabilização na construção civil, segundo Porcello (1998), citado por Moraes (2002), gira em torno de 1% a 3% do custo total da obra, entretanto esse valor pode variar entre 5% e 10%, quando a impermeabilização não atender a seu objetivo, apresentando defeitos. Estes valores são reforçados pelo estudo de caso de Vieira (2018), onde foi relatado o dano significativo a uma residência de dois andares em Ilícinea, MG, construída em 2011 com tijolo maciço. A falta de impermeabilização e manutenção resultou na necessidade de recuperação e (re)impermeabilização do imóvel. O custo da recuperação, que incluiu demolições e substituição de revestimentos, foi de quase R\$20.000. Este valor é muitas vezes

² Descritivo da fórmula apresentada: (silicato de cálcio + promotor cristalino + água → hidrato de silicato de cálcio modificado + precipitado bloqueador de poros)

superior ao investimento inicial de pouco mais de 200 reais (1%) em impermeabilizantes, evidenciando o alto custo da negligência nestes casos.

Em lajes de subpressão o uso do aditivo de cristalização para a obtenção de um concreto que estanque a água precisará que toda a estrutura seja mais robusta, com aumento na espessura da parede e maior consumo de armaduras, o que resulta em um custo maior de implantação. “No entanto, o investimento inicial é diluído em um período que varia de três a cinco anos, devido à ausência de gastos com energia elétrica e manutenções, entre outros fatores”. (Cortopassi, 2016)

É importante destacar, que a tecnologia do tratamento químico cristalizante está disponível em várias formas, podendo ser introduzidos em concretos pré-fabricados ou moldados *in loco* durante a dosagem do concreto, aplicados por aspersão em concretos frescos de pisos e lajes, e aplicações por pintura como revestimento de concretos existentes, inclusive concretos com baixas idades. O sistema de tratamento químico cristalizante é complementado com argamassas para reparos e tamponamentos formulados para recuperar concretos com defeitos e danificados. (TAKAGI; JÚNIOR; OLIVEIRA, 2004)

Em seu trabalho, Verçozza (1987) assegura que as impermeabilizações executadas por meio de adições no concreto são melhores em comparação com membranas quando se refere a questão de manutenção e durabilidade do sistema de impermeabilização. Visto que, as impermeabilizações com adições são perenes já que estas estarão incorporadas ao concreto, e não serão comprometidas enquanto a estrutura não sofrer danos. Em contrapartida, as membranas necessitam de manutenções ao longo dos anos, pois podem apresentar problemas de envelhecimento conforme as condições as quais estarão submetidas e ao tipo de proteção que obtém.

Por fim, destaca-se que, atualmente, o concreto autocicatrizante, com uso de aditivo cristalizante, tem sido utilizado em todos os tipos de estruturas, seja em concretagem de fundações de casa até grandes estruturas industriais como método de proteção e para aumento de vida útil estrutural. (CONCRETE SHOW, 2022).

1.1 OBJETIVOS

Diante do exposto, e buscando contribuir com o melhor conhecimento do funcionamento dos aditivos cristalizantes, este trabalho tem como objetivo geral avaliar o desempenho do aditivo cristalizante, bem como sua influência sobre as propriedades de diferentes concretos.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- a) Avaliar o efeito do emprego de aditivo cristalizante na porosidade do concreto por meio da velocidade de propagação de onda de ultrassom;
- b) Analisar a influência da relação água/cimento no desempenho do aditivo cristalizante;
- c) Determinar o efeito do teor de aditivo cristalizante no seu desempenho e nas propriedades do concreto;

2. MATERIAIS E MÉTODO

Para alcançar os objetivos propostos, foram confeccionados dois concretos com diferentes traços, para gerar concretos com resistências de 30 MPa e 50 MPa. Para cada uma das resistências, foram estudados concretos com as seguintes dosagens de aditivo cristalizante: 0%, como referência, 1,0% e 2% para o concreto com 30 MPa e 0%, como referência e 1,0% para o concreto com resistência estimada de 50 MPa, sendo estes teores em relação à massa de cimento. Vale ressaltar que o teor de 2% de aditivo cristalizante é superior ao limite indicado pelo fabricante, porém foi investigado para verificar a influência de superdosagens nas propriedades do concreto e na possível potencialização do efeito do aditivo, no concreto de 30 MPa. Na Figura 01, apresenta-se um fluxograma com as variações da dosagem dos concretos. Considerando as variáveis citadas, foram estudados 5 concretos diferentes.

Figura 01 – Matriz do estudo.

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

O concreto foi produzido e fornecido por uma concreteira local, utilizando traços padrões, apresentados na Tabela 1, para as resistências esperadas de 30 MPa e 50 MPa, sendo ambos compostos por: cimento Portland CP II-F 40, areia fina, areia grossa, brita 0, brita 1 e aditivo plastificante. Já o aditivo cristalizante foi fornecido por uma empresa de impermeabilização parceira.

Tabela 1 – Quantidades de materiais para produção de 1m³ de concreto para as duas resistências nominais estudadas.

Traço Padrão 30MPa			Traço Padrão 50MPa		
Constituintes	Materiais secos (kg/m ³)	Traço unitário (em massa)	Constituintes	Materiais secos (kg/m ³)	Traço unitário (em massa)
Cimento	325	Kg/m ³	Cimento	450	Kg/m ³
Areia 1	396	Kg/m ³	Areia 1	338	Kg/m ³
Areia 2	396	Kg/m ³	Areia 2	338	Kg/m ³
Brita 0	106	Kg/m ³	Brita 0	105	Kg/m ³
Brita 1	953	Kg/m ³	Brita 1	947	Kg/m ³
Água	195	Kg/m ³	Água	200	Kg/m ³
Aditivo de linha	3,25	Kg/m ³	Aditivo de linha	4,95	Kg/m ³

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Para cada traço de concreto, imediatamente após a sua produção, foi realizada a determinação da sua consistência, conforme NBR 16.889/2020, bem como a determinação da massa específica, no estado fresco.

Para a avaliação no estado endurecido, para cada concreto foram moldados 10 corpos de prova cilíndricos com diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm, de acordo com os procedimentos descritos na NBR 5.738/2015.

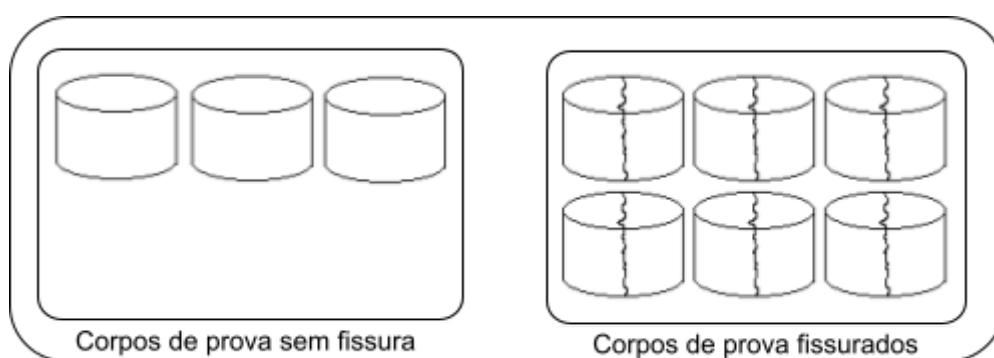
Após 18 dias, foram selecionados 20 dos 50 corpos de prova moldados, sendo 4 de cada um dos concretos estudados, para ensaios de resistência à compressão e módulo de elasticidade, realizados de acordo com as normas NBR 5739/2018 e NBR 8522-1/2021, respectivamente. Os outros 30 corpos de prova, 6 de cada concreto, foram encaminhados à marmoraria, onde foram cuidadosamente

cortados em três partes, cada uma com aproximadamente 5 cm. Durante esse processo, foi observado o cuidado em remover as porções superior e inferior, visando manter as faces o mais planas possível. Esse procedimento resultou em 90 amostras.

Das 90 amostras, 15 foram preservadas integralmente, sendo 3 de cada concreto, enquanto as demais foram submetidas a um processo de fissuração por tração por compressão diametral, realizado aos 35 dias de idade. Após esse procedimento, foram selecionadas apenas 30 amostras de um total de 75 restantes, sendo 6 de cada concreto, que apresentavam fissuras uniformes, com dimensões entre 0,05 mm e 0,2 mm, garantindo a consistência e qualidade desejadas para as análises subsequentes.

As 30 amostras resultantes, medindo 10 cm de diâmetro por 5 cm de espessura, fissurados ou não, foram mantidos em cura imersa em água saturada de cal durante todo o período de realização de ensaios de verificação do efeito do aditivo cristalizante. Ao todo, para cada concreto, foram utilizados 3 corpos de prova íntegros e 6 corpos de prova fissurados, conforme ilustrado na Figura 02. Vale ressaltar que foram estudados 5 concretos distintos, totalizando 45 corpos de prova.

Figura 02 – Método de avaliação da auto cicatrização.



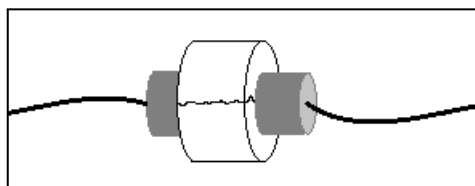
Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Os ensaios para verificação do efeito do aditivo cristalizante basearam-se em leituras de velocidade de propagação de pulso ultrassônico, utilizando-se do equipamento Pundit Lab, da marca Proceq, utilizando-se de transdutores de 5 cm de diâmetro e frequências de 54 kHz. Inicialmente as leituras foram realizadas somente no sentido da espessura das amostras, de forma que os transdutores foram posicionados sobre a fissura, conforme Figura 03, tendo sido realizadas no total 7

leituras neste formato. Ao observar que os resultados que vinham sendo obtidos não estavam tendo uma variação muito grande, deu-se início as leituras no sentido do diâmetro, perpendicular à fissura para os corpos de prova fissurados, conforme Figura 04. Foram realizadas no total 3 leituras neste formato.

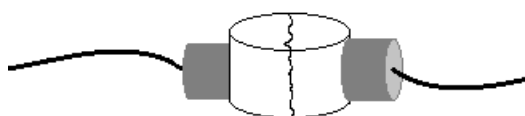
Para os corpos de prova fissurados, foi feita leitura de velocidade de onda de ultrassom antes e depois da fissuração na mesma data ou com 1 dia de diferença.

Figura 03 – Método de leitura com onda através da espessura.



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Figura 04 - Método de leitura com onda através do diâmetro.



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

A escolha pelo monitoramento dos concretos para verificação do desempenho do aditivo cristalizante por meio da velocidade de propagação de pulso ultrassônico, em corpos de prova cilíndricos com diâmetro de 10cm e espessura de 5cm, foi baseada nos estudos de San Martin (2021). Em seu trabalho, a autora indicou a cura imersa como sendo a mais eficaz para potencialização do funcionamento do aditivo cristalizante.

3. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

3.1. PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO

Na Tabela 02, são apresentados os resultados de abatimento do tronco de cone (*slump test*) e de massa específica para os cinco concretos estudados, bem como as relações água/cimento utilizadas. Observou-se que, para o traço de 30

MPa, ao ser adicionado 1% de aditivo cristalizante, houve aumento da consistência do concreto. No entanto, com a adição de 2% de aditivo cristalizante, notou-se uma ação plastificante significativa e, visando evitar a segregação do concreto, foi necessária a redução da quantidade de água utilizada, resultando em redução da relação água/cimento. Mesmo assim, este concreto mostrou-se mais fluido que o de referência. Essa informação pode ser verificada através do *slump test*, que para o concreto 30 MPa sem aditivo resultou em 14 cm, para o 30 MPa com 1% resultou em 9,5 cm e já o de 30 MPa 2% foi registrado 17 cm mesmo com a diminuição da quantidade de água adicionada à mistura.

Para o concreto de 50 MPa houve poucas alterações no estado fresco, ficando o concreto referência com *slump* de 12 cm enquanto o com adição de 1% de aditivo cristalizante foi necessário diminuir a quantidade de água da mistura para chegar a um *slump* de 8 cm. Uma observação é que após o primeiro *slump* foi adicionado mais 150 mL de água à mistura, porém o *slump* manteve-se igual, desta forma foi dado continuidade a moldagem dos corpos de prova.

Ainda na Tabela 02, constam os resultados de massa específica no estado fresco. Observa-se que, para os concretos de resistência nominal de 50 MPa, as massas específicas permaneceram muito próximas comparando o concreto com aditivo e sem aditivo. Já os concretos de resistência nominal 30 MPa apresentaram valores ligeiramente distintos para os três teores de aditivo, sendo os de 0% de aditivo cristalizante mais próximos dos contendo 2% e os concretos com 1% de aditivo apresentaram valores ligeiramente superiores.

Tabela 02 - Resultados de abatimento do tronco de cone e de massa específica no estado fresco para os concretos estudados.

Tipo de Concreto		Fator A/C	Cilindro	Massa Específica (Kg/m ³)	Abatimento Tronco de Cone - <i>Slump Test</i> (cm)
30 MPa	Sem Aditivo	0,60	1	2350,32	14
	Sem Aditivo		2	2346,50	
30 MPa	1% de Aditivo	0,60	1	2383,44	9,5
	1% de Aditivo		2	2382,17	
30 MPa	2% de Aditivo	0,58	1	2326,11	17
	2% de Aditivo		2	2351,59	
50 MPa	Sem Aditivo	0,42	1	2396,18	12
	Sem Aditivo		2	2392,36	
50 MPa	1% de Aditivo	0,40	1	2392,36	8
	1% de Aditivo		2	2397,45	

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

3.2. PROPRIEDADES NO ESTADO ENDURECIDO

Na Tabela 03 são apresentados os resultados de resistência à compressão e módulo de elasticidade para os concretos estudados.

Tabela 03 - Resistência à compressão e módulo de elasticidade dos concretos estudados aos 28 dias.

Amostras	Módulo de Elasticidade (MPa)	Resistência à Compressão (MPa)	
		Valor médio	Desvio Padrão
30MPa Sem Aditivo - Fator A/C 0,6	29030,02	46,51	2,87
30MPa 1% Aditivo - Fator A/C 0,6	32350,00	46,99	2,31
30MPa 2% Aditivo - Fator A/C 0,58	31800,00	38,70	1,99
50MPa Sem Aditivo - Fator A/C 0,42	32750,00	57,86	10,32
50MPa 1% Aditivo - Fator A/C 0,4	39100,00	57,16	5,13

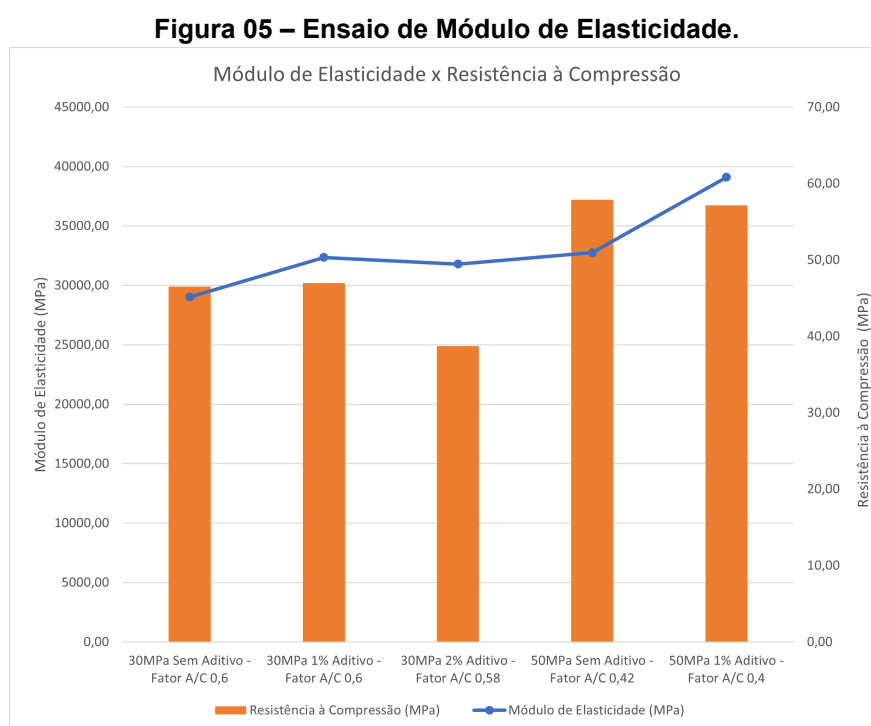
Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Pode-se observar que a presença do aditivo cristalizante ao concreto de resistência nominal 30 MPa não afeta sua resistência, no teor de 1% de aditivo cristalizante, que está dentro do teor de aditivo indicado pelo fabricante. Enquanto isso a “superdosagem” de 2% causou uma redução de 16,8% na resistência em comparação ao concreto referência, mesmo com a redução da relação água/cimento. Para o concreto 50 MPa com 1% de aditivo, pode-se dizer que não houve alteração significativa de resistência à compressão.

No que diz respeito ao módulo de elasticidade, observa-se aumento com a presença do aditivo cristalizante. Para os concretos de resistência nominal de 30 MPa ocorre o aumento mesmo havendo constância na resistência, para a dosagem de 1% de aditivo, e queda da resistência para a dosagem de 2%. Já para os concretos de resistência nominal de 50 MPa o aumento observado no módulo de elasticidade quando do uso do aditivo cristalizante foi mais pronunciado.

Na Figura 05, apresenta-se um gráfico com os resultados de resistência à compressão e módulo de elasticidade para cada concreto estudado. Pode-se observar que, para os concretos sem aditivo houve aumento do módulo de

elasticidade com a resistência. O mesmo comportamento acontece para os concretos contendo 1% de aditivo cristalizante. Para o concreto com 2% de aditivo cristalizante, apesar da redução de resistência em relação aos concretos de mesma resistência nominal, houve aumento do módulo de elasticidade em relação ao concreto sem aditivo e resultado semelhante ao do concreto contendo 1% de aditivo cristalizante.



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

3.3. ENSAIO DE PROPAGAÇÃO DE PULSO ULTRASSÔNICO

As medidas de velocidade de propagação de onda ultrassônica para cada uma das idades e para as duas direções de medição para corpos de prova fissurados e não fissurados, podem ser observadas nas tabelas 04 a 07. Os valores apresentados referem-se à média de resultados de seis corpos de prova fissurados ou a três corpos de prova não fissurados.

No contexto dessa análise, tem-se que a velocidade de propagação da onda pode ser definida como sendo a relação entre a distância percorrida por ela e o tempo despendido. Essa velocidade cresce em função do acréscimo da densidade

do meio em que ela se propaga. A resistência à compressão do concreto também cresce diretamente proporcional a sua densidade, ou seja, concretos mais densos tendem a ter resistência à compressão maiores que concretos menos densos.

Tabela 04 – Análise dos dados ensaio de propagação de onda ultrassônica através do diâmetro – CPs com fissura.

Amostras	Velocidade Média (cm/ μ s)	Tempo de moldagem (dias)	Desvio Padrão
30MPa Sem Aditivo	4,77	73	0,870
	4,86	80	0,150
	4,66	87	0,320
30MPa 1% Aditivo	5,02	73	0,120
	5,17	80	0,110
	5,16	87	0,140
30MPa 2% Aditivo	5,08	73	0,070
	5,13	80	0,070
	5,15	87	0,070
50MPa Sem Aditivo	5,13	73	0,090
	5,25	80	0,120
	5,28	87	0,140
50MPa 1% Aditivo	5,23	73	0,100
	5,32	80	0,070
	5,33	87	0,090

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Tabela 05 – Análise dos dados ensaio de propagação de onda ultrassônica através do diâmetro – CPs sem fissura.

Amostras	Velocidade Média (cm/ μ s)	Tempo de moldagem (dias)	Desvio Padrão
30MPa Sem Aditivo	4,88	73	0,170
	5,16	80	0,010
	5,21	87	0,080
30MPa 1% Aditivo	5,31	73	0,090
	5,39	80	0,080
	5,35	87	0,060
30MPa 2% Aditivo	5,25	73	0,070
	5,34	80	0,010
	5,34	87	0,010
50MPa Sem Aditivo	5,25	73	0,190
	5,35	80	0,030
	5,36	87	0,070
50MPa 1% Aditivo	5,36	73	0,090
	5,38	80	0,100
	5,44	87	0,020

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Tabela 06 – Análise dos dados ensaio de propagação de onda ultrassônica através da espessura – CPs com fissura.

Amostras	Velocidade Média (cm/ μ s)	Tempo de moldagem (dias)	Desvio Padrão
30MPa Sem Aditivo	0,55	31	0,009
	0,57	52	0,013
	0,55	52	0,016
	0,53	59	0,011
	0,53	73	0,019
	0,53	80	0,044
30MPa 1% Aditivo	0,59	31	0,014
	0,54	52	0,011
	0,55	52	0,013
	0,54	59	0,006
	0,56	73	0,016
	0,57	80	0,018
30MPa 2% Aditivo	0,57	87	0,030
	0,62	31	0,045
	0,56	52	0,037
	0,59	52	0,036
	0,57	59	0,039
	0,59	73	0,049
50MPa Sem Aditivo	0,60	80	0,052
	0,60	87	0,044
	0,60	31	0,020
	0,55	52	0,020
	0,57	52	0,017
	0,55	59	0,015
50MPa 1% Aditivo	0,58	73	0,010
	0,59	80	0,016
	0,58	87	0,016
	0,56	31	0,036
	0,51	52	0,028
	0,51	52	0,032
50MPa 1% Aditivo	0,51	59	0,028
	0,55	73	0,031
	0,56	80	0,029
	0,55	87	0,038

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Tabela 07 – Análise dos dados de ensaio de propagação de onda ultrassônica através da espessura – CPs sem fissura.

Amostras	Velocidade Média (cm/ μ s)	Tempo de moldagem (dias)	Desvio Padrão
30MPa Sem Aditivo	0,56	31	0,005
	0,56	52	0,003
	0,54	59	0,010
	0,53	73	0,003
	0,54	80	0,005
30MPa 1% Aditivo	0,59	31	0,016
	0,54	52	0,014
	0,54	52	0,014
	0,56	59	0,017
	0,57	73	0,016
30MPa 2% Aditivo	0,57	80	0,016
	0,64	31	0,020
	0,59	52	0,001
	0,60	52	0,001
	0,63	59	0,002
50MPa Sem Aditivo	0,63	73	0,001
	0,63	80	0,002
	0,64	31	0,050
	0,58	52	0,046
	0,59	52	0,046
50MPa 1% Aditivo	0,61	59	0,045
	0,61	73	0,045
	0,61	80	0,044
	0,53	31	0,011
	0,48	52	0,004
50MPa 1% Aditivo	0,49	52	0,005
	0,51	59	0,006
	0,51	73	0,003
	0,51	80	0,002

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

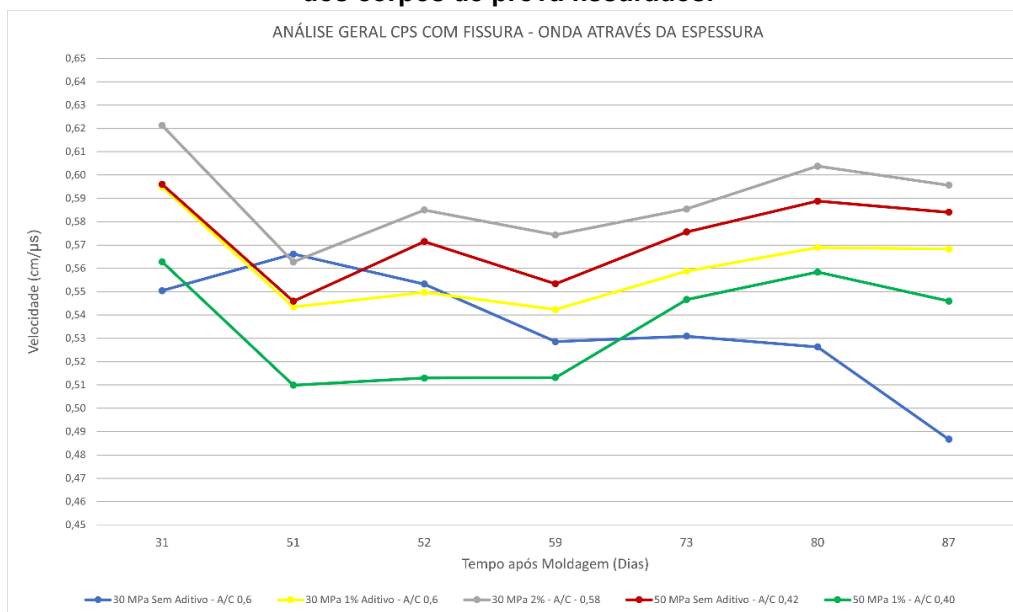
Nas Tabelas 04 a 07, pode-se observar os valores médios de velocidade de propagação de ondas ultrassônicas e o desvio padrão destes dados. De acordo com estas informações, os coeficientes de variação observados ficaram na ordem de 8% ou menor, indicando baixa variabilidade de resultados para medidas em corpos de prova fissurados e não fissurados, bem como para as duas direções de medição.

Nas Figuras 06 e 07, apresentam-se gráficos relativos à evolução da propagação de onda ultrassônica através dos corpos de prova na direção de sua espessura. Observa-se redução das velocidades de propagação de onda de ultrassom da primeira para a segunda medida para todos os concretos, fissurados ou não, com exceção do 30 MPa sem aditivo que apresentou comportamento distinto. A causa desta redução poderia ser atribuída à fissuração dos corpos de prova posteriormente à primeira leitura. No entanto, esta justificativa não serviria

para os corpos de prova não fissurados e, portanto, não se conseguiu identificar o motivo desta redução, já que os corpos de prova permaneceram saturados durante todo o período e que ao longo do tempo espera-se aumento de resistência com consequente redução da quantidade de vazios e, portanto, esperava-se aumento da velocidade de propagação da onda. A partir da segunda data de medição, nota-se aumento da velocidade de propagação de pulso ultrassônico para todos os concretos independente de fissurados ou não. Da mesma forma, sem justificativa encontrada e contrário ao esperado, o comportamento foi contrário para o concreto de 30 MPa sem aditivo.

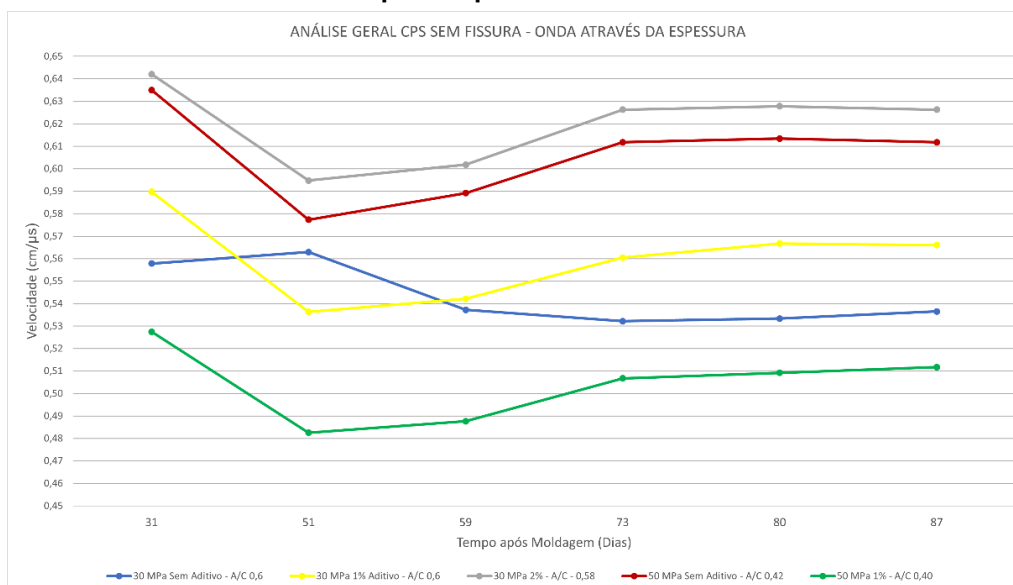
Ainda, com respeito às medidas realizadas com a propagação de onda ao longo da espessura dos corpos de prova, para os concretos de 30 MPa, observou-se aumento da velocidade com o aumento do teor de aditivo cristalizante, apesar deste concreto apresentar menor resistência à compressão aos 28 dias. Este comportamento seria um indicativo de redução dos poros e microfissuras pela presença do cristalizante, com efeito diretamente proporcional ao teor do produto. Vale ressaltar, apesar disso, que o uso de teor de aditivo de 2%, acima do limite especificado pelo fabricante implicou em queda significativa de resistência e, portanto, não deve ser utilizado em situações práticas. Para os concretos de resistência nominal 50 MPa, observou-se comportamento distinto, com velocidades de propagação de onda inferiores quando do uso do aditivo, o que não era esperado.

Figura 06 - Análise da leitura com onda se propagando através da espessura dos corpos de prova fissurados.



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Figura 07 - Análise da leitura com onda se propagando através da espessura dos corpos de prova não fissurados.

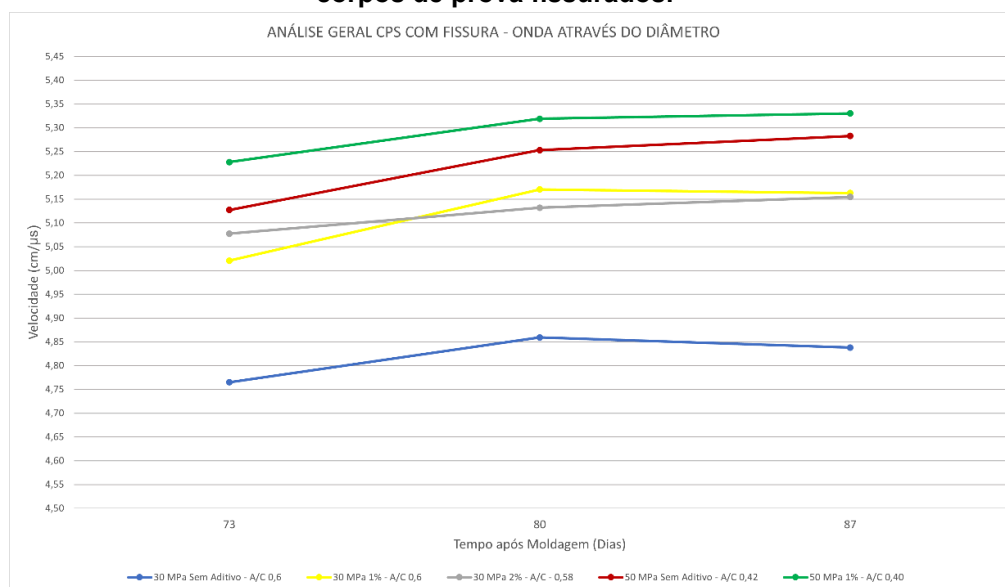


Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Nas Figuras 08 e 09, são apresentados gráficos de evolução da propagação de onda ultrassônica através dos corpos de prova na direção de seu diâmetro. Pode-se observar que conforme esperado os valores de velocidade de propagação da onda são maiores para os concretos de maior resistência nominal tanto para 1% de aditivo cristalizante quanto para os concretos sem aditivo, o que era esperado, já que concretos mais resistentes têm porosidade mais baixa e, portanto, a onda se

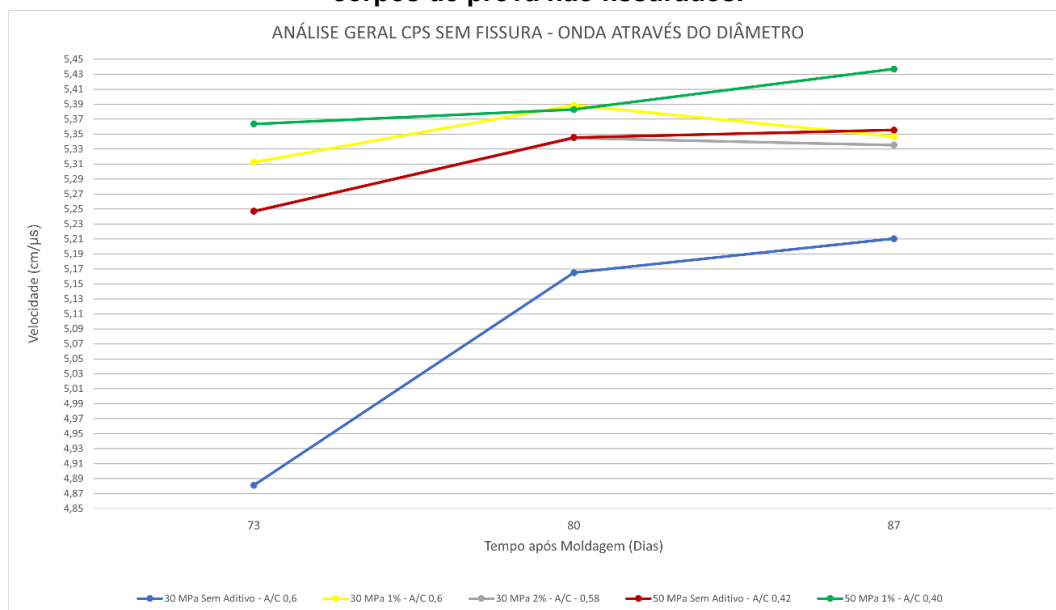
propaga em maior velocidade. Para o caso dos concretos fissurados de resistência nominal 30 MPa houve aumento das velocidades com a presença do aditivo cristalizante, no entanto, não foi possível diferenciar os concretos com os diferentes teores do produto. Este comportamento aponta para que apesar da resistência significativamente menor, aparentemente, pode ter havido fechamento de poros e microfissuras a ponto de compensar a velocidade de propagação de onda do concreto com 2% de aditivo tornando-os parecido ao concreto com 1% de cristalizante, com relação a esta propriedade. O mesmo comportamento foi observado para os concretos de resistência nominal de 50 MPa quando a presença do aditivo cristalizante resultou em aumento da velocidade de propagação de onda.

Figura 08 - Análise da leitura com onda se propagando através do diâmetro dos corpos de prova fissurados.



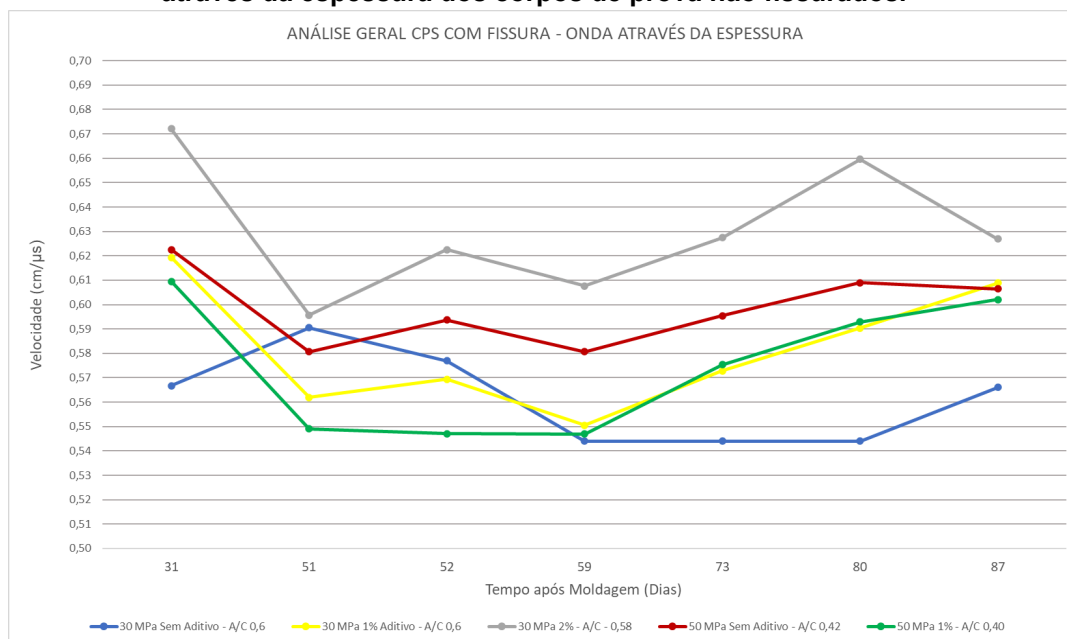
Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Figura 09 - Análise da leitura com onda se propagando através do diâmetro de corpos de prova não fissurados.



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Figura 10 - Análise da leitura com onda em velocidade máxima se propagando através da espessura dos corpos de prova não fissurados.



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Observando o gráfico da Figura 09, para concretos não fissurados com medida da velocidade de propagação de onda realizada através do diâmetro do corpo de prova, percebe-se comportamento análogo ao das medidas realizadas na mesma direção e com os corpos de prova fissurados, sendo a única exceção a redução das velocidades de propagação de onda para o concreto de 30 MPa com

2% de aditivo cristalizante que mostraram-se inferiores às do concreto de mesma resistência com 1% de aditivo, porém superiores às do concreto de mesma resistência sem aditivo. Ao analisar a Figura 10, é evidente que o concreto de 30 MPa com 1% de aditivo e o de 50 MPa com 1% de aditivo apresentaram comportamentos semelhantes após 59 dias de moldagem. Observou-se ainda, que o concreto de 30 MPa sem aditivo manifestou comportamento distinto após 59 dias, mantendo-se constante até 80 dias e apresentando um aumento na velocidade após esse período.

De maneira geral, por meio dos gráficos das Figuras 06 a 10, pode-se observar aumento da velocidade de propagação de onda de ultrassom, o que é resultado de redução de quantidade de vazios, seja pela progressiva hidratação do cimento, ou pelo efeito cicatrizante do aditivo ou pela ação combinada dos dois fenômenos.

4. CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos neste trabalho, foi possível identificar que as medidas de velocidade de propagação de pulso ultrassônico parecem ter sido eficientes em diagnosticar a presença do aditivo cristalizante. Foram observadas baixas variabilidades para as medidas e, de certa forma, os resultados foram coerentes com o esperado, considerando-se o modo de funcionamento do aditivo.

De forma geral, considerando as medidas de velocidade de pulso ultrassônico, os concretos contendo aditivo apresentaram valores superiores de velocidade de propagação de pulso ultrassônico, indicando fechamento de poros e/ou microfissuras. Este comportamento foi observado para ambas as resistências nominais estudadas, comparando-se os concretos sem aditivo cristalizante com aqueles contendo 1% do aditivo. Foi possível observar que a extrapolação do teor de aditivo cristalizante para além do limite estabelecido pelo fabricante, caso do concreto contendo 2% de cristalizante, não gerou incremento de desempenho do aditivo, já que as velocidades de propagação de pulso ultrassônico ficaram próximas ou até inferiores às do concreto com 1% de aditivo cristalizante.

Pelos dados de velocidade de propagação de pulso ultrassônico, aparentemente a fissuração dos corpos de prova não permitiu evidenciar de forma

mais pronunciada o efeito do aditivo cristalizante. Assim, aparentemente, não se justifica a necessidade de fissuração forçada dos corpos de prova para estudo do desempenho e do comportamento de aditivos cristalizantes. Esta constatação é reforçada quando se considera a quantidade de corpos de prova necessários para obtenção de exemplares com fissuras adequadas ao funcionamento do aditivo cristalizante, o serviço adicional de fissuração e a necessidade de manutenção da integridade do corpo de prova após a fissuração para a realização das medidas.

Com relação à direção de medição da velocidade de propagação do pulso ultrassônico, deve-se citar que as medidas na direção do diâmetro do corpo de prova, embora com baixos coeficientes de variação, podem sofrer influência do não contato de todo o transdutor no corpo de prova. Por outro lado, a espessura do corpo de prova também pode ser fator de influência nas medidas, valendo a sugestão de novos estudos relativos a este parâmetro.

Com relação à influência da presença do aditivo cristalizante nas propriedades do concreto, vale ressaltar que não houve influência significativa sobre a resistência à compressão do concreto quando observado o teor máximo indicado pelo fabricante. Porém, a extrapolação deste teor resultou em queda significativa de resistência, e, portanto, esta prática deve ser evitada. Houve aumento do módulo de elasticidade do concreto quando do uso do aditivo cristalizante, apesar da manutenção de sua resistência no caso do teor de aditivo de 1%. Este comportamento do estado endurecido foi o mesmo, independente da resistência nominal do concreto. Já para o estado fresco, não foi possível evidenciar comportamento padrão quanto à influência sobre a consistência do concreto, tampouco sobre a sua massa específica já que foram observadas tendências distintas para as diferentes resistências nominais. O aumento de abatimento do tronco de cone para o concreto contendo cristalizante com maior resistência nominal pode ter sido causada por maior quantidade de aditivo para o mesmo volume de concreto, já que seu teor é relacionado à massa de cimento.

Por fim, ressalta-se que foram evidenciadas novas frentes de estudo para melhor compreensão do desempenho do aditivo cristalizante e de sua influência sobre as propriedades do concreto, quais sejam: estudar o comportamento do aditivo cristalizante frente a diferentes tipos de cimento, estudar concretos com aditivo cristalizante com monitoramento por mais tempo do que foi possível neste estudo e a realização de estudos que possam medir a alteração da rede porosa ou

das microfissuras pela presença do aditivo cristalizante como é o caso do uso de tomografia.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE USE OF CRYSTALLIZING ADDITIVE ON CONCRETE PROPERTIES

ABSTRACT

The permeability of concrete has been a matter of concern due to the increasing emergence of associated pathologies. Maintaining concrete structures requires frequent and substantial investment due to their permeability aspects. In this context, crystalline additives have emerged, which, when integrated into the fresh concrete mix, aim to increase its durability by reducing permeability through sealing cracks in the presence of water, promoting some "healing" of the concrete. Given the recent use of such a product, which still needs to be standardized in Brazil, more studies should be conducted on this matter.

Therefore, this work aims to study the behavior of a crystalline additive with different proportions in concrete with distinct features, as well as its influence on the properties of the concrete in the fresh state. Concretes with two nominal resistances and three levels of crystalline additive were studied, for which were determined: the nominal resistances, modulus of elasticity, consistency, and specific mass in the fresh state. The product's performance was observed through ultrasonic pulse propagation velocity measurements over time.

The results showed that it is possible to use this technique to highlight the effect of the crystalline additive. Moreover, the presence of the additive did not influence the compressive resistance but impacted the modulus of elasticity. Finally, it was possible to observe the importance of staying within the maximum dosage recommended by the manufacturer, as this could lead to a significant loss of resistance.

Keywords: concrete, crystallizing additive, concrete properties, concrete additives, integral crystallization waterproofing.

REFERÊNCIAS

ACI 212.3R-10. American Concrete Institute - **Report on Chemical Admixtures**. Farmington Hills: Copyright by the American Concrete Institute, 2010. Cap. 15.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA. **Manual técnico de alvenaria**. São Paulo: ABCP, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **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 8522-1**: Concreto Endurecido - Determinação dos módulos de elasticidade e deformação - Parte 1: Módulos estáticos à compressão. Rio de Janeiro, 2021.

_____. **NBR NBR 9779**: Argamassa e concreto endurecidos - determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 2012.

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

Azarsa, Gupta e Biparva (2018) - AZARSA, P.; GUPTA, R.; BIPARVA, A. **Crystalline Waterproofing Admixtures Effects on Self-healing and Permeability of concrete**. In: 1st International Conference on New Horizons in Green Civil Engineering (NHICE-01), Victoria, BC, Canadá, 2018.

Borg, R. P.; Cuenca, E.; Brac, E. M. G.; Ferrara, L. **Crack sealing capacity in chloride-rich environments of mortars containing different cement substitutes and crystalline admixtures**. *Journal of Sustainable Cement-Based Materials*, v. 7, n. 3, 2018. doi: <https://doi.org/10.1080/21650373.2017.1411297>

CLIFTON, James R. **Predicting the Service Life of Concrete**. ACI Materials Journal, v. 90, n. 6, p. 611-16, 1993.

CONCRETE SHOW, Redação. **Concreto autocicatrizante: como funciona?**

Concrete Show, 2022. Disponível em:

<https://digital.concreteshow.com.br/produtos/concreto-autocicatrizante-como-funciona>. Acesso em: 15 nov. 2022.

CORTOPASSI, Renato Salles; OURIVES, Cláudio Neves. **Concreto pode garantir estanqueidade a obras enterradas**. AECweb, 2016. Disponível em:

<https://www.aecweb.com.br/revista/materias/concreto-pode-garantir-estanqueidade-a-obras-enterradas/13897>. Acesso em: 15 nov. 2022.

Ferrara, L.; Krelani, V.; Moretti, F. **On the use of crystalline admixtures in cement based construction materials: from porosity reducers to promoters of self healing**. *Smart Materials and Structures*, v. 25, n. 8, 2016. doi:

10.1088/0964-1726/25/8/084002

G. P. Tilly, J. Jacobs, Concrete repairs: **Observations on performance in service and current practice**. CONREPNET Project Report, IHS BRE Press. Watford, UK, 2007. Acesso em: 15 nov. 2023.

GONÇALVES, E. A. B.; **Estudo de patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações**. 2015. 174 f. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2015.

Irrigaray, Mário; Braz-César, Manuel (2019). **Mecanismos de autorreparo em materiais cimentícios: uma visão geral**. Bragança: edição de autor. p. 143. ISBN 978-989-20-9692-6

LIMA, Jorge Luiz de Alquino. **Processo integrado de projeto, aquisição e execução de sistemas de impermeabilização em edifícios residenciais: diagnóstico e proposição de melhorias de gestão**. 2012. 143 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia Industrial)-Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC, Salvador, 2012. Disponível em: <http://www.getec.eng.ufba.br/jorge-luis-aquino-lima-processo-integrado-de-projeto-aquisicao-e-execucao-de-sistemas-de-impermeabilizacao-em-edificios-residenciais-diagnostico-e-proposicao-de-melhorias-2012-dissertacao-mestra>. Acesso em: 15 nov. 2022.

MEDEIROS, M. H. F.; ANDRADE, J. J.; HELENE, P. MEDEIROS, M. H. F.; ANDRADE, J. J.; HELENE, P. **Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto**. In: ISAIA, Geraldo Cechella. Concreto: Ciência e Tecnologia. São Paulo: Ipsis. 2011. V.1. Cap. 16. P.773-808., Geraldo Cechella. Concreto: Ciência e Tecnologia. São Paulo: Ipsis. 2011. V.1. Cap. 16. P.773-808.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 2008.

MORAES, Claudio R.K. de. **Impermeabilização em lajes de cobertura: levantamento dos principais fatores envolvidos na ocorrência de problemas na cidade de Porto Alegre**. 2002. 123 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Rio Grande do Sul, 2002. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/2708/000375437.pdf?sequence=1>

MOREIRA, H. P.; FIGUEIREDO, E. P.; HELENE, P. R. L. **Avaliação da influência de alguns agentes agressivos na resistência à compressão de concretos amassados com diferentes tipos de cimentos brasileiros**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2001. 16p.

MOREIRA, M. M. **Efeito do aditivo redutor de permeabilidade em concretos com diferentes tipos de cimento Portland – Contribuição aos processos de auto cicatrização**. Brasília, Brasil, 2016, 162 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília.

NASCIMENTO, P. R. S.; PEREIRA, B. C. G.; JOFFILY, I. A. L. **Os efeitos de diferentes aditivos cristalizantes nas propriedades do concreto no estado endurecido: absorção de água por capilaridade e resistência à compressão.** 58º Congresso Brasileiro do Concreto, 2017, Bento Gonçalves. Anais do 58º Congresso Brasileiro do Concreto. São Paulo: Ibracon, 2017.

NEVILLE, 2016 - NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

OURIVES, Cláudio Neves; BILESKY, Pedro Carlos; YOKOYAMA, Celina Miki. **Avaliação do Desempenho dos Sistemas de Impermeabilização por Cristalização Capilar do Concreto.** Revista Concreto & Construções. 55. ed. São Paulo: IBRACON, 2009. v. 1.

PENETRON Admix: **Impermeabilizante por cristalização na forma de aditivo para o concreto.** [S. l.], 29 jul. 2019. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=hV2w13SzhYQ>. Acesso em: 11 nov. 2022.

PETRUCCI, R. S.; HASTENPFLUG, D. **Influência do aditivo cristalizante na porosidade do concreto de Cimento Portland.** In: 58º Congresso Brasileiro do Concreto, 2017, Bento Gonçalves. Anais do 58º Congresso Brasileiro do Concreto. São Paulo: Ibracon, 2017.

PIRONDI, Z. **Manual prático de impermeabilização e de isolamento térmica.** São Paulo, 2ª edição. 1988

POLESELLO, Eduardo; MAUS, Marcelo. **A influência do aditivo cristalizante nas propriedades do concreto endurecido,** Rio Grande do Sul, set. 2020. Artigos Livres. Disponível em: <https://periodicos.feevale.br/seer/index.php/revistatecnologiaetendencias/article/view/1986>. Acesso em: 11 set. 2022.

PORCELLO, Ernani Camargo. **Impermeabilização.** Porto Alegre, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Escola Técnica de Engenharia Civil, 1998.

Roig-Flores, M.; Moscato, S.; Serna, P.; Ferrara, L. **Self-healing capability of concrete with crystalline admixtures in different environments.** *Construction and Building Materials*, v. 86, p. 1-11, 2015. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.03.091>

San Martin, J. F. F. **Avaliação da autocicatrização de concretos com adição de cristalizantes: análise em obra e em laboratório.** Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRS), 2021.

SOMBRIO; César S. **Efeito do aditivo cristalizante na rede capilar em concretos usinados.** 2019, 123 f. Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Santa Catarina, 2019.

SOUZA; RIPPER, 1998 - SOUZA, V.C.M.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1998

TAKAGI, Emilio Minoru; JÚNIOR, Waldomiro Almeida; OLIVEIRA, Fernando Souza. **Tratamento químico cristalizante para impermeabilização e proteção de estruturas de concreto armado**. 46° Congresso Brasileiro do Concreto: IBRACON, 2004.

VEDACIT. **Manual técnico de impermeabilização de estruturas**, 6° Edição, 110 p. 2010.

VERÇOZA, E. J. **Impermeabilização na construção**. Porto Alegre: Sagra, 1987. 151 p

VIEIRA, Fernanda de Sousa. (2018, dezembro) **Estudo de avaliação financeira para reforma de uma edificação residencial em Ilícinea – MG com incidência de infiltração em paredes**. Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG, Varginha, 2018.

APÊNDICE A – IMAGENS COMPLEMENTARES

