



Concrete curing analysis for high durability of structural concrete

Leilson Nascimento de Oliveira¹, Charles Ribeiro de Brito², Giuliana Leitão Oliveira³,
David Barbosa de Alencar⁴, Manoel Henrique Reis Nascimento⁵

¹ Master's student-Northern University Center UNINORTE - Manaus-AM.

² Teacher Advisor - Northern University Center UNINORTE - Manaus-AM.

³ Co-Advisor - Northern University Center UNINORTE - Manaus-AM.

^{4,5} Institute of Technology Galileo of Amazon ITEGAM - Manaus-AM.

Email's: leilson.oliveira201415@gmail.com, Charles.brito@uninorte.com.br, giulianaoliveira2014@gmail.com,
david002870@hotmail.com, hreis@gmail.com

ABSTRACT

Received: January 07th, 2019

Accepted: January 20th, 2019

Published: March 31th, 2019

Copyright ©2016 by authors and Institute of Technology Galileo of Amazon (ITEGAM).

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International

License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Concrete is the second material most consumed in the world, losing only to water, and currently its consumption is in the order of 19 billion tons per year. Concrete has been widely used for its versatility, durability and performance. Specifically in concrete, techniques are sought to reduce its permeability, since this provides greater mechanical strength and durability. For this, it is necessary to use specific additives for waterproofing by integral crystallization, which are added to the concrete trace at the time of its production. However, the objective of this article is to analyze the self-healing concrete for the durability of the structural concrete according to NBR 9575. In this way the research method used was constituted by a case study that demonstrates the importance of the process of crystallization of the concrete in the waterproofing system and the role of the technological rationalization process to which the construction industry was driven by factors such as the increase in the demand for buildings, be they residential, commercial or structural works in the cities. The results showed that the body with incorporated additive showed approximately 13% more resistance, the observation made to the naked eye and, the rupture was less sinuous than in the body of the simple trait, this suggests a more resistant cementitious paste after the addition of the crystallizing.

Keywords: Concrete, Self-healing, Crystallizing.

Análise do concreto Autocicatrizante para alta durabilidade do concreto estrutural

RESUMO

O concreto é o segundo material mais consumido no mundo, perdendo apenas para a água, sendo que atualmente o seu consumo é da ordem de 19 bilhões de toneladas ao ano. O concreto vem sendo largamente utilizado, por sua versatilidade, durabilidade e performance. Especificamente no concreto, buscam-se técnicas para a diminuição de sua permeabilidade, uma vez que isso propicia maiores resistências mecânicas e durabilidade. Para tal, faz-se necessário o uso de aditivos específicos para impermeabilização por cristalização integral, os quais são adicionados ao traço do concreto no momento de sua produção. Contudo, o objetivo deste artigo é analisar o concreto auto-cicatrizante para durabilidade do concreto estrutural de acordo com a NBR 9575. Desta forma o método de pesquisa utilizado, constituiu-se por um estudo de caso que demonstra a importância do processo de cristalização do concreto no sistema de impermeabilização e o papel do processo de racionalização tecnológica ao qual a indústria da construção civil foi conduzida por fatores como o aumento da demanda de construções, sejam elas de cunho habitacional, comercial ou obras de estrutura nas cidades. Com os resultados destacaram que o corpo com aditivo incorporado mostrou aproximadamente 13% a mais de resistência, a observação feita a olho nu e, a ruptura foi menos sinuosa que no corpo do traço simples, isto sugere uma pasta cimentícia mais resistente após a adição do cristalizante.

Palavras-Chave: Concreto, Autocicatrizante, Cristalizante.

I. INTRODUÇÃO

Há décadas a indústria do cimento é tida como um bom indicador do desenvolvimento de um país, uma vez que seu consumo está uniformemente ligado à renda per capita. Ele, o cimento, atua nas modificações futuras de um local ou país, e sua indústria é refém de vários fatores como demanda, reservas de matérias-primas, acesso ao mercado e condições econômicas de cada região [1].

Com as significativas mudanças globais, muito da potência deste mercado passou a ser dos países emergentes, especialmente a China e a Índia. Estes mercados, ditos emergentes, consomem uma fatia de aproximadamente 70% da produção global, como no caso da China, que tem 6 empresas entre as 10 maiores empresas consolidadas no mundo. Já na América Latina, os maiores produtores são o Brasil e o México que, juntos, produzem aproximadamente 3% de toda produção mundial [2].

As principais matérias-primas do cimento Portland são o calcário e a argila, e os mesmos são abundantes em reservas mundiais. As principais limitações à produção são a composição química dessas rochas e a distância imposta entre as jazidas de extração e os mercados consumidores, o que de certa forma obriga que aproximadamente 90% das produções sejam destinadas ao próprio mercado interno do país que o produziu. As explicações para um consumo tão elevado podem ser resumidas a três aspectos próprios e característicos do concreto: sua plasticidade no estado fresco, o que nos permite moldar elementos estruturais de diferentes tamanhos e formas; sua resistência à água, o que é um grande diferencial em relação ao aço; baixo custo e disponibilidade de material [3].

Margeada por altos índices de oscilação, provenientes em parte pelo setor financeiro, interesse social, ambiental e econômico, capacitação de profissionais e investimentos em novas tecnologias construtivas; a indústria da construção civil é forçada a primar e zelar mais e mais por qualidade [4].

No mundo da construção civil muitas são as preocupações com qualidade e durabilidade, seja qual for o tamanho da obra ou fim a que se destina. Ao garantir que estes alvos sejam atingidos, outro objetivo é alcançado, como a garantia do melhor desempenho que, além de cumprir a norma NBR 15575, também minimiza os custos com manutenção. Haja vista que as obras feitas a partir de concreto utilizando cimento Portland eram usualmente vítimas de patologias, em sua maioria advindas de falta de técnicas de impermeabilização e a inobservância de detalhes de projeto [5].

O concreto, sendo universalmente usada como material de construção e devido a sua importância, continuará a exigir mais pesquisas para resolver o inevitável problema do fissuramento [6]. No entanto, seria interessante que os efeitos de autocicatrização de fissuras no concreto fossem estabelecidos na forma de uma tecnologia de concretos autocicatrizantes, baseada em pesquisas teóricas e experimentais, através de uma discussão abrangente das leis que regem os processos químicos, físicos e biológicos envolvidos nestes fenômenos, de modo que fosse estabelecido, quais os parâmetros para o estudo de traços de concretos de concretos autocicatrizantes de alto desempenho visando projetar estruturas de concreto submetidas à exposição contínua à água mais duráveis [7].

Com o exposto, o objetivo geral é analisar o concreto auto-cicatrizante para durabilidade do concreto estrutural de acordo com a NBR 9575. Desta forma o método de pesquisa utilizado, constituiu por um estudo de caso que demonstrará a

importância do processo de cristalização do concreto no processo de impermeabilização e o papel de destaque do processo de racionalização tecnológica ao qual a indústria da construção civil foi conduzida por fatores como o aumento da demanda de construções, sejam elas de cunho habitacional, comercial ou obras de estrutura nas cidades. Este avanço tecnológico levou a produção de novos componentes, os aditivos, que misturados ao cimento e a água na proporção correta, mão de obra adequada, além da plasticidade característica do concreto, culminam em resistência e durabilidade que permitem feitos de beleza e relevância incomensuráveis a humanidade.

De acordo com o estudo de caso destacam-se que o corpo com aditivo incorporado mostrou aproximadamente 13% a mais de resistência, e a observação feita a olho nu e que a ruptura foi menos sinuosa que no corpo do traço simples, talvez isto indique uma pasta cimentícia mais resistente após a adição do cristalizante.

II. DESENVOLVIMENTO

II.1 ADITIVOS

Coutinho [8] cita que o uso de aditivos em concretos é tão antigo quanto o do próprio cimento, os romanos adicionavam clara de ovo, sangue, banha ou leite aos concretos para melhorar a trabalhabilidade das misturas (p.610).

A NBR 11768 [9], define o aditivo como produto que adicionado em pequena quantidade os concretos de cimento Portland modificam algumas de suas propriedades, no sentido de melhor adequá-las a determinadas condições.

Tabela1: Classificação dos aditivos.

TIPO	DESCRIÇÃO
Plastificante (tipo P)	Possibilita a redução de, no mínimo, 6% da quantidade de água de amassamento para produzir certo concreto com determinada consistência;
Retardador (tipo R)	Aumenta os tempos de início e fim de pega do concreto;
Acelerador (tipo A)	Diminui os tempos de início e fim de pega do concreto e acelera o desenvolvimento das suas resistências iniciais;
Plastificante retardador (tipo PR)	Combina os efeitos dos aditivos plastificantes e retardador;
Plastificante acelerador (tipo PA)	Combina os efeitos dos aditivos plastificantes e acelerador;
Aditivo Incorporador de ar (tipo IAR)	Incorpora pequenas bolhas de ar ao concreto;
Aditivo Super plastificante (tipo SP)	Possibilita a redução de, no mínimo, 12% da quantidade de água de amassamento para produzir certo concreto com determinada consistência;
Aditivo Super plastificante retardador (tipo SPR):	Combina os efeitos dos aditivos super plastificantes e retardador;
Aditivo Super plastificante acelerador (tipo SPA):	Combina os efeitos dos aditivos super plastificantes e acelerador;

Fonte: [9].

Os aditivos para concretos, portanto, são utilizados para diminuir os poros capilares superficiais em parte ou em toda a estrutura. Seja na versão líquida ou em pó, a proporção de mistura é normalmente um percentual sobre o peso de cimento utilizado no traço [10].

II.1.1 ADITIVO CRISTALIZANTE

São vários os produtos existentes que visam à impermeabilização e proteção das estruturas da construção civil para aumentar a durabilidade e vida útil de uma estrutura. Atualmente, no Brasil, o produto mais conhecido e utilizado são as mantas asfálticas, mas também existem diversos outros como as argamassas poliméricas, asfaltos elastoméricos, poliuréias, poliuretanos, etc [11].

Para [12] diversos fatores podem comprometer o desempenho desses materiais como, por exemplo, o intemperismo, a deterioração pelos agentes presentes na água armazenada ou no lençol freático, a mão de obra desqualificada etc.

O aditivo cristalizante é um líquido amarelado, à base de silicatos ativos que ao entrar em contato com o cimento já hidratado ou no momento da hidratação formam cristais que entopem os poros da estrutura, impedindo assim a penetração da água sob alta pressão e com efeito permanente. No caso de novas fissuras com dimensão de até 0,4 mm, forma uma nova cristalização e conseqüente barreira impermeabilizante [13].

II.2 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO

II.2.1 ENSAIO DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

De acordo com a NBR 5739 [14] a resistência à compressão é denominada f_c é a característica mecânica mais importante, onde para estimá-la em um lote de concreto, são moldados e preparados corpos de prova para ensaio.

Os corpos de prova padrão é o cilíndrico, com 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura, e a idade de referência para o ensaio é 28 dias. Após ensaio de um número muito grande de corpos-de-prova, pode ser feito um gráfico com os valores obtidos de f_c versus a quantidade de corpos de prova relativos a determinado valor de f_c , também denominada densidade de frequência. A curva encontrada denomina-se Curva Estatística de Gauss ou Curva de Distribuição Normal para a resistência do concreto à compressão [15].

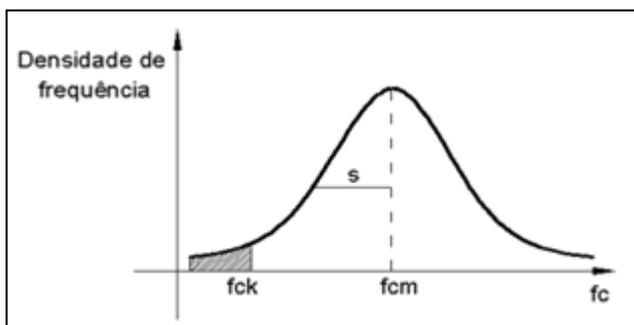


Figura 1: Curva de Gauss para a resistência do concreto à compressão.
Fonte: [15].

De acordo com a NBR 5739 [14] na curva de Gauss encontram-se dois valores de fundamental importância:

resistência média do concreto à compressão, f_{cm} , e resistência característica do concreto à compressão, f_{ck} . O valor f_{cm} é a média aritmética dos valores de f_c para o conjunto de corpos de prova ensaiados, e é utilizado na determinação da resistência característica, f_{ck} , por meio da fórmula:

$$f_{ck} = f_{cm} - 1,65s \quad (1)$$

O desvio-padrão s corresponde à distância entre a abscissa de f_{cm} e a do ponto de inflexão da curva (ponto em que ela muda de concavidade). O valor 1,65 corresponde ao quantil de 5%, ou seja, apenas 5% dos corpos de prova possuem $f_c < f_{ck}$, ou, ainda, 95% dos corpos de prova possuem $f_c \geq f_{ck}$. Portanto, pode-se definir f_{ck} como sendo o valor da resistência que tem 5% de probabilidade de não ser alcançado, em ensaios de corpos de prova de um determinado lote de concreto.

II.2.2 ENSAIO DE RESISTÊNCIA A TRAÇÃO DO CONCRETO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Para [16] a resistência à tração possui o mesmo procedimento ao da compressão. O concreto possui uma resistência à tração bem menor que à compressão, suportando apenas de 7% a 11% da carga que suportaria a compressão. Dessa maneira, os projetistas desconsideram a resistência à tração do concreto em seus projetos como maneira de aumentar a segurança à estrutura.

De acordo com a norma NBR 7222 [17] o corpo de prova é colocado horizontalmente entre os pratos da prensa e a força é aplicada até ser realizada a ruptura, conforme a Figura 2.

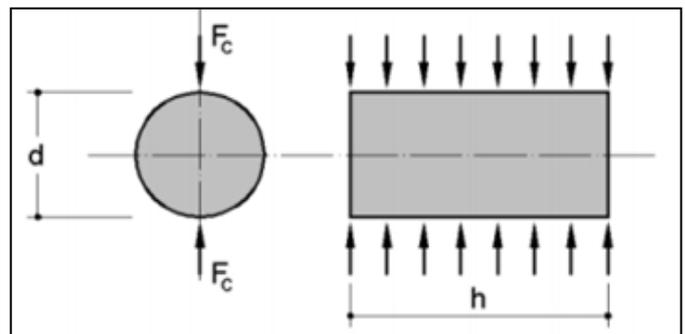


Figura 2: Ensaio de tração por compressão diametral.

Fonte: [17].

II.3 IMPERMEABILIZAÇÃO DO CONCRETO POR CRISTALIZAÇÃO

A impermeabilização do concreto por cristalização se dá através de um traço de concreto. Os materiais que o constituem e os aditivos especiais possuem uma proporção ideal, de maneira que o concreto no estado endurecido terá menor permeabilidade se comparado ao comum que através do empacotamento dos grãos de seus constituintes, alguns componentes do traço possuem a capacidade de reagir na presença de água e formar cristais insolúveis nos poros capilares e nas fissuras [18].

A cristalização é usada na proteção da impermeabilização do concreto e na recuperação de manifestações patológicas. A aplicação de impermeabilização do concreto por cristalização inibe as patologias e bicheiras no

concreto, o produto é específico para aplicação na superfície do concreto [19].

Para [19]: *Afirma que impermeabilizações por cristalização é executada por meio de adição no concreto, onde por meio da adição, são perenes já que esta estará incorporada ao concreto, e não será comprometida 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.*

Segundo [20] caracteriza que o principal benefício do impermeabilizante por cristalização na mistura é devido à formação de cristais insolúveis nos poros do concreto, esses compostos químicos ativos reagem com a umidade e com os subprodutos do cimento produzindo a estrutura cristalina, não solúvel, que fica integrada ao concreto.

III. MATERIAIS E MÉTODOS

O método adotado para aplicar seguirá as seguintes etapas:

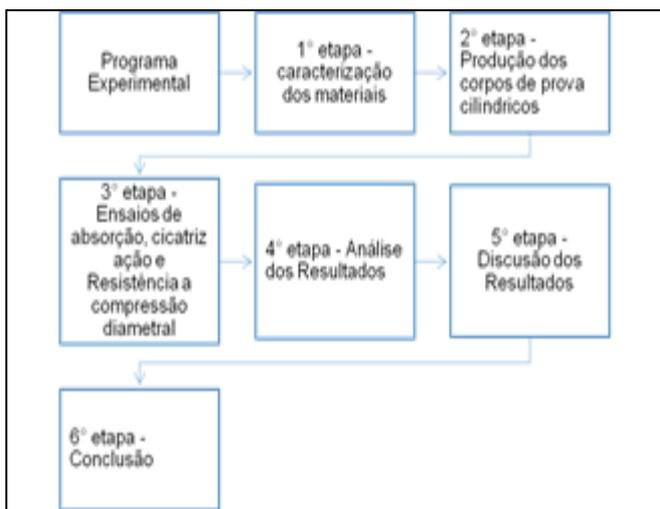


Figura 3: Etapas do Programa Experimental.

Fonte: Autores, (2018).

Na primeira 1ª parte desenvolveu um estudo experimental com base na literatura sobre o concreto cicatrizante, os aditivos e os ensaios técnicos. Verificando a possibilidade de utilizar o concreto cicatrizante como reforço estrutural em fissuras.

Na 2ª etapa foi produzida corpos de prova cilíndricos utilizando o aditivo cicatrizante para realizar o comparativo. A 3ª etapa é a realização dos ensaios de resistência a compressão diametral de acordo com a NBR 5739, NBR 9778 de absorção de água e ensaio de autocicatrização. A 4ª etapa do trabalho identifica a análise do resultado realizado através dos ensaios. Na 5ª etapa mostra a discussão do resultado e pôr fim a 6ª etapa nos traz as conclusões finais do estudo de caso realizado.

III.1 ESPECIFICAÇÕES E CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL

Para realização dos 6 Corpos de Prova foram utilizados os seguintes materiais.

Tabela 2: Materiais para os corpos de prova

MATERIAL	CARACTERIZAÇÃO	QUANTIDADE
Cimento Portland	Mizu CPI S - 40	13,44 kg
Aditivo Cristalizante	Penetron Admix	680g
Aditivo retardador	Marca Mira RT 100	216 g
Agregado Fino	Areia Branca	27,28 kg
Água	Oriunda do abastecimento da concessionária local	47,80 kg

Fonte: Dados Coletados na empresa Konkrex, (2018).

O traço adotado seguiu as especificações cedidas pela concreteira Konkrex, de acordo com a dosagem experimental realizada pela empresa, seguindo os parâmetros das proporções especificadas na Tabela 2, para a confecção do concreto com resistência nominal de 30 MPa.

Tabela 3: Tabela de Proporção.

Tabela de Proporção						
Produto	Cimento	Areia	Seixo	Água	Aditivo	Plastificante
Proporção	1	2	3,5	0,55	0,1	0,8

Fonte: Dados Coletados na empresa Konkrex, (2018).

3.2 EQUIPAMENTOS

Para a realização do ensaio de Slump Test e dosagem e mistura do concreto utilizaram-se os seguintes equipamentos.

Tabela 4: Equipamentos e ferramentas.

EQUIPAMENTOS	QUANTIDADE
Balde metálico para concreto 10L marca Wonder	01 peça
Balança digital para capacidade 200k marca Toledo	01 peça
Balança digital analítica com 15k marca Toledo Prix	01 peça
Colher de pedreiro reta 9" Tramontina	01 peça
Colher dosadora marca Tramontina	01 peça
Betoneira desmontável 130L marca CSM	01 peça
Proveta graduada em polímero PP	01 peça
Conjunto de cone de Abrams marca MATEST	01 peça

Fonte: Autores, (2018).

Estes equipamentos atendem as necessidades da NBR 12655 – Preparo e controle e recebimento, NM – 67 – Ensaio de abatimento do concreto (Slump Test), NBR 5738 – Preparo e moldagem de corpo de prova.



Figura 4: (A) Conjunto de cone de Abrams marca MATEST. (B) Betoneira 130L.
Fonte: Autores, (2018).

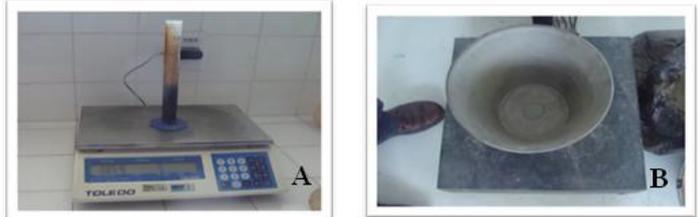


Figura 5: (A). Balança digital analítica e proveta graduada. (B) Balde metálica para concreto 10L.
Fonte: Autores, (2018).

III.3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

III.3.1 PREPARO E CONTROLE DO CONCRETO NBR 12655/15 SEM ADITIVO CRISTALIZANTE

Para confecção do concreto e moldagem, dos corpos de prova e ensaios, foram confeccionados aproximadamente 48kg de concreto com Fck estimado de 30Mpa.

Inicia-se o preparo de limpeza da betoneira para garantir a inexistência de corpos estranhos ao traço. De acordo com NBR 12655 [21] para procedimento do preparo do concreto utilizou-se 1,84 kg de água equivalente a 50% do que seria usado no processo. Acrescentou-se o agregado graúdo (Seixo 19mm) em sua totalidade de 23,900 kg. Para o agregado miúdo (Areia branca de granulometria de 0,25mm) também em sua totalidade de 13,640kg e todo o cimento (CPI- S- 40) 6,72kg, foram adicionados na betoneira. Após homogeneizar por aproximadamente cinco minutos, acrescentou-se 25% de água que equivale a 920g. Para promover a fluidez da mistura. Após a homogeneização adicionou-se o restante dos 25% da água e por fim o retardador de pega (Mira RT – 100) cerca de 54g de acordo com a NBR 11768 [22], continua-se homogeneizando o traço.



Figura 6: Aplicação dos agregados e mistura.
Fonte: Autores, (2018).

III.3.2 PREPARO E CONTROLE DO CONCRETO NBR 12655/15 COM ADITIVO CRISTALIZANTE

Para confecção do concreto e moldagem, dos corpos de prova e ensaios, foram confeccionados mais a quantia aproximada de 48kg de concreto com Fck estimado de 30Mpa.

O procedimento utilizado foi executado com os mesmos quantitativos e procedimento para o concreto sem aditivo cristalizante. Diferindo apenas no acréscimo do aditivo cristalizante para formação de pasta nos últimos 25% de água, acrescentado a mistura. O procedimento foi executado de acordo com o fabricante onde o aditivo foi diluído em água, formando uma pasta de cor esverdeada, com odor cimentício e fluidez pastosa. Que em seguida é incorporada ao concreto que está na betoneira sendo homogeneizada na sua totalidade.



Figura 7: (A) Aditivo cristalizante em pó. (B) Pasta cimentícia esverdeada.
Fonte: Autores, (2018).

III.3.3 ENSAIO DE ABSORÇÃO – NBR 9778/2009

De acordo com NBR 9778 [23], de argamassa e concretos endurecidos com determinação da absorção de água por imersão, foram realizados os ensaios de absorção total em um corpo de prova de cada traço distinto para determinação do índice de vazios.

Os corpos de prova, de medida 200 mm de altura por 100 mm de diâmetro, padrão para este tipo de ensaio. Um de cada traço foi colocado em estufa a $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$, e tomadas medidas de massa específica após 24h, 48h e 72h, para referência utilizamos o índice de massa registrado após 72h, após a pesagem do corpo de prova já em temperatura ambiente que era de aproximadamente 34°C . O passo seguinte foi imergir os corpos de prova em sua totalidade em tanque de testes, onde eles ficaram até serem retirados e enxugados para suas pesagens, que ocorreram em 24h, 48h e 72h com anotação de suas massas específicas, e assim após os registros obtivemos os resultados.



Figura 8. Fases do ensaio de absorção.
Fonte: Autores, (2018).

III.3.4 ENSAIO DE AUTO CICATRIZAÇÃO - FORMAÇÃO DE CRISTAIS

Teste realizado empiricamente com os corpos de prova do ensaio de absorção que foram reaproveitados. Os corpos de prova passaram pelo processo de capeamento a base de enxofre,

seguido pela retificação em faceadora, processos fundamentalmente executados com a intenção de distribuir a tensão da prensa de forma uniforme ao corpo de prova, após estes processos eles ficam lisos, planos e perpendiculares ao eixo da prensa, isto é feito para garantir resultados confiáveis aos testes de compressão.

No ato seguinte submeteu-se os corpos de prova a compressão em prensa hidráulica com uma carga de aproximadamente 15MPa, com velocidade de aplicação variando entre 0,7 e 0,80 Mpa/s, como a prensa não para até atingir a tensão ao qual o corpo de prova foi projetado para suportar, isto foi feito de forma manual acompanhando o gráfico de tensão e apertando no botão de emergência da prensa hidráulica, no justo instante em que conseguimos o que corresponde a 50% de sua capacidade total estimada, para propositalmente gerarmos microfissuras visíveis a olho nu, logo após este processo voltamos a imergir totalmente os corpos de prova em tanque, pra que pudéssemos observar a formação ou não de cristais na fissura, o que atestaria a auto cura do concreto com adição do cristalizante Penetron Admix fornecido pela AMTECH.



Figura 9: Em destaque microfissuras propositalis.
Fonte: Autores, (2018).

III.3.5 ENSAIO DE COMPRESSÃO DIAMETRAL – NBR 7222/11

Foram submetidos ao ensaio, dois corpos de prova, sendo um corpo de cada traço, com 3, 7 e 28 dias. Utilizou-se a prensa hidráulica. Para a obtenção da tensão necessária para romper o corpo de prova em KN, no procedimento o corpo de prova foi deitado sobre uma tira de madeira em pratos regulares, fixados a prensa hidráulica e neste momento a prensa foi ligada, a uma velocidade variando entre 0,05 e 0,02 MPa/s obedecendo a norma sem ocasionar choque e assim obtivemos o resultado do ensaio.



Figura 10: Aplicação do carregamento de compressão no corpo de prova.
Fonte: Autores, (2018).

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

IV.1 ENSAIO DE SLUMP TEST

No ensaio de concreto fresco, onde naturalmente ele tem maior coesão e estabilidade e menor exsudação e segregação, o de abatimento de tronco de cone, o Slump Test, após execução ocorrida em obediência a norma, podemos observar que presença do aditivo cristalizante no traço Penetron, diminuiu a fluidez aumentando a coesão característica do traço, o que interferiu diretamente no abatimento de acordo com o tabela a seguir, mas ressaltamos que o resultado obtido foi positivo e ficou dentro do que exige a norma .

Tabela 5: Resultado do Ensaio de Slump Test com e sem aditivo cristalizante.

Slump Test	Abatimento
Traço simples	10 cm
Traço Penetron	08 cm

Fonte: Autores, (2018).

IV.2 ENSAIO DE ABSORÇÃO

Acerca do ensaio no concreto endurecido, onde as características comuns são maior resistência mecânica, maior aderência do aço ao concreto e durabilidade. No ensaio de absorção podemos constatar depois de observada a norma para sua execução, que o traço Penetron apresentou maior resistência à absorção de água, ou seja, a cristalização total do corpo de prova mostrou com sucesso, um maior nível de proteção à permeabilidade, impedindo que o corpo de prova absorvesse a mesma quantidade de água que o corpo de prova do traço simples, outro fator a observado nesta pesquisa foi o fato de que o corpo de prova do traço Penetron reteve mais água de amassamento que o corpo de prova do traço simples, isto foi observado na pesagem dos corpos de prova secos.

Tabela 6: Resultado do ensaio de absorção

Traço	Seco	Molhado	Diferença
Simple	3,6kg	3,83kg	0,230kg
Penetron	3,69kg	3,74kg	0,05kg

Fonte: Autores, (2018).

IV.3 ENSAIO DE CRISTALIZAÇÃO

Realizado curva de Gauss para o ensaio de cristalização, a fim de acompanhar a tensão aplicada ao corpo de prova para que pudéssemos interromper a prensa hidráulica no momento exato da fissuração planejada.

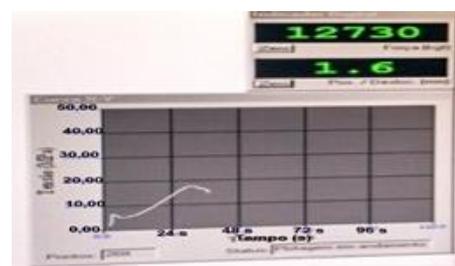


Figura 11: Curva de Gaus.
Fonte: Autores, (2018).

IV.4 ENSAIO DE COMPRESSÃO DIAMETRAL

No ensaio de compressão diametral, o cristal em estado adormecido ou inativo ainda pode observar que ocorreu ruptura indireta por se tratar de um concreto de baixa resistência, outro aspecto a ser descrito é o fato de ele ter rompido de forma sinuosa, ainda que menos sinuosa que no corpo de prova do traço simples.

Tabela 7: Resultados de compressão sem aditivo e com aditivo.

Consumo Kg/m ³	Sem aditivo		Com aditivo	
	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
200	1,36	3,89	1,75	4,23
250	2,28	4,36	2,64	4,85
300	1,73	4,23	2,11	4,54
350	2,80	5,18	3,40	5,89
400	3,34	4,50	3,84	5,03

Fonte: Autores, (2018).

V. CONCLUSÃO

Neste estudo podemos perceber que o uso de aditivo cristalizante integral incorporado a massa de concreto, tem seus resultados limitados aos ensaios executados, metodologia e matérias aplicadas, tendo em vista que a alteração de quaisquer um destes materiais ou ensaios feitos fora do padrão, pode nos dar um ponto fora da curva e interferir diretamente nos resultados finais. O Penetron Admix, tem por característica específica segundo o próprio fabricante, aditivo para cristalização, na mistura ao concreto para o processo de cristalização total, mostrou ser eficaz, na proteção do concreto a pressão hidrostática, tornando se parte integrante do concreto, permitindo a respiração da massa adicionada ao concreto no momento de sua produção não está sujeito a restrições climáticas e com rastreador que marca sua aplicação a estrutura, atingindo de forma segura as expectativas impostas a ele.

Em relação custo, benefício do produto nos leva a recomendá-lo certamente, e principalmente a usá-lo, na confecção de obras que atuem em contato direto com o solo, reservatórios de água, estação de tratamento de água e efluentes, piscinas, lajes de subsolo, fundações, estacionamentos subterrâneos e pré-moldados, em obras que atuem com poro pressão positiva ou negativa, na confecção do concreto para fundações profundas e etc. Ainda sobre a relação custo benefício, salienta que de acordo com estudos consultados, os custos com reparos futuros são de até 15(quinze) vezes o valor da execução correta, já que medidas preventivas são notórios. Pois evitam medidas tratativas, e projetos de impermeabilização bem executados atingem com ampla eficiência a norma de qualidade. Neste quesito, projetos de execução de impermeabilização, outro que é facilmente resolvido, já que o mercado hoje é circundado de normas claras e precisas, e caminha de forma positiva para a qualificação constante de cada vez mais especialistas no setor de execução de projetos de impermeabilização, sem esquecer-se de citar a possibilidade oferecida pela plataforma BIM de interação constante entre os diversos projetos, com a finalidade de compatibilização entre os projetos o que evita que rearranjos sejam executados à revelia do autor do projeto. O processo preparatório e de simples compreensão, pois e explicado de forma clara em seu rotulo, o que certamente conduz a uma execução correta pelo usuário,

garantindo que os resultados almejados sejam alcançados a contento, evitando patologias futuras em suas estruturas o que conhecidamente traz transtornos aos usuários. O produto incorporado ao traço reteve mais água de amassamento, diminuindo a exsudação, o que nos surpreendeu, pois, este processo pode ter alterado a microestrutura do concreto, interagindo e alterando o tamanho dos poros, interferindo talvez em sua higroscopicidade, tornando o menos suscetível a menor absorção de água. O Produto apresentou eficácia no fechamento de fissuras passivadas, claramente aceitável, pois por ter de características de um sistema de impermeabilização rígida, a impermeabilização apresenta fragilidade a oscilações térmicas, uma vez que seu fator de dilatação térmica não acompanha o do concreto, por este motivo a norma brasileira faz distinção entre os dois tipos.

A observação feita com a lente macro da câmera profissional mostrou ainda que com pouca clareza ou perfeição, a autocicatrização, de forma bem sucinta, pois no traço simples não foi possível identificar a formação de cristais, já no traço Penetron isto ocorreu, e com o tempo de exposição a ambientes úmidos esta formação de cristais se acelerou, atestando a tese de continuidade efetiva de ação do cristalizante. No ensaio de abatimento teve um desempenho melhor que o concreto simples, o abatimento e a medida da consistência do concreto, tecnicamente pela norma ele tem que ser diferente de 0 (zero) cm para ser aceito em uma obra, demonstrou ter maior coesão sem perder as características exigidas ao concreto em estado fresco apesar de o fabricante não citar isto, por este motivo no ensaio de compressão diametral, foi possível constatar um pequeno acréscimo na resistência a compressão impressa pela prensa hidráulica no corpo de prova. Contudo, o corpo com aditivo incorporado mostrou aproximadamente 13% a mais de resistência, e a observação feita a olho nu e que a ruptura foi menos sinuosa que no corpo do traço simples, talvez isto indique uma pasta cimentícia mais resistente após a adição do cristalizante.

VI. REFERÊNCIAS

- [1] takagi, Emilio Minoru. Concretos autocicatrizantes com cimentos brasileiros de escória de Alto-Forno ativados por catalisador cristalino. São Paulo, 2013.
- [2] Roque, J. A. (2013). Sistema construtivo em aço patinável e bloco de concreto celular autoclavado: análise de protótipo de Moradia de Interesse Social. Dissertação (Mestrado). PPGSS-ECM, Universidade São Francisco. Itatiba.
- [3] Mehta, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais. 3a. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.
- [4] Ramachandran, Santhosh K.; Ramakrishnan, V.; Bang, Sookie S. Remediation of concrete using micro-organisms. ACI Materials Journal, v. 98, n. 1, p. 3–9, 2012.
- [5] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15575: Edificações Habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.
- [6] Rilem. (2015). Self-healing phenomena in cement-based materials. Disponível em Technical Committee 221-SHC: <http://www.rilem.net/gene/main.php?base=8750&gp_id=228>. Acessado em: 10 de Set 2018.

- [7] Britez, C. Et Al. Estanqueidade de lajes de subpressão. Caso MIS-RJ. Rev. IBRACON Estrut. Mater. [online]. 2014, vol. 7, n. 6, p. 913-921. ISSN 1983-4195.
- [8] Coutinho, A. S. Fabrico e Propriedades do Betão. Vol. I. ed. LNEC. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil. 20172 610 p.
- [9] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 11768 - Aditivos para concreto de cimento Portland. Rio de Janeiro, 1992.
- [10] Diprotec. Produtos técnicos da construção. Disponível em:<<http://www.diprotec.com.br/produto/aditivos-impermeabilizantes-para-concreto/>>. Acessado em: 11 de Set 2018.
- [11] Alves, J.D. Manual de Tecnologia do Concreto. 3º ed. Goiânia, Editora UFG, 2013.
- [12] Bolesky, Karina Matias. A implementação e o Uso da Modelagem da Informação da Construção em Empresas de Projeto de Arquitetura. São Paulo, 2016.
- [13] Tecnorap. Sistemas Construtivos. Disponível em:<<https://www.tecnorap.com.br/solucaocristalizante>>. Acessado em: 15 de Set 2018.
- [14] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5739 – Ensaio de compressão de corpo de prova cilíndrico. Rio de Janeiro, 2007.
- [15] Varella, W. D. Entenda a execução da estrutura do Museu da Imagem e do Som no Rio de Janeiro. Rev. Téchno Educação. [online]. Ed. 206, maio/2014.
- [16] Oliveira, Ana Luiza Alves de. A influência do aditivo cristalizante nas propriedades do concreto fresco e endurecido. Brasília, 2014.
- [17] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7222 - Concreto e argamassa. Determinação da resistência a tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricas. Rio de Janeiro, 2011.
- [18] Votorantim. Quando recorrer à impermeabilização por cristalização Disponível em: <<http://www.votorantim.com.br/>>. Acessado em: 16 de Set 2018.
- [19] Poglioli, Flávia Spitale Jacques. Durabilidade de estruturas de concreto em usinas siderúrgicas. Tese de Monografia. Belo Horizonte, 2009.
- [20] PEREIRA, F.S. Da C. Impermeabilização do concreto por cristalização. Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio Grande do Norte. Natal, 2013.
- [21] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12655 – Concreto de cimento Portland – preparo e lançamento. Rio de Janeiro, 2015.
- [21] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 11768 – Aditivos de Concreto de Cimento Portland. Rio de Janeiro, 2011.
- [23] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9778 – Argamassa e concreto endurecido. Rio de Janeiro, 2009.