

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

GABRIEL LAMEKA ANDREATTA

**ADITIVO CRISTALIZANTE PARA CONCRETO: PROPRIEDADES NO
ESTADO FRESCO E ENDURECIDO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2020

GABRIEL LAMEKA ANDREATTA

**ADITIVO CRISTALIZANTE PARA CONCRETO: PROPRIEDADES NO
ESTADO FRESCO E ENDURECIDO**

**CRISTALLINE ADMIXTURES FOR CONCRETE: PROPERTIES IN FRESH AND
HARDENED STATE.**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Arthur Medeiros

CURITIBA

2020

FOLHA DE APROVAÇÃO

**ADITIVO CRISTALIZANTE PARA CONCRETO: PROPRIEDADES NO
ESTADO FRESCO E ENDURECIDO**

Por

GABRIEL LAMEKA ANDREATTA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, defendido e aprovado em 19 de novembro de 2020, pela seguinte banca de avaliação presente:

Orientador – Arthur Medeiros, Dr.
UTFPR

Lidiane Fernanda Jochem, Dra.
UTFPR

Mateus Pelegrinello, Eng.
MC-BAUCHEMIE

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida, pela saúde, força, coragem e aprendizados para conseguir enfrentar essa jornada com êxito.

Aos meus queridos pais e familiares, pelo amor, incentivo e compreensão nesse período cansativo, pelas oportunidades que me proporcionaram e por sempre estarem dispostos e envolvidos nesse projeto.

Ao meu orientador, Arthur Medeiros, pela dedicação, paciência, respeito, conhecimentos transmitidos e principalmente ao auxílio prestado na execução deste estudo.

Agradeço também, a todos os amigos, professores, colegas de profissão que me auxiliaram em todos esses anos de graduação, fizeram parte dessa caminhada e acompanharam meu crescimento.

Por fim, ao Núcleo de Pesquisas Tecnológicas (NPT) da UTFPR que realizou os ensaios de porosimetria por intrusão de mercúrio e ao DACOC pelo uso dos laboratórios e realização dos demais ensaios.

RESUMO

ANDREATTA, Gabriel Lameka. **Aditivo cristalizante para concreto: propriedades no estado fresco e endurecido**. 2020. 71 páginas. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Civil - Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, Curitiba, 2020.

Os materiais usados nas estruturas de concreto armado comprometem a eficácia e vida útil do empreendimento. A presença de poros no concreto, por exemplo, favorece a penetração de agentes, e conseqüentemente facilita a corrosão da armadura de aço. Dessa forma, concretos menos permeáveis possuem menores riscos que o convencional, se tratando de durabilidade do aço. Neste sentido, os aditivos cristalizantes podem ser incorporados ao concreto a fim de obter-se maior densidade na microestrutura do concreto. A porção adicionada do aditivo ao concreto, no entanto, deve ser rigorosamente dosada para se ter melhor aproveitamento, sendo que a água de amassamento não pode ser consumida em excesso, faltando para a hidratação do cimento. Este trabalho tem como objetivo a verificação de um aditivo cristalizante em relação as propriedades no estado fresco e endurecido. Através da microscopia tem-se a classificação do concreto e a observação da zona de transição que pode ser melhorada a partir do uso de aditivos. Além disso, o concreto possui um tempo de vida útil, que pode ser reduzida com a penetração de agentes agressivos, os quais corroem a armadura do concreto e expandem seu tamanho em até 8 vezes. O transporte de agressivos pode ser explicado pelo princípio da capilaridade, em que, quanto menor o poro, maior é a infiltração de água. Tornar a microestrutura menos permeável, portanto, corrobora para maior durabilidade das estruturas de concreto armado. Com o objetivo de aumentar a vida útil das estruturas ou para recuperação de estruturas existentes, diversas obras no Brasil já utilizaram aditivos cristalizantes. Os resultados do presente estudo não foram capazes de avaliar se o uso do cristalizante tornou o concreto menos permeável, o que se afirma é que as propriedades no estado fresco não foram alteradas com o uso do aditivo. As resistências à compressão axial se mantiveram estatisticamente iguais quando ensaiadas com mais de 90 dias. Houve melhora significativa na absorção por imersão e capilaridade quando comparadas de 28 para 210 dias, porém o grupo controle evoluiu da mesma forma.

Palavras-chave: Concreto. Aditivo Cristalizante. Microestrutura do concreto.

ABSTRACT

ANDREATTA, Gabriel Lameka. **Cristalline admixtures for concrete: properties in fresh and hardened state**. 2019. 71 pages. Conclusion of Bachelor's degree in Civil Engineering - Federal Technology University - Parana. Curitiba. 2020

The quality of materials used in reinforced concrete structures could compromise the effectiveness and useful life of the building. The presence of pores in concrete, for example, favors the penetration of aggressive agents, and consequently damage steel. Therefore, less permeable concretes have lower risks than the conventional one, when it comes to steel durability. In this sense, the cristalline admixtures can be incorporated into the concrete in order to obtain higher density in the concrete microstructure. The added portion of the additive, however, must be rigorously dosed for better use. This work has as objective the verification of a cristalline admixture regarding the properties in the fresh and hardened state of concrete. Through microscopy there is the classification of concrete and observation of the transition zone which can be improved from the use of additives. Concrete has a useful life that can be reduced by penetrating aggressive agents, which damage the steel and expand its size by up to 8 times. The transport of aggressives can be explained by the principle of capillarity, where the smaller the pore, the greater the water infiltration. Making the microstructure less permeable therefore corroborates for greater durability of reinforced concrete structures. In order to increase the useful life of structures or to recover existing structures, several works in Brazil have already used crystallizing additives. The results of the present study were not able to assess whether the use of cristalline admixture made the concrete less permeable, what is stated is that the properties in the fresh state were not altered with the use of the additive. Resistances to axial compression remained statistically equal when tested over 90 days. There was a significant improvement in absorption by immersion and capillarity when compared from 28 to 210 days, but the control group evolved in the same way.

Keywords: Concrete. Cristalline admixture. Concrete microstructure.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Resistência mecânica de C_3S , C_2S , C_3A e C_4AF	14
Figura 2 – Capacidade de reparar fissuras	15
Figura 3 – Etapas da vida útil de uma estrutura	17
Figura 4 – Lei de Sitter	18
Figura 5 – Fatores envolvidos no transporte das substâncias	19
Figura 6 – Princípio da capilaridade	21
Figura 7 – Estruturas porosas impermeáveis (a) ; permeáveis (b).....	22
Figura 8 – Comparação entre as fases de hidratação do aditivo	23
Figura 9 – Museu da Imagem e do Som (M.I.S).....	26
Figura 10 – Museu de Arte do Rio (M.A.R)	27
Figura 11 – Recuperação da estrutura em Jucazinho	27
Figura 12 – Curva granulométrica dos agregados	29
Figura 13 – Betoneira utilizada para mistura das argamassas e concretos	32
Figura 14 – Ensaio índice de consistência	33
Figura 15 – Ensaio de abatimento do tronco de cone	33
Figura 16 – Ensaio de absorção por capilaridade	35
Figura 17 – Equipamento utilizado para porosimetria	36
Figura 18 – Ensaio de resistência à compressão axial	37
Figura 19 – Resistência à compressão de argamassas.....	41
Figura 20 - Resistência à compressão de concretos.....	42
Figura 21 – Absorção por imersão - argamassas.....	42
Figura 22 - Absorção por imersão - concretos	43
Figura 23 – Capilaridade argamassa pobre	44
Figura 24 – Capilaridade argamassa rica.....	45
Figura 25 – Capilaridade C0 e C1	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição do cimento Portland.....	14
Tabela 2 – Agressividade ambiental	20
Tabela 3 – Composição química CP V-ARI	28
Tabela 4 – Características físicas CP V-ARI.....	29
Tabela 5 – Características físicas agregado miúdo.....	29
Tabela 6 – Traços unitários em massa	30
Tabela 7 – Quantidades de ensaios no estado endurecido	34
Tabela 8 – Valores de t – teste t student.....	38
Tabela 9 – Índice de consistência	39
Tabela 10 – Abatimento pelo tronco de cone.....	39
Tabela 11 – Massa específica estado fresco	40
Tabela 12 – Porosidade ensaio de porosimetria	47

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	OBJETIVOS	11
1.2	JUSTIFICATIVA	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1	MICROESTRUTURA DO CONCRETO	13
2.2	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NO CONCRETO	16
2.2.1	Durabilidade de Estruturas de Concreto	18
2.2.2	Mecanismos de Fissuração	20
2.2.3	Transporte de Agressivos	21
2.2.4	Porosidade e Permeabilidade	22
2.3	MECANISMOS DOS ADITIVOS CRISTALIZANTES	23
2.4	ESTUDOS RECENTES COM ADITIVOS CRISTALIZANTES	24
2.5	APLICAÇÕES DE CONCRETOS COM ADITIVOS CRISTALIZANTES NO BRASIL	26
3	MATERIAIS E MÉTODOS	28
3.1	DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS	28
3.1.1	Cimento Portland	28
3.1.2	Agregados	29
3.1.3	Aditivo Cristalizante	30
3.1.4	Água	30
3.2	DEFINIÇÃO DOS TRAÇOS	30
3.3	PREPARO DAS AMOSTRAS	31
3.4	ENSAIOS NO ESTADO FRESCO	32
3.5	ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO	34
3.5.1	Ensaio de Absorção por Imersão	35
3.5.2	Ensaio de Absorção por Capilaridade	35
3.5.3	Ensaio de Porosimetria por Intrusão de Mercúrio	36
3.5.4	Ensaio de Resistência à Compressão	37
3.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
4.1	RESULTADOS NO ESTADO FRESCO	39
4.2	RESULTADOS NO ESTADO ENDURECIDO	40
4.2.1	Resistência à Compressão Axial	40
4.2.2	Absorção por Imersão	42
4.2.3	Absorção por Capilaridade	44
4.2.4	Porosimetria por Intrusão de Mercúrio	46
5	CONCLUSÕES	48
5.1	SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS	49
	REFERÊNCIAS	50
	APÊNDICE	54

1 INTRODUÇÃO

As estruturas de concreto armado são projetadas para atender a vários requisitos de durabilidade, algumas das normas brasileiras que tratam do assunto são NBR 6118 (ABNT, 2014) e NBR 155757 (ABNT, 2013). Todavia, descuidos no momento da escolha dos materiais e na execução das tarefas podem trazer diversas manifestações patológicas que comprometem a vida útil de um empreendimento. Pequenas fissurações são características do concreto e possuem diferentes origens, tais como: elevado calor de hidratação, retração plástica, imperícia na execução de cura nas primeiras idades, descimbramento precoce, entre outras. Em consequência, tem-se a perda da estanqueidade, facilidade na penetração de agentes agressivos, eflorescências, o que leva a um desconforto estético e pode acarretar em problemas estruturais (SOUZA e RIPPER, 1998).

Os principais agentes agressivos ao concreto armado usufruem dos poros deixados pela expulsão da água de amassamento não utilizada na formação dos silicatos de cálcio hidratados (C-S-H) para ultrapassar o cobrimento mínimo e chegar até a armadura. Quanto mais permeável for o material, mais facilmente cloretos, gás carbônico e outros agentes agressivos alcançarão e degradarão o aço da estrutura (SOUZA e RIPPER, 1998). Dessa forma, um concreto com menor permeabilidade é mais eficaz do que um mais permeável em termos de redução das manifestações patológicas, provocadas por transporte de agentes agressivos externos, em quantidade e gravidade das mesmas.

Aditivos cristalizantes são fabricados com componentes que quando em contato com água e produtos da hidratação do cimento provocam uma série de reações químicas que acarretam numa formação cristalina insolúvel dentro dos poros do concreto (XYPEX, 2020). Por ser incorporado à mistura do concreto, antes do lançamento a utilização de aditivos cristalizantes não exige mão de obra especializada, bem como trabalhos posteriores à execução da estrutura. Porém, todos os estudos de dosagem devem ser realizados previamente afim de garantir que seu uso seja adequado ao concreto. A inserção do cristalizante no estado fresco promove a criação de estrutura cristalina insolúvel interna, o que reduz as possibilidades de penetração por pressões hidrostáticas positivas e negativas. Conseqüentemente, previne-se da infiltração em cortinas e reservatórios que possuem pressões de água

e pode ser ainda utilizado em pisos, pré-fabricados, lajes impermeabilizadas dentre outros.

Os aditivos cristalizantes visam garantir maior densidade na microestrutura do concreto como um todo, pois diminui a porosidade e trata as microfissuras causadas pelas retrações tanto plásticas quanto térmicas, nas primeiras idades. A dosagem do aditivo, todavia, deve ser cuidadosa afim de garantir o melhor aproveitamento do produto e, em especial, que a água de amassamento não seja consumida em excesso pelo aditivo, reduzindo assim a capacidade do cimento em promover resistência à compressão e à tração das peças (IBI, 2018).

1.1 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar a influência de um aditivo cristalizante comercial em concretos com diferentes consumos de cimento sem fissuração proposital. Para tanto, os objetivos específicos são:

- Verificar as alterações provocadas pelo aditivo na trabalhabilidade do concreto;
- Avaliar se o aditivo cristalizante provoca melhorias na resistência característica do concreto;
- Verificar se é viável a redução do consumo de aditivo sem afetar seu desempenho;
- Considerar se o uso do aditivo cristalizante promove menor permeabilidade do concreto.

1.2 JUSTIFICATIVA

As informações presentes em catálogos técnicos e comerciais de fabricantes de aditivos cristalizantes retratam com ênfase os benefícios de sua utilização, muitas vezes sem alertar para pontos negativos que a literatura aborda. O estudo aprofundado das propriedades no estado fresco e endurecido, dessa forma, é essencial para a avaliação dos reais benefícios e cuidados que devem ser tomados com o uso de tais aditivos.

Os limites de composição dos diferentes tipos de cimentos Portland de acordo com a NBR 16697 (ABNT, 2018) possibilitam que um mesmo tipo de cimento tenha diferentes características e propriedades. Os agregados naturais possuem variações em suas composições mineralógicas. As variações dos cimentos e agregados fazem com que o local de fabricação do concreto defina parâmetros para o uso dos aditivos e embora antes do lançamento comercial dos mesmos diversos testes são realizados, o estudo localizado é imprescindível para o entendimento e aplicações locais e podem variar para cada central dosadora de concreto inclusive na mesma cidade.

Por isso, este trabalho busca avaliar se as propriedades apresentadas pelo uso de aditivos cristalizantes se mantêm constantes em diferentes traços, com diferentes consumos de cimento. O estudo realizado na região de Curitiba/PR ainda busca validar se, para concretos sem fissuração, o aditivo gera melhorias nas propriedades no estado endurecido com os agregados da região.

O elevado custo de implantação da solução de cristalização da estrutura para inibir manifestações patológicas justifica estudo localizado para análise dos resultados com os agregados da região, uma vez que os mesmos interferem significativamente na formação da microestrutura do concreto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O concreto, como principal material da construção civil, é amplamente pesquisado para melhorar sua performance e reduzir os custos de produção. Os estudos e ensaios acerca de tal elemento construtivo são inúmeros e partem desde questões visíveis e simples, como o ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone que requer equipamentos simples e pode ser executado em qualquer superfície plana. Passa por ensaios que exigem equipamentos comuns à laboratórios como o ensaio de resistência à compressão axial e ensaios de absorção até micrografias com precisão de 1 nm que exigem equipamentos robustos e modernos (NEVILLE e BROOKS, 2013).

O concreto pode ser pedido por três parâmetros segundo a NBR 7212 (ABNT, 2012), resistência à compressão axial na idade controle, consumo de cimento e pela composição de traço. O controle tecnológico nos laboratórios pode ser medido por ensaios no estado fresco e endurecido. Destacam-se os ensaios de tempo de início de pega, teor de ar incorporado, coesão e consistência para o estado fresco, enquanto no estado endurecido os principais ensaios são de resistência à compressão axial, e módulo de elasticidade (MEHTA e MONTEIRO, 2014). Todos os ensaios possuem normas técnicas para execução e procedimentos e os parâmetros mínimos devem ser especificados em projeto, conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014).

O controle de resistência à compressão axial, consistência e abatimento do concreto são definidos pela NBR 12655 (ABNT, 2015), a qual define as condições e quantidades de ensaios a serem realizados dependendo do tipo de obra e tipo de preparação.

2.1 MICROESTRUTURA DO CONCRETO

O concreto é tratado como material uniforme a olho nu, todavia macroscopicamente é possível a diferenciação em agregados e matriz cimentícia, fazendo com que sua classificação se altere para bifásico. Observando a microestrutura percebe-se que o concreto pode ser classificado como trifásico, pois

se percebe a presença da zona de transição entre a pasta cimentada e os agregados (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

O cimento é o material ligante do concreto que entra em reação química em contato com a água (NEVILLE e BROOKS, 2013). Sua composição é apresentada na Tabela 1. Embora faça referência aos cimentos americanos, é possível traçar um paralelo com os produzidos nacionalmente.

Tabela 1 - Composição do cimento Portland

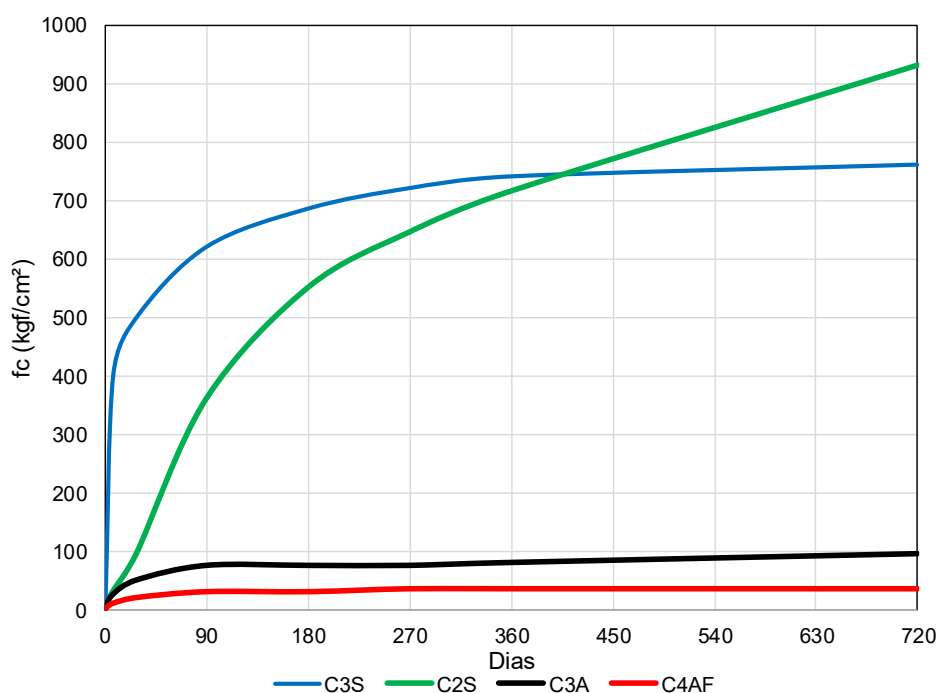
Nome do composto	Composição em óxidos	Abreviatura	Teor (%)
Silicato tricálcico	$3\text{CaO}.\text{SiO}_2$	C_3S	54,1
Silicato dicálcico	$2\text{CaO}.\text{SiO}_2$	C_2S	16,6
Aluminado tricálcico	$3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A	10,8
Ferroaluminato tetracálcico	$4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF	9,1

Fonte: Adaptado de Neville e Brooks (2013)

Os principais compostos que conferem ao concreto a resistência mecânica desejada (Figura 1) são o C_3S e o C_2S . As reações que ocorrem com ambos os materiais são apresentadas nas Equações 1 e 2, respectivamente (NEVILLE e BROOKS, 2013).



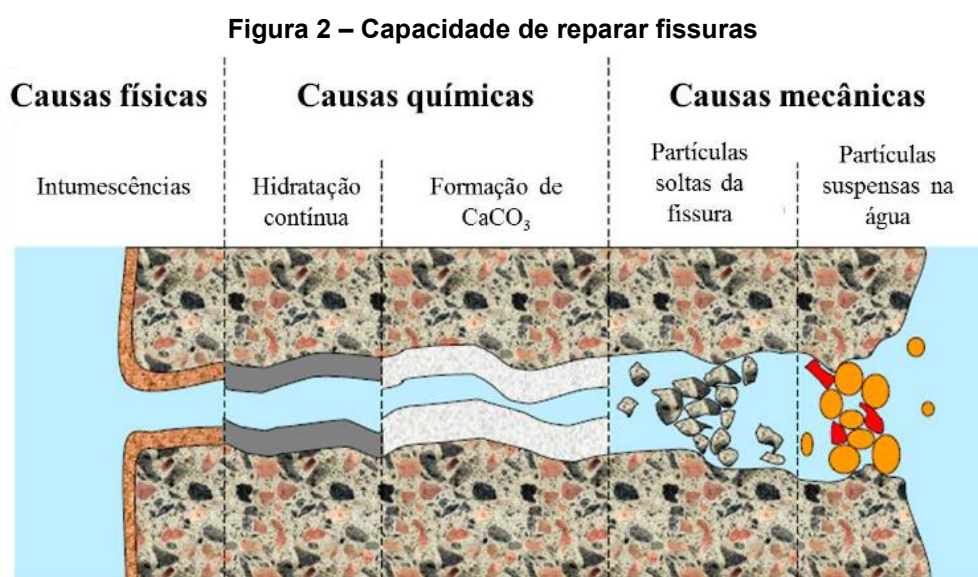
Figura 1 – Resistência mecânica de C_3S , C_2S , C_3A e C_4AF



Fonte: Adaptado de Neville e Brooks (2013)

Têm-se como alguns dos produtos da hidratação do cimento o C-S-H e hidróxido de cálcio. Ambas as reações são exotérmicas e liberam o que é chamado de calor de hidratação, definido como a quantidade de calor liberada por grama de cimento até sua completa hidratação. O calor de hidratação varia conforme a composição total do cimento, bem como suas propriedades físicas. Cimentos mais finos, por exemplo, possuem maior reatividade e maior calor de hidratação. Elevados calores de hidratação são uma das causas de microfissuras no concreto (PEREIRA, 2018).

Concretos com capacidade de reparar suas fissuras são estudados a fundo desde a criação do comitê técnico SHC 221 (RILEM, 2005). A primeira percepção dessas pesquisas trata da colmatação natural, que pode ter causas físicas, químicas e mecânicas. Tais processos estão ilustrados na Figura 2.



Fonte: De Rooij (2013)

A formação de carbonato de cálcio (CaCO_3) é a principal forma de colmatação autógena química nos concretos, ou seja, aquela intrínseca ao concreto sem que o mesmo seja dosado para a auto cicatrização. Neste caso a presença de íons Cálcio (Ca^{2+}) e de carbonatos (CO_3^{2-}) faz com que se precipite o carbonato de cálcio. A inserção de agentes cristalizadores, na mistura do concreto ou no estado endurecido, caracteriza a cicatrização autônoma, a qual é mais promissora no controle tecnológico do concreto (TAKAGI, 2013).

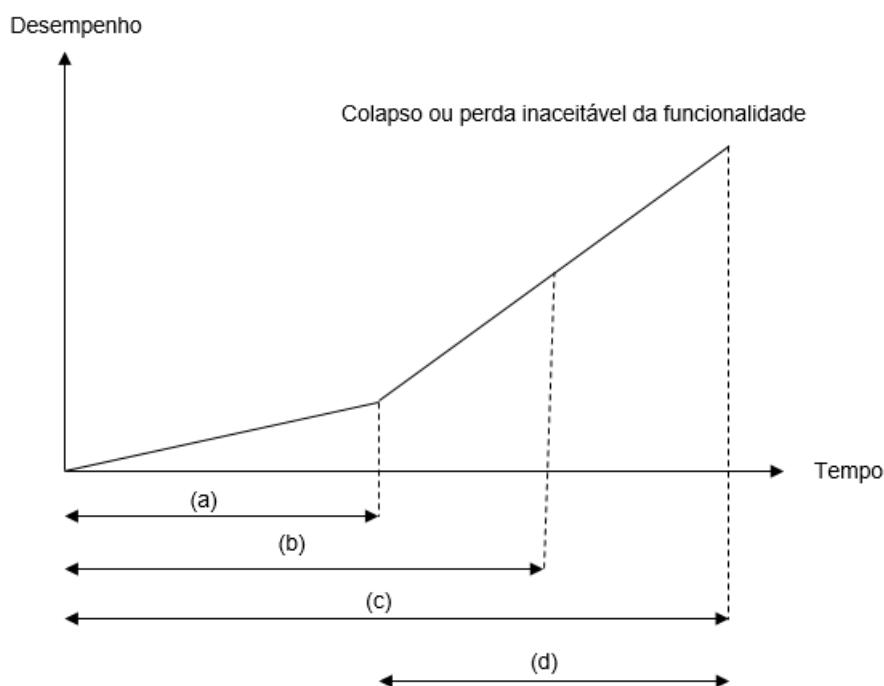
Observa-se a hidratação continuada (Figura 2) com novos produtos da hidratação do cimento. Como observado na Figura 1, os componentes do cimento ainda reagem mesmo passado longos períodos da mistura do concreto. A hidratação do cimento gera o dobro de volume do ocupado pelo grão, sendo assim ocupa o lugar vazio da fissura, quando a reação ocorre em local propício (DE ROOIJ *et al*, 2013).

Para se entender melhor a microestrutura do concreto é utilizada a microscopia eletrônica de varredura (MEV), que consegue com imagens de elétrons e retroespalhamento distinguir nanopartículas inorgânicas da estrutura orgânica na resolução de 1 nm. Os feixes de elétrons emitidos pelo aparelho interagem com a amostra e proporcionam a emissão de radiação eletromagnética. Tal radiação é detectável pelo microscópio e convertida em imagem. Tanto a escala quanto a resolução das imagens obtidas são extremamente superiores aos microscópios ópticos, que possuem resolução de 200 nm (LOPES, 2016). Verifica-se neste ensaio que existem espaços frágeis, os quais podem ser menores que o cimento. Neste caso, o uso de matérias mais finos, como a sílica ativa, melhoram a reologia do concreto (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

2.2 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NO CONCRETO

A vida útil de uma estrutura de concreto armado pode ser classificada de acordo com Helene (1997) separando-a em 4 grandes etapas, conforme a Figura 3.

Figura 3 – Etapas da vida útil de uma estrutura

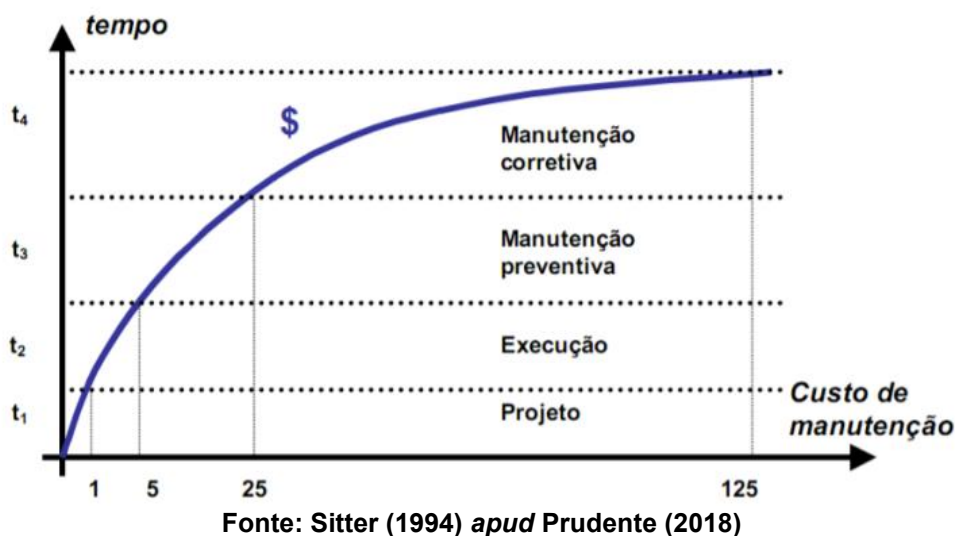


Fonte: Adaptado de Helene (1997)

O tempo “a” refere-se a vida útil de projeto, até o término da despassivação da armadura. Na etapa “b” inicia-se a manifestação dos efeitos de agentes agressivos e a estrutura começa a dar sinais, como aparecimento de manchas. No tempo “c”, há o colapso parcial e os custos para reparação já são elevados. A vida útil residual, “d”, ocorre quando após vistoria especializada e/ou intervenção ainda é possível que a estrutura desempenhe suas funções (HELENE, 1997).

Se tratando dos custos para uma intervenção Sitter (1984) *apud* Prudente (2018) afirma que há uma progressão geométrica de razão 5 conforme as etapas do empreendimento se passam (Figura 4).

Figura 4 – Lei de Sitter



Para uma determinada modificação com custo unitário na fase de projeto gasta-se 5 vezes quando a mesma é tomada durante a execução e pode chegar a 125 vezes no caso de manutenções corretivas. Para tanto é importante que as definições de uso e destino das edificações sejam bem planejadas, afim de evitar mudanças durante a vida útil (PRUDENTE, 2018).

2.2.1 Durabilidade de Estruturas de Concreto

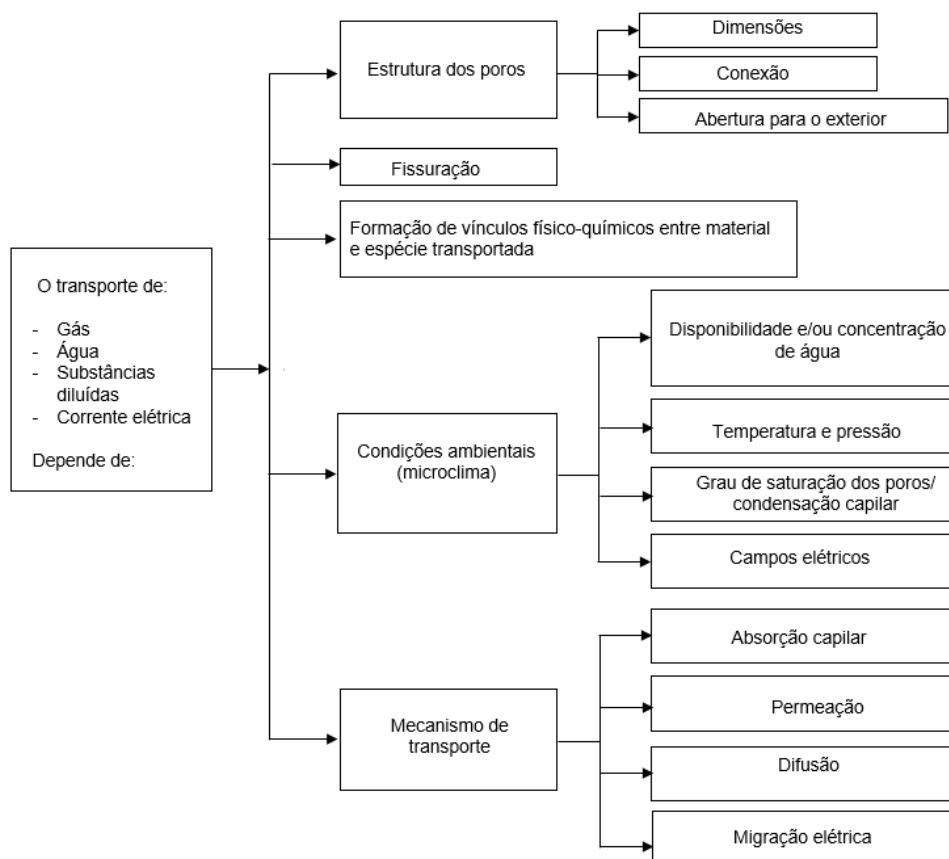
A NBR 15575 (ABNT, 2013) define durabilidade como:

Durabilidade: capacidade da edificação ou de seus sistemas de desempenhar suas funções, ao longo do tempo e sob condições de uso e manutenção especificadas no manual de uso, operação e manutenção. O termo “durabilidade” é comumente utilizado como qualitativo para expressar a condição em que a edificação ou seus sistemas mantêm seu desempenho requerido durante a vida útil. (NBR 15575, ABNT, 2013, p. 7).

A corrosão das armaduras são importante fato na perda de capacidade das estruturas de concreto armado em desempenhar corretamente suas funções de projeto. Os agentes agressivos corroem a armadura do concreto e a fazem expandir até 8 vezes seu tamanho. Tal expansão cria tensões não projetadas no concreto e pode até causar o desprendimento do concreto responsável pelo cobrimento da armadura (GONÇALVES, 2015). Os íons sulfato e íons cloreto, comuns em ambientes industriais e marinhos, reagem quimicamente com o aço da estrutura ocasionando a

perda de capacidade estrutural (COUTO *et al*, 2003). Os fatores envolvidos no transporte dessas substâncias são apresentados na Figura 5.

Figura 5 – Fatores envolvidos no transporte das substâncias



Fonte: Adaptado de Bertoloni (2010)

A NBR 6118 (ABNT, 2014) corrobora com a importância dos fatores ambientais na agressividade para com as estruturas, como apresentado na Figura 5. As exigências da norma variam e são apresentadas na Tabela 2. Os mecanismos de transporte variam conforme a estrutura dos poros, dessa forma a fissuração influencia no transporte de substâncias. As condições ambientais apresentadas na Figura 5 se agrupam formando as classificações da Tabela 2.

Tabela 2 – Agressividade ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana	Pequeno
III	Forte	Marinha	Grande
		Industrial	
IV	Muito forte	Industrial	Elevado
		Respingos de maré	

Fonte: Adaptado de NBR 6118 (ABNT, 2014)

As fissuras têm origem no estado fresco e endurecido, a depender da causa da mesma (SOUZA e RIPPER, 1998). Quando causadas pelo carregamento da estrutura a abertura máxima é definida pela NBR 6118 (ABNT, 2014) e varia de acordo com a classe de agressividade ambiental, apresentada na Tabela 2.

2.2.2 Mecanismos de Fissuração

As fissuras por retração plástica são formadas a partir da perda de água na superfície, que ocorre principalmente pela ação do vento e do calor. A hidratação dos grãos de cimento fica comprometida com a perda da água de amassamento, o que acarreta na formação das fissuras. O desrespeito ao cobrimento mínimo também pode gerar problemas à estrutura, porém neste caso ocorre exsudação desigual em função das barras de aço e provoca o assentamento plástico do concreto nas primeiras horas (SOUZA e RIPPER, 1998).

A hidratação do cimento é um processo exotérmico. Quanto mais fino for o material, maior calor liberará, uma vez que a finura é inversamente proporcional à área superficial. A reação torna-se mais rápida e para grandes volumes de concretagem causa alterações volumétricas significativas na pasta pouco endurecida. A consequência é a criação de tensões internas que, dependendo do grau, causam microfissuras na microestrutura do concreto (LOPES, 2016).

Gradientes de temperatura ocasionados pelas reações exotérmicas do concreto causam tensões internas, uma vez que os elementos endurecem de fora para dentro. As tensões internas geram microfissuras, uma vez que a zona de transição é frágil. Elementos com grandes volumes de concreto exigem especial atenção quanto ao calor de hidratação (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

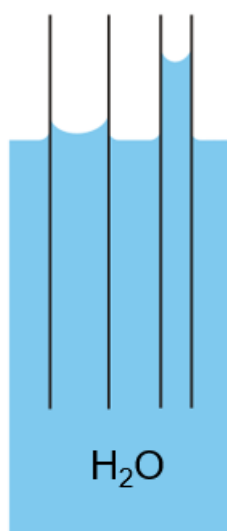
A desforma precoce de estruturas de concreto também pode gerar fissurações, uma vez que ao ainda não ter atingido a resistência mínima para receber seu peso próprio ocorrem deformações. Tais deformações fazem com que haja um rearranjo estrutural e microfissuras podem se formar (SOUZA e RIPPER, 1998).

Carregamentos não previstos na estrutura podem fazer com que o concreto trabalhe além de sua capacidade de resistir à esforços de tração. A fissuração, geralmente na face inferior dos elementos, então ocorre. É imprescindível, dessa forma, que as ações reais sejam compatíveis com os esforços de projeto, evitando assim desconforto ao usuário e manifestações patológicas (NEVILLE e BROOKS, 2013).

2.2.3 Transporte de Agressivos

O princípio da capilaridade, apresentado na Figura 6, explica o transporte de água e substâncias dissolvidas entre os poros do concreto. Quanto menores os poros, maior é a infiltração de água. É importante ressaltar que para isso é preciso que os poros estejam conectados entre si, tornando a estrutura permeável. Percebe-se, dessa forma, que tornar a microestrutura menos permeável é uma maneira de garantir maior durabilidade às estruturas de concreto armado (SOMBRIIO, 2019).

Figura 6 – Princípio da capilaridade



Fonte: O autor (2020)

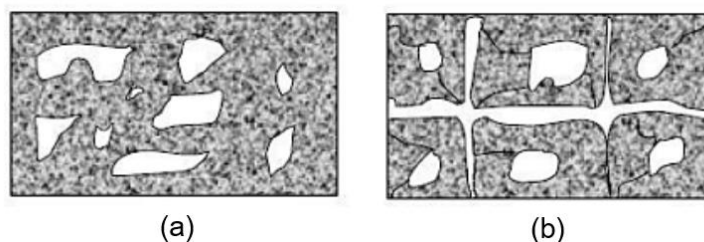
Baixas relações água/aglomerante geram poros com menores diâmetros, o que causaria penetrações por capilaridade mais profundas. Bianchin (2018), todavia, aponta que os poros formados em concretos com baixa relação água/aglomerante são menos interconectados, o que torna a estrutura mais impermeável e menores alcances por capilaridade. O processo de cura auxilia na impermeabilização, visto que concretos curados também possuem menor conectividade dos poros.

Em situações de gradiente de pressão, positivos e negativos, os agentes patogênicos podem também ser incorporados no concreto e chegar até a armadura. As lajes subpressão e paredes diafragma possuem sempre com algum gradiente de pressão de água, tais estruturas necessitam de maior cautela durante sua execução para evitar manifestações patológicas. Os mecanismos autógenos não são suficientes para fechamento das fissuras, porém a incorporação de aditivos cristalizantes promove a cicatrização autônoma (TAKAGI, 2013).

2.2.4 Porosidade e Permeabilidade

Na microestrutura do concreto existem inúmeros poros. Souza e Ripper (1998) definem o concreto como um pseudo-sólido, detentor de uma estrutura porosa. Neville (2016) define porosidade como a proporção do volume de poros frente ao volume total do material, porém ressalta que a permeabilidade depende da ligação dos poros. É possível, dessa forma, concretos com elevada porosidade e baixa permeabilidade. A permeabilidade é causada pelo excesso de água de amassamento, retração térmica, dosagem errônea, entre outros (BAUER, 2008). Na Figura 7 estão exemplificadas estruturas porosas permeáveis e impermeáveis.

Figura 7 – Estruturas porosas impermeáveis (a) ; permeáveis (b)



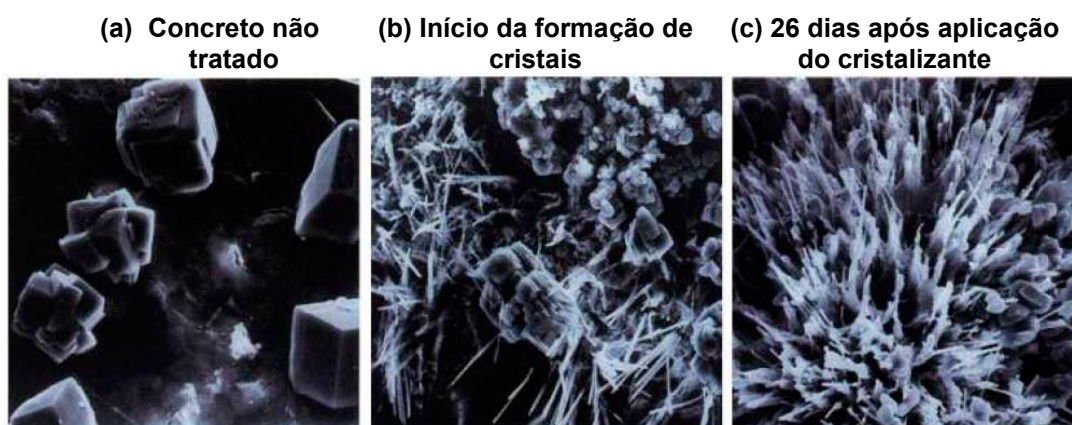
Fonte: Ismail (2006)

De acordo com Silva *et al.* (2009), o uso de aditivos incorporadores de ar reduz o consumo de materiais, garante maior trabalhabilidade e menores massas específicas com o aumento da porosidade do concreto. A absorção de água, entretanto, foi maior para o concreto referência frente aos que possuíam incorporador de ar nos estudos, visto que as bolhas de ar provocam desconectividade dos capilares, comprovando a ausência de correlação entre porosidade e impermeabilidade.

2.3 MECANISMOS DOS ADITIVOS CRISTALIZANTES

A impermeabilização é intrínseca à mistura e promove a formação de cristais quando em contato com a água, hidróxidos de alumínio e cálcio, além de outros sais e óxidos presentes no concreto. Os cristais formados preenchem os poros deixados na hidratação do cimento (Figura 8), na qual é possível observar a comparação entre o concreto não tratado, início da formação de cristais e 26 dias após a aplicação (TAKAGI, JUNIOR e OLIVEIRA, 2004).

Figura 8 – Comparação entre as fases de hidratação do aditivo

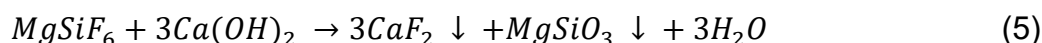
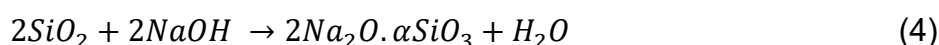
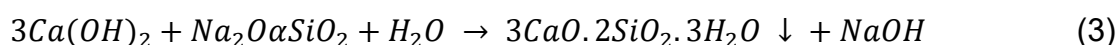


Fonte: Takagi, Júnior e Oliveira (2004)

O sistema promove a proteção em nível microscópico e, dessa forma, não é afetado por intempéries e também não necessita de uma camada extra de proteção além da impermeabilização, como as mantas asfálticas. Ainda por estar na microestrutura não há chance de ocorrer o deslocamento da impermeabilização

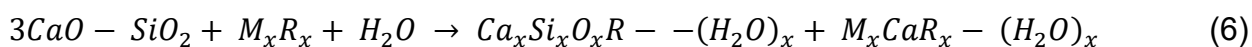
devido a presença de pressões negativas da água. Outra vantagem é que a proteção não é perfurada no momento da instalação ou no seu uso, como ocorre nos métodos que garantem a impermeabilização depois da estrutura executada (PEREIRA e NASCIMENTO, 2017).

Takebe *et al.* (1989) *apud* Takagi (2013) descreveram as Equações 3, 4 e 5, simplificadas para a cristalização. Os produtos das reações químicas preenchem os vazios na microestrutura dos concretos produzidos para o tratamento, armazenamento e eliminação de resíduos com baixa radioatividade no Japão.



As propriedades mecânicas são recuperadas com a mistura de $CaCO_3$, etringita e C-S-H no interior das fissuras. A formação de carbonato de cálcio nas bordas das fissuras, entretanto, que torna o concreto menos permeável dificulta a cristalização interna das fissuras, uma vez que a água faz parte da reação. Percebe-se que o ideal é a colmatação de dentro para fora, que fecha completamente as fissuras (SISIMPHON, COPUROGLU e KOENDERS, 2013).

O comitê 212 da ACI afirma que o princípio de funcionamento dos aditivos cristalizantes é o descrito na Equação 6.



Nota-se que a presença de água é fundamental no processo de cristalização com o uso do aditivo (TAKAGI, 2013).

2.4 ESTUDOS RECENTES COM ADITIVOS CRISTALIZANTES

As pesquisas recentes têm como foco principal a cicatrização de fissuras e não enfocam a cristalização do concreto. Por falta de normativas acerca dos mecanismos de funcionamento dos aditivos cristalizantes é difícil um consenso de

metodologia para a verificação das vantagens do uso de tal aditivo. Hickman e Macmillan (2018) afirmam que o uso de aditivo cristalizante altera a relação água/aglomerante dos concretos, uma vez que o aditivo também agirá como aglomerante na mistura, mesmo que as reações sejam tardias. Quando a relação água/aglomerante é mantida a mesma para o grupo de controle e os concretos tratados com cristalizantes os resultados de cicatrização não são favoráveis ao uso do aditivo cristalizante. O aumento do consumo de cimento tem o mesmo efeito do aditivo cristalizante, pois favorece a cicatrização autógena. Os resultados insatisfatórios ainda levam pesquisadores a omitirem as marcas dos aditivos em seus estudos, segundo Hickman e Macmilan (2018).

Escoffres et al. (2018), no entanto, relatam que houve melhora de desempenho com o uso de aditivos cristalizantes em concretos de alta performance reforçados com fibras. A melhora foi observada nas propriedades mecânicas do concreto e na capacidade de permeabilidade.

Nasim et al. (2020) em pesquisa bibliográfica sobre a utilização dos aditivos cristalizantes afirmam que em relação à resistência à compressão axial não se tem um consenso sobre a atuação do aditivo. As variações apresentadas em diversos estudos dependem das relações água/cimento, tipo de cura e quantidade de aditivo utilizado. Existe um consenso nas pesquisas da melhora das propriedades quando utilizada cura úmida em comparação com a cura a ar. Os autores reportam que a idade de formação de fissuras não altera o mecanismo de cicatrização, sendo assim, o cristalizante é ativado apenas quando encontra as condições necessárias para sua atuação, não tendo influência do tempo dentro do concreto no processo.

No Brasil, Agliardi et al. (2020) relatam que a utilização de aditivo cristalizante ocasionou retardo no ganho de resistência à compressão axial nas primeiras idades, até 28 dias. Os estudos de dosagem para a utilização do aditivo, dessa forma, devem levar em conta que os resultados esperados sejam alcançados em idades mais avançadas. É de extrema importância a avaliação das propriedades mecânicas do concreto para que o descimbramento seja adequado. A utilização do aditivo teve melhor resultado em relações água/cimento mais baixas. Além disso o tipo de cimento também influencia na ação do cristalizante. O estudo de dosagem e controle tecnológico do concreto é essencial para o adequado funcionamento do aditivo.

Bodanese et al. (2019) obtiveram ganhos de resistência de 20% em concretos fissurados após 3 dias e utilização de cristalizante associado a ciclos de molhagem

dos corpos de prova. Os autores, no entanto, afirmam que uma hipótese para a melhora do desempenho é o aditivo trabalhando como material fino na microestrutura e não quimicamente.

Brito et al. (2019) relatam que a utilização de escória de alto-forno somada ao aditivo potencializa os resultados, tanto na resistência à compressão quanto na absorção d'água.

2.5 APLICAÇÕES DE CONCRETOS COM ADITIVOS CRISTALIZANTES NO BRASIL

No Brasil, diversas obras já utilizaram aditivos cristalizantes com o propósito de melhorar a durabilidade e prolongar a vida útil das estruturas. Destacam-se o uso em grandes obras de arte de concreto armado, tais como o Museu da Imagem e do Som (M.I.S.) – Figura 9 – onde o cristalizante foi utilizado em laje subpressão (BRITEZ *et al*, 2013).

Figura 9 – Museu da Imagem e do Som (M.I.S)



Fonte: Britez et al (2013)

Já no Museu de Arte do Rio (M.A.R.) - Figura 10 - o uso foi na laje de cobertura como impermeabilizante (TAKAGI, 2013).

Figura 10 – Museu de Arte do Rio (M.A.R)



Fonte: Takagi (2013)

É possível a utilização do aditivo cristalizante também para recuperação de estruturas já existentes, como o caso da Barragem de Jucazinho – Pernambuco – que teve o tratamento de fissuras realizado com esta técnica (PENETRON). Na Figura 11 é apresentado o trabalho de recuperação com jateamento de concreto aditivado.

Figura 11 – Recuperação da estrutura em Jucazinho



Fonte: Penetron¹

Constata-se que o uso de cristalizante já é uma realidade no Brasil para diversas obras (PENETRON).

¹ Disponível em: <http://penetron.com.br/barragem-do-jucazinho-surubim-pe/> Acesso em 26/11/2019

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho busca compreender os efeitos causados pelo uso do aditivo cristalizante nos estados fresco e endurecido do concreto. A abordagem utilizada refere-se à impermeabilização e proteção do concreto logo nas primeiras idades, portanto, estudos sobre a colmatação de fissuras causadas por carregamentos no estado limite de serviço não serão considerados. Sendo assim, todos os ensaios foram realizados com até 210 dias após a moldagem dos corpos de prova, sem pré-carga. Os ensaios foram realizados com 210 dias em função da pandemia causada pela Covid-19, o programa experimental inicial não se cumpriu em decorrência das medidas de isolamento.

3.1 DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS

3.1.1 Cimento Portland

O cimento Portland CP V-ARI possui o maior percentual de pureza dos cimentos comerciais, visto que a NBR 16697 (ANBT, 2018) garante que pelo menos 90 % de sua composição seja de clínquer e sulfatos de cálcio, uma vez que o cimento CP I é dificilmente encontrado no mercado. Para tanto, utilizou-se cimento CP V-ARI produzido na região de Curitiba / PR. As informações relativas ao cimento fornecidas pelo fabricante são apresentadas nas Tabela 3 e Tabela 4.

Tabela 3 – Composição química CP V-ARI

	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Perda ao Fogo	CaO Livre	Resid. Insol.	Equiv. Alcal
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Média	4,28	19,02	2,80	62,72	2,90	2,68	3,62	0,97	0,82	0,67
Sd	0,05	0,27	0,12	0,46	0,20	0,08	0,18	0,11	0,12	0,07
Min	4,18	18,66	2,65	62,00	2,66	2,51	3,34	0,81	0,55	0,57
Máx	4,35	19,31	3,04	63,52	3,28	2,77	3,88	1,18	1,01	0,79

Fonte: Fornecedor de cimento (2020)

Tabela 4 – Características físicas CP V-ARI

	Exp. Quente	Tempo de Pega		Cons. Normal	Blaine	#200	#325	Resistência à Compressão Axial			
		Início	Fim					1 dia	3 dias	7 dias	28 dias
	mm	min	min	%	cm ² /g	%	%	MPa	MPa	MPa	MPa
Média	0,20	175	230	29,8	4363	0,06	0,62	24,7	40,0	46,3	56,1
Sd	0,42	11	14	0,1	32	0,03	0,25	0,9	1,0	0,8	0,3
Min	0,00	150	210	29,5	4330	0,03	0,30	23,3	38,1	45,1	55,7
Máx	1,00	190	255	29,9	4440	0,10	1,00	25,7	41,7	47,3	56,5

Fonte: Fornecedor de cimento (2020)

Para este estudo os cimentos foram armazenados conforme a NBR 12655 (ABNT, 2015) com proteção extra embalados com lona de 100 micras.

3.1.2 Agregados

Os agregados foram obtidos na região de Curitiba e armazenados em baias, em local coberto. Mesmo protegidos das intempéries foi realizado ensaio de umidade relativa antes de todas as misturas para correção da água de amassamento.

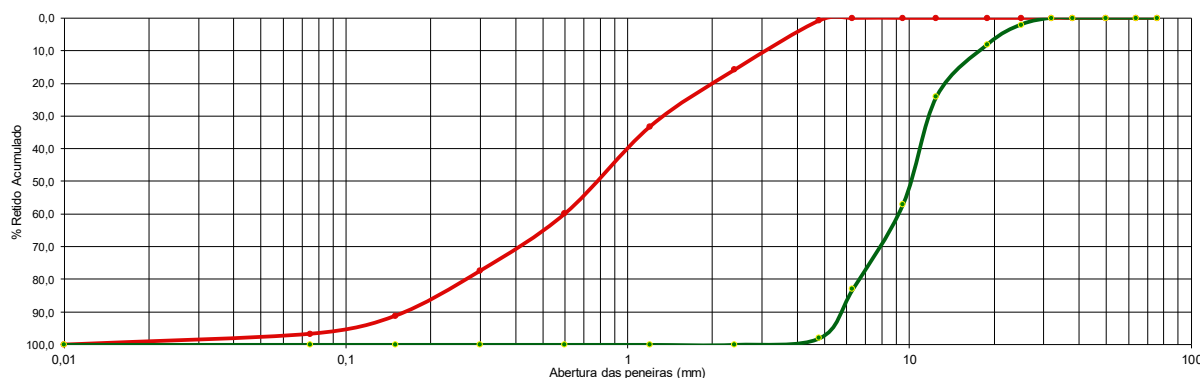
A curva granulométrica dos agregados é apresentada na Figura 12, enquanto na Tabela 5 são apresentadas as características físicas do agregado miúdo.

Tabela 5 – Características físicas agregado miúdo

Agregado miúdo - caracterização	
Módulo de finura	2,78
Massa específica (g/cm ³)	2,57
Umidade antes da caracterização	8,90%

Fonte: O autor (2020)

Figura 12 – Curva granulométrica dos agregados



Fonte: O autor (2020)

3.1.3 Aditivo Cristalizante

O aditivo cristalizante utilizado possui massa específica aparente de 1,02 kg/L, enquanto que a absoluta é 2,90 kg/L. A sua coloração é acinzentada.

3.1.4 Água

A água utilizada para o preparo das argamassas e concretos, bem como nos ensaios de absorção provém da companhia de saneamento que abastece Curitiba, a SANEPAR.

3.2 DEFINIÇÃO DOS TRAÇOS

O traço de concreto foi calculado pelo método ABCP para resistência característica de 30 MPa e desvio padrão de 4,0 MPa. Para as argamassas o traço foi estabelecido alterando apenas a quantidade de agregado miúdo. A dosagem padrão estabelecida pelo fabricante é de 1% sobre a massa de cimento, para efeitos de comparação adotou-se também um percentual menor (0,8%), sugerido pelo departamento técnico do fabricante tendo como objetivo avaliar uma possível redução de custos. Na Tabela 6 são apresentadas as denominações e traços unitários.

Tabela 6 – Traços unitários em massa

Nomenclatura	Traço unitário em massa				
	Cimento	Agregado miúdo	Agregado graúdo	a/c	% Aditivo cristalizante
R0	1	3,00	-	0,55	0,0
R8	1	3,00	-	0,55	0,8
R1	1	3,00	-	0,55	1,0
P0	1	4,50	-	0,55	0,0
P8	1	4,50	-	0,55	0,8
P1	1	4,50	-	0,55	1,0
C0	1	1,25	2,48	0,46	0,0
C1	1	1,25	2,48	0,46	1,0

Fonte: O autor (2020)

A denominação dos traços se deu com o numeral em função do percentual de aditivo em relação à massa de cimento, sendo 0 o traço controle sem a presença de aditivo, 8 com 0,8% de aditivo em relação à massa de cimento e 1 com 1%. A letra R refere-se à argamassa com maior consumo de cimento, traço rico, enquanto a letra P refere-se à argamassa com menor consumo de cimento, traço pobre. Os concretos desenvolvidos têm sua denominação iniciada com a letra C.

Como as argamassas têm maior teor de finos foi necessário aumentar a relação água/cimento para uma boa mistura. Optou-se por não utilizar aditivo plastificante para tal tendo em vista que o mesmo pode influir na ação do aditivo cristalizante.

3.3 PREPARO DAS AMOSTRAS

O cristalizante atua na matriz cimentada e sua zona de transição com o agregado miúdo. Dessa forma, foram analisados corpos de prova produzidos com argamassas, afim de reduzir o consumo de material utilizado frente aos ensaios, possibilitando um maior número de ensaios e corpos de prova em comparação ao que poderia ser produzido com concreto. Para a moldagem utilizou-se moldes metálicos cilíndricos com 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura, os mesmos foram preparados com desmoldante, afim de garantir a integridade dos corpos de prova durante a desforma. Afim de validar as propriedades do aditivo cristalizante em concretos foram moldados corpos de prova de concreto cilíndricos, com diâmetro e altura respectivamente 10 e 20 centímetros, para ensaios apenas com 90 dias.

A separação dos materiais foi feita com uma balança com precisão de 100 gramas e a para a mistura foi utilizada betoneira elétrica com capacidade para 80 litros de concreto (Figura 13).

Figura 13 – Betoneira utilizada para mistura das argamassas e concretos



Fonte: O autor (2020)

Os corpos de prova foram desmoldados com 24 horas após a moldagem e armazenados em câmara úmida até o momento dos ensaios.

3.4 ENSAIOS NO ESTADO FRESCO

Para argamassas no estado fresco foram realizados os ensaios de determinação do índice de consistência (Figura 14), segundo a NBR 13276 (ANBT, 2016), para avaliação das dificuldades de bombeamento que podem ser causadas pelo aditivo cristalizante. Embora a NBR 13278 (ANBT, 2005) seja utilizada para medir o teor de ar de argamassas para assentamento, o ensaio citado anteriormente será adotado. Mesmo que a argamassa produzida neste experimento seja para a produção de concreto, optou-se por manter esse ensaio, uma vez que a propriedade é intrínseca ao material.

Figura 14 – Ensaio índice de consistência

Fonte: O autor (2020)

No concreto a consistência foi avaliada pelo ensaio de abatimento do tronco de cone (Figura 15) segundo a NBR NM 67 (ANBT, 1998). Em todas as misturas foi realizado ensaio de massa específica no estado fresco, para as argamassas foi seguida a metodologia da NBR 13278 (ABNT, 2005) enquanto que para os concretos a massa específica no estado fresco foi obtida durante a moldagem dos corpos de prova. Obteve-se a massa de concreto e calculou-se o volume com as medidas de diâmetro e altura do molde do corpo de prova.

Figura 15 – Ensaio de abatimento do tronco de cone

Fonte: O autor (2020)

Os ensaios de consistência no estado fresco foram realizados apenas uma vez por traço.

3.5 ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO

A redução da permeabilidade do concreto é o principal atrativo dos aditivos cristalizantes. Dessa forma os ensaios no estado endurecido visam avaliar justamente tal ponto. Para isso, foram realizados os seguintes ensaios em todos os traços, tanto concretos quanto argamassas:

- Absorção por imersão;
- Absorção por capilaridade;
- Porosimetria por intrusão de mercúrio;
- Resistência à compressão axial.

Os corpos de prova utilizados nos ensaios de absorção, tanto por imersão quanto por capilaridade, foram descartados. Para a análise de resistência foram produzidas amostras independentes, evitando assim a propagação de erros de um experimento para outro, especialmente pelo processo de secagem em estufa.

Na Tabela 7 são apresentadas as quantidades de ensaios a serem realizados em cada idade, de acordo com o traço.

Tabela 7 – Quantidades de ensaios no estado endurecido

Ensaio	Idade	Rico			Pobre			Concreto	
	(dias)	R0	R8	R1	P0	P8	P1	C0	C1
Resistência à compressão axial	28	4	4	4	4	4	4	-	-
	90	-	-	-	-	-	-	5	5
	210	4	4	4	4	4	4	-	-
M.E e absorção por imersão	28	4	5	5	4	4	4	-	-
	90	-	-	-	-	-	-	3	3
	210	3	3	3	3	3	3	-	-
Absorção por capilaridade	28	4	4	4	4	4	4	-	-
	90	-	-	-	-	-	-	5	5
	210	5	5	5	5	5	5	-	-

Fonte: O autor (2020)

A execução de mais de três corpos de prova para os ensaios busca dar maior confiabilidade aos dados e sua análise estatística.

3.5.1 Ensaio de Absorção por Imersão

Para o ensaio de absorção por imersão os corpos de prova foram secos em estufa a 100°C por 24 horas. Foi feita a aferição da massa seca e em sequência os corpos de prova foram imersos em água por 24 horas. A aferição das massas seca, saturada com superfície seca e imersa se deu em balança com precisão de 0,1 grama. O método de cálculo utilizado seguiu o que é descrito na NBR 9778 (ABNT, 2005).

3.5.2 Ensaio de Absorção por Capilaridade

Para o ensaio de absorção por capilaridade os corpos de prova foram secos em estufa a 100°C por 24 horas. Foi feita a aferição da massa seca e os corpos de prova foram colocados em um recipiente vedado. Os corpos de prova foram apoiados em espaçadores para concreto para garantir que a face inferior estivesse em contato com a água (Figura 16). Foram realizadas marcações nos corpos de prova a 5 milímetros da face inferior para que a água não ultrapassasse tal marca e então foi enchido o recipiente com água em temperatura ambiente até a marca feita nos corpos de prova.

Figura 16 – Ensaio de absorção por capilaridade



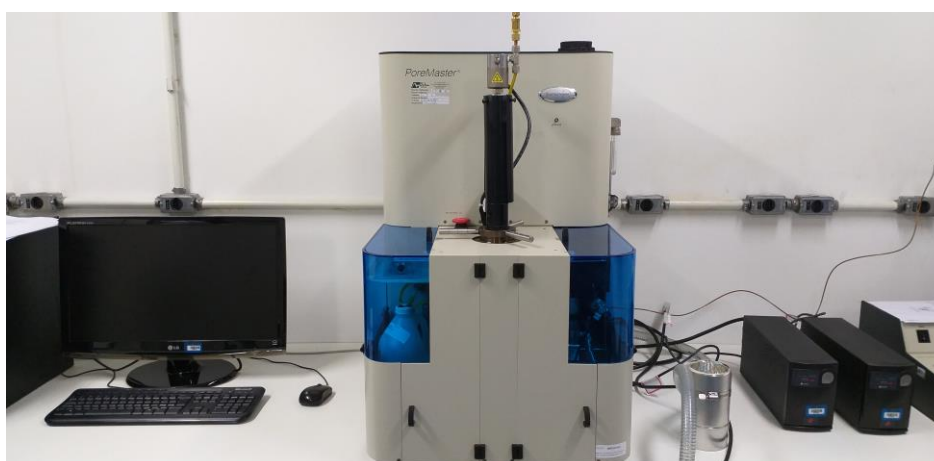
Fonte: O autor (2020)

Foi seca a superfície de contato com a água com um pano úmido para aferir a massa durante o processo de capilaridade. Foram aferidas massas úmidas com 3; 6; 24 e 48 horas após a imersão da face inferior. Foi utilizada balança com precisão de 0,1 grama para aferição das massas. O método de cálculo utilizado seguiu o que é descrito na NBR 9779 (ABNT, 2012).

3.5.3 Ensaio de Porosimetria por Intrusão de Mercúrio

O ensaio de porosimetria por intrusão de mercúrio foi realizado em duas etapas, na primeira o mercúrio é injetado na cápsula de ensaio a baixa pressão enquanto que a segunda etapa ocorre com alta pressão. O software admite em seu cálculo que os poros são cilíndricos, o que pode levar a conclusões equivocadas, especialmente em materiais heterogêneos, como o concreto. A microestrutura de poros conectados faz com que os mesmos não sejam cilíndricos, causando diferença de pressão durante o ensaio. O equipamento utilizado é do fabricante QUANTACHROME e seu modelo é o Poremaster 33 (Figura 17), que trabalha com ar sintético a 60psi. As leituras se dão na faixa de baixa pressão de mercúrio de 0,2 a 50 psi e alta pressão de 20 a 33.000 psi. Os dados de entrada do mercúrio são: ângulo de contato 140° , tensão superficial de 480 dynes/cm.

Figura 17 – Equipamento utilizado para porosimetria



Fonte: O autor (2020)

As amostras foram colhidas após o ensaio de resistência à compressão axial com 210 dias para as argamassas e 90 dias para os concretos.

3.5.4 Ensaio de Resistência à Compressão

A verificação da resistência à compressão é de extrema importância, visto que a definição da classe do concreto ocorre por tal fator. Os corpos de prova, para o ensaio de resistência à compressão axial foram retificados, para os demais ensaios foi mantido o estado de moldagem. Os corpos de prova de argamassa foram ensaiados na presa EMIC – DL 100 (Figura 18) enquanto os corpos de prova de concreto foram ensaiados na prensa EMIC PC 200, no laboratório da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Sede Ecoville.

Figura 18 – Ensaio de resistência à compressão axial



Fonte: O autor (2020)

A velocidade de carregamento utilizada é descrita na NBR 5739 (ABNT, 2018) em 0,45 MPa/s.

3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS

Para a comparação dos resultados foi utilizado o teste t student com grau de confiança de 95%. O teste consiste em avaliar as médias dos resultados. A Equação 7 é utilizada para obter o valor t_0 .

$$t_0 = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{Sp^2 * (\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2})}} \quad (7)$$

Onde:

- $Sp^2 = \frac{(n_1-1)*Sp_1^2 + (n_2-1)*Sp_2^2}{n_1+n_2-2}$
- Sp é o desvio padrão amostral
- n1 e n2 são os graus de liberdade do ensaio

O valor t0 é comparado com valores da Tabela 8 onde utiliza-se o número de graus de liberdade como $n_1 + n_2 - 2$.

Tabela 8 – Valores de t – teste t student

gl	Probabilidade t (95%)
1	12,706
2	4,303
3	3,182
4	2,776
5	2,571
6	2,447
7	2,365
8	2,306
9	2,262
10	2,228

Fonte: O autor (2020)

A hipótese de que as médias são iguais se dá quando t0, em módulo, é menor que o valor tabelado t. Quando o módulo de t0 é maior que o valor tabelado admite-se que as médias são diferentes. Os valores descritos na Tabela 8 são válidos para 95% de significância.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 RESULTADOS NO ESTADO FRESCO

Os resultados obtidos no ensaio de índice de consistência para argamassas são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Índice de consistência

Traço	Índice de consistência (mm)
P0	238
P8	247
P1	241
R0	183
R8	168
R1	174

Fonte: O autor (2020)

No estado fresco não houve alteração em termos de trabalhabilidade para os traços com aditivo cristalizante. As medidas de abertura do flow table foram próximas dentro dos mesmos traços. A avaliação visual também não constatou alterações causadas pelo aditivo, como exsudação por exemplo. Os resultados de abatimento pelo tronco de cone, realizados nos concretos (C0 e C1) são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Abatimento pelo tronco de cone

Traço	Abatimento pelo tronco de cone (mm)
C0	28
C1	27

Fonte: O autor (2020)

Para os concretos também não houve diferença no ensaio de consistência, bem como não foram observadas alterações visuais causadas pelo aditivo.

As massas específicas no estado fresco são apresentadas na Tabela 11.

Tabela 11 – Massa específica estado fresco

Traço	Massa específica no estado fresco (kg/m³)
P0	2146,3
P8	2118,0
P1	2084,3
R0	2156,8
R8	2180,3
R1	2162,3
C0	2356,7
C1	2369,4

Fonte: O autor (2020)

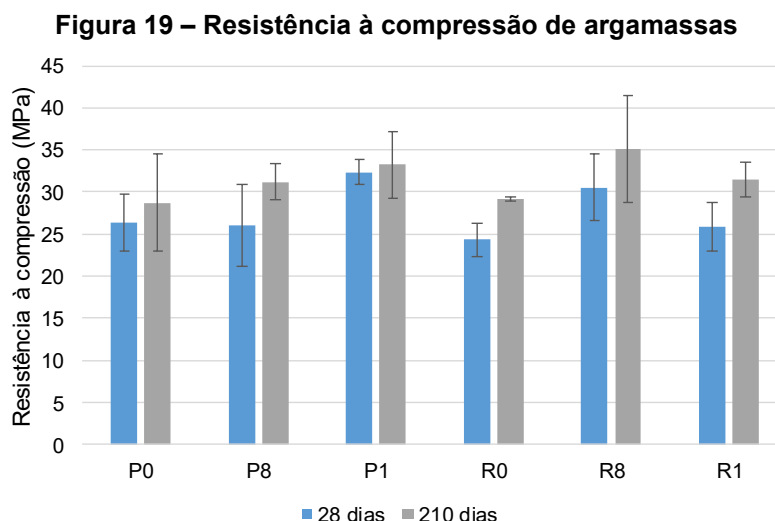
As alterações na massa específica não superaram 3% quando comparadas nos seus respectivos traços, pobre com pobre, rico com rico e concreto com concreto. No estado fresco, portanto, foi evidenciado que o aditivo não altera as propriedades do concreto.

4.2 RESULTADOS NO ESTADO ENDURECIDO

4.2.1 Resistência à Compressão Axial

Os resultados são apresentados graficamente com a média dos ensaios e o desvio padrão amostral. A relação completa com todos os resultados encontra-se no apêndice, inclusive com o cálculo de t_0 para análise com o auxílio do método de t student com os graus de liberdade da Tabela 7.

Os resultados de resistência à compressão axial para as argamassas são apresentados na Figura 19.



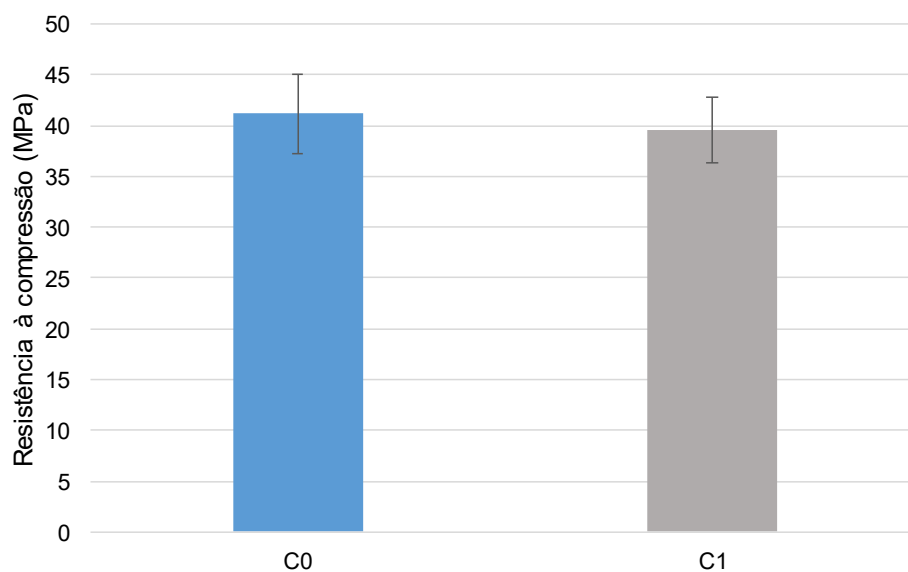
Fonte: O autor (2020)

Para as argamassas observa-se que, para 95% de grau de confiança de acordo com o teste t student, há melhora da resistência à compressão axial do traço P1, que possui 1% de aditivo em relação à massa de cimento, em comparação aos traços P0 e P8, que possuem 0 e 0,8% de aditivo respectivamente, quando ensaiados com 28 dias de idade.

O traço de argamassa rica com adição de 0,8% de cristalizante, R8, apresentou melhora significativa em relação ao traço sem aditivo, também com 28 dias. O traço com 1% de aditivo, R1, entretanto, não apresentou diferenças significativas em relação à amostra de referência R0. Na argamassa rica, portanto, o uso de 0,8% de aditivo foi benéfico, em termos de resistência.

Para os ensaios realizados com 210 dias as argamassas P0; P8 e P1 não obtiveram diferença significativa entre si. Observou-se o mesmo comportamento na comparação de R0; R8 e R1, conforme dados apresentados no apêndice.

Se tratando de resistência à compressão axial dos concretos os resultados obtidos com 90 dias são apresentados na Figura 20.

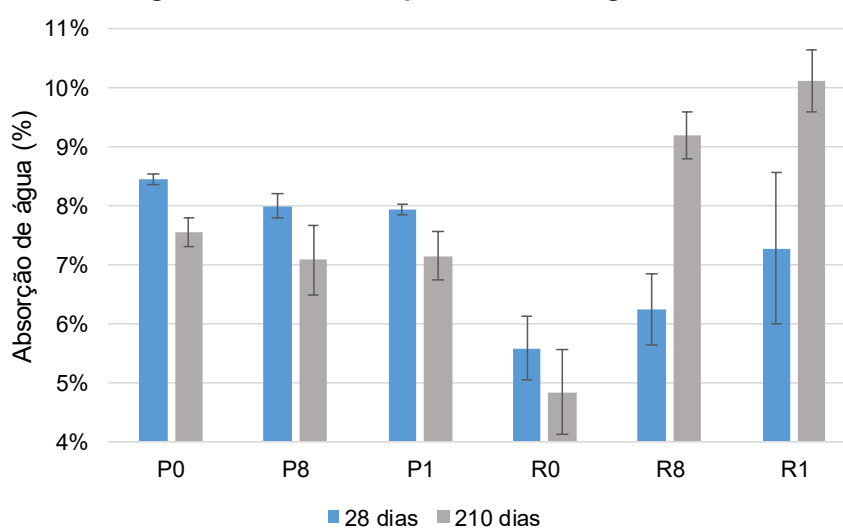
Figura 20 - Resistência à compressão de concretos

Fonte: O autor (2020)

Nos concretos a análise estatística mostrou que a adição de 1% de cristalizante não teve influência no resultado de resistência à compressão axial nos ensaios com 90 dias.

4.2.2 Absorção por Imersão

Os resultados de absorção por imersão são apresentados na Figura 21 para as argamassas.

Figura 21 – Absorção por imersão - argamassas

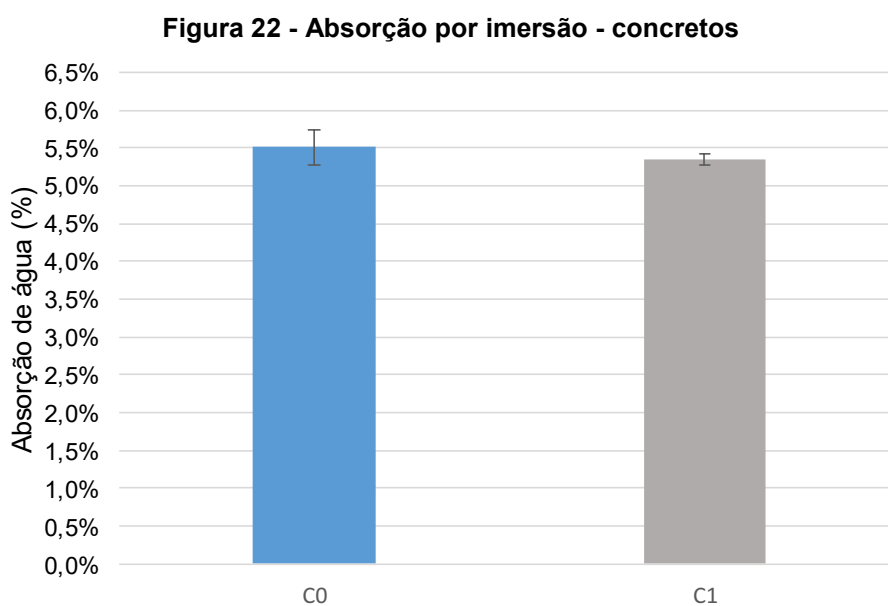
Fonte: O autor (2020)

Na argamassa pobre, a adição de 0,8% e 1% de cristalizante levou a menor absorção de água por imersão nos ensaios com 28 dias em comparação com o traço referência R0. Entre as argamassas P8 e P1, porém, não há diferença significativa.

A dispersão dos resultados, entretanto, observada nos ensaios com 210 dias não permite afirmar que a melhora de desempenho das argamassas pobres com 0,8% e 1% de cristalizante tenha se mantido em relação aos ensaios com 28 dias.

Para o traço R8 houve uma piora de desempenho significativa com o passar do tempo, de 28 para 210 dias. Os resultados de R0 e R1 foram iguais para 95% de significância nas duas idades, quando comparados isolados. O desempenho do traço referência com maior consumo de cimento – traço rico - foi melhor, em termos de menor permeabilidade, em ambas as idades, quando comparado com 0,8% e 1,0% de cristalizante.

Na Figura 22 são apresentados os resultados de absorção por imersão para os concretos.

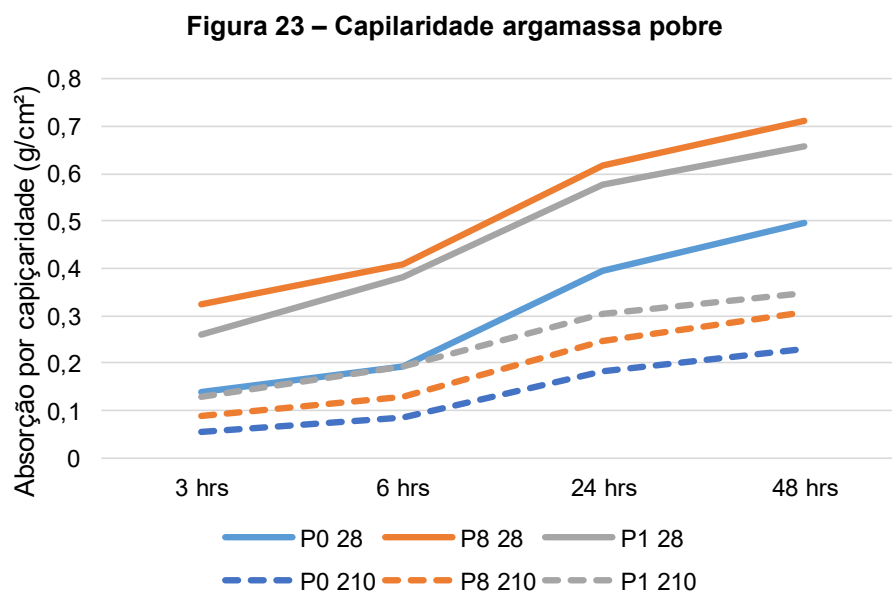


Fonte: O autor (2020)

Nos concretos percebe-se, assim como no ensaio de resistência, que os resultados foram muito próximos, sendo estatisticamente iguais para 95% de significância pelo teste de t student.

4.2.3 Absorção por Capilaridade

Na Figura 23 são apresentados os resultados do ensaio de absorção por capilaridade para os traços de argamassas pobre, em g/cm² para 28 e 210 dias.



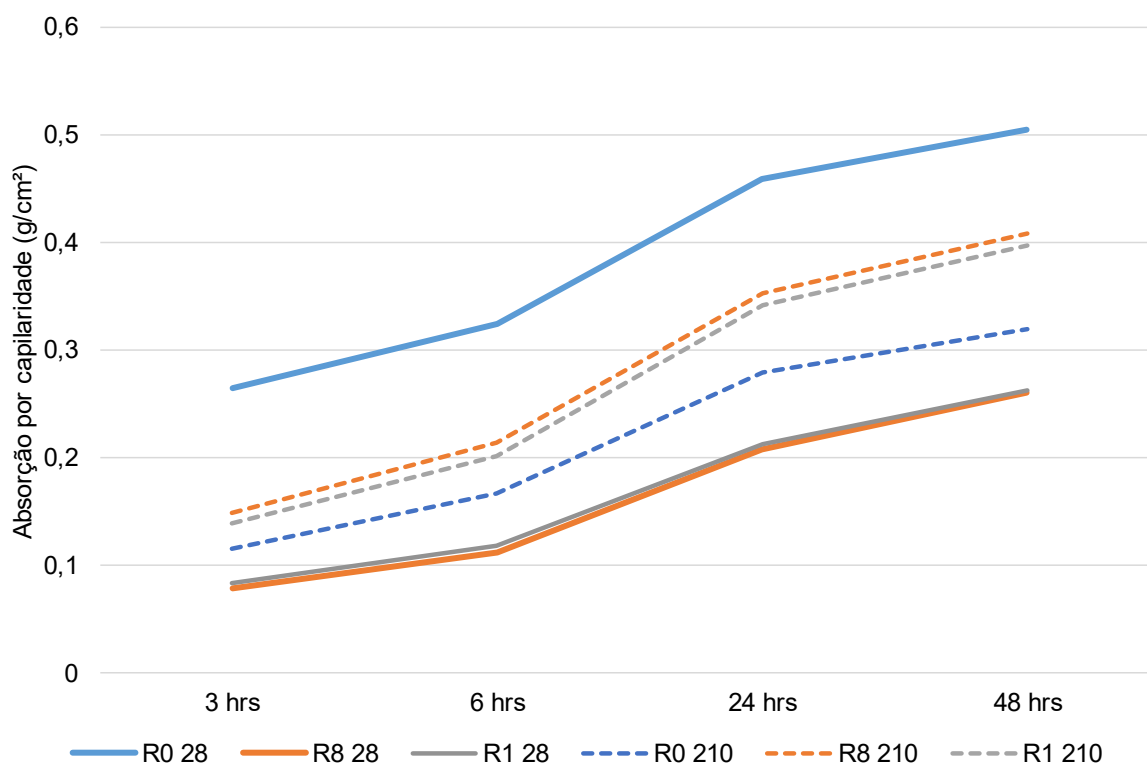
Fonte: O autor (2020)

Comparando cada traço de maneira isolada percebe-se que há redução da absorção por capilaridade nos três traços – P0; P8 e P1 – ao longo do tempo, de 28 para 210 dias. A redução foi de 54% para a argamassa referência, de 57% para argamassa com 0,8% de aditivo e de 47% quando foi adicionado 1% de cristalizante.

O traço sem cristalizante obteve desempenho melhor nos dois cenários, porém em função da dispersão dos dados, apresentados no apêndice, a diferença entre os resultados só ocorre com 95% de confiabilidade na comparação P0/P1 com 28 dias, sendo a argamassa sem cristalizante tendo absorção 25% menor em comparação com a que contém 1% de aditivo. Com 210 dias todos os resultados foram estatisticamente semelhantes. Pode-se credibilizar a melhoria de desempenho com o passar do tempo a hidratação continuada do cimento que melhora a microestrutura com a colmatação autógena, uma vez que a melhora ocorreu com e sem a presença do cristalizante.

Os resultados do ensaio de absorção por capilaridade nas argamassas do traço rico são apresentados na Figura 24.

Figura 24 – Capilaridade argamassa rica

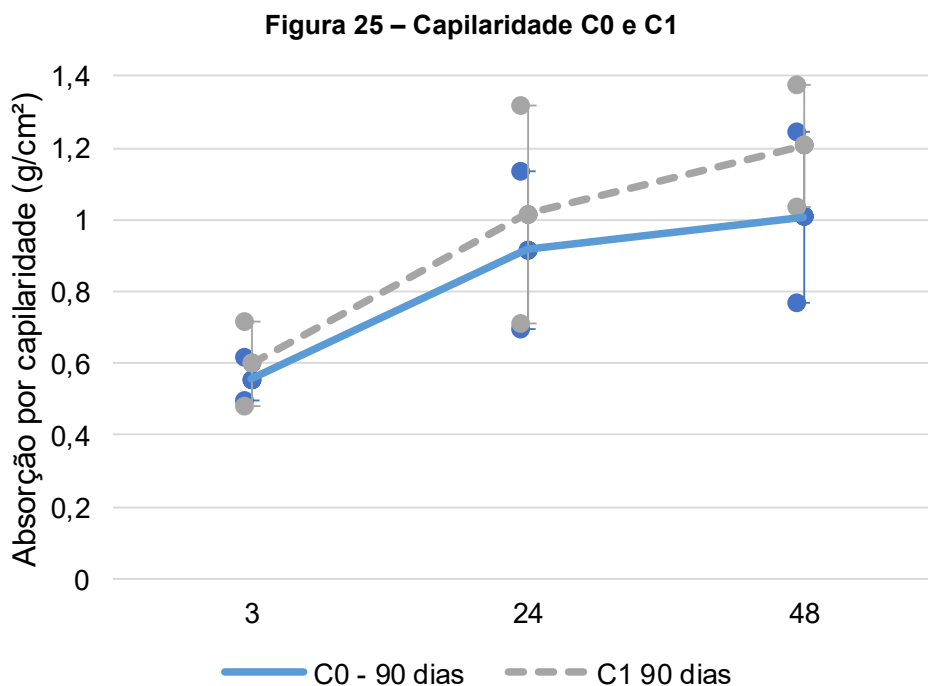


Fonte: O autor (2020)

Nos corpos de prova com traço R8 e R1 o desempenho piorou aos 210 dias em relação ao apresentado aos 28 dias. A análise desses resultados se faz dispensável, uma vez que contraria todas as pesquisas sobre tecnologia do concreto já realizadas. Acredita-se que os corpos de prova foram comprometidos em algum momento, antes ou durante a realização do ensaio. Ressalta-se, todavia, que a argamassa rica de referência, R0, seguiu o padrão dos resultados da argamassa pobre, com redução de absorção por capilaridade em 37% de 28 para 210 dias.

Com 28 dias as argamassas com aditivo cristalizante apresentaram resultados semelhantes em comparação a argamassa R0, com redução de 48% da absorção por capilaridade em 48 horas. O uso de cristalizante, portanto, se mostrou vantajoso e sem diferenças na dosagem de 0,8% para 1% neste traço e neste ensaio.

O resultado do ensaio de capilaridade realizado nos corpos de prova de concreto é apresentado na Figura 25.



Fonte: O autor (2020)

Para os concretos desta pesquisa os ensaios de absorção por capilaridade seguiram o apresentado na resistência à compressão axial e absorção por imersão, portanto, as médias são estatisticamente iguais para os dois traços para um nível de significância de 95%. Tais resultados apontam para duas hipóteses: ou o aditivo cristalizante não foi eficaz para o traço de concreto utilizado, ou que estes ensaios não são os mais apropriados para avaliar os efeitos do aditivo.

4.2.4 Porosimetria por Intrusão de Mercúrio

No ensaio de porosimetria foi avaliada a fração ocupada pelos poros em relação à amostra. Como os ensaios foram realizados apenas em uma data não é possível observar a evolução do diâmetro dos poros ao longo do tempo. Na Tabela 12 são apresentados os resultados obtidos no ensaio de porosimetria por intrusão de mercúrio.

Tabela 12 – Porosidade ensaio de porosimetria

Traço	Porosidade real
P0	8,9%
P8	9,3%
P1	9,6%
R0	10,5%
R8	9,6%
R1	10,7%
C0	11,8%
C1	9,5%

Fonte: O autor (2020)

O ensaio de porosimetria corrobora com os resultados obtidos nos demais ensaios para a argamassa pobre, observa-se que o traço sem aditivo obteve o a menor porosidade, assim como a menor absorção por capilaridade. Nos traços de concreto observa-se que houve uma melhora de desempenho do traço com aditivo, porém como este ensaio foi realizado uma única vez não é possível fazer a análise estatística. Para a argamassa rica o melhor desempenho de resistência à compressão axial se deu para o traço com menor porosidade.

5 CONCLUSÕES

Embora o uso de aditivos cristalizantes já ocorra de forma ampla no Brasil ainda não há uma norma técnica que indique como devem ser os ensaios para comprovação de sua eficácia enquanto é desenvolvido o estudo do concreto para determinada obra. Os ensaios realizados, na falta dos normatizados, buscam comprovar os ganhos técnicos com a inserção do cristalizante. Esperava-se que a absorção, tanto por imersão quanto por capilaridade, fosse reduzida com o uso do aditivo e que eventualmente com a melhora na microestrutura fosse acompanhada da melhora na resistência à compressão axial.

O uso do aditivo cristalizante não provocou alterações nas propriedades dos concretos e argamassas no estado fresco. Não houve alteração tanto na massa específica quanto na trabalhabilidade, medida pelo ensaio do tronco de cone e de espalhamento.

Na avaliação da resistência à compressão axial houve melhora no desempenho da argamassa pobre com 1% de aditivo em comparação com o traço referência e com 0,8% de cristalizante. Como a diferença não se manteve para os ensaios com 210 dias nem para as amostras de concreto, rompidos com 90 dias, conclui-se que o ganho de resistência não deve ser considerado para efeitos de projeto, uma vez que em prazos maiores ela não foi percebida.

Os ensaios de absorção não dão subsídios suficientes para avaliar se houve a redução da permeabilidade na microestrutura dos concretos e argamassas com o uso de cristalizante, sendo assim, para estes traços e essa metodologia não foi possível verificar se a redução do uso de aditivo de 1%, recomendado pelo fabricante, para 0,8% é viável tecnicamente.

O que ficou comprovado é a melhora da microestrutura ao longo do tempo, uma vez que na comparação de 28 para 210 dias a absorção por imersão e capilaridade teve redução significativa.

Por fim é necessário considerar que a literatura é unânime na necessidade da presença da água para o processo de cristalização, o estudo, no entanto, buscou avaliar os mecanismos de ação do aditivo sem a formação de fissuras propositais. A hipótese levantada é se o concreto sem manifestações patológicas tem suas propriedades melhoradas pelo cristalizante. Os ensaios de maneira geral não foram

os mais adequados para tal avaliação, uma vez que não se chegou a um padrão bem definido para estes traços avaliados.

5.1 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

Tendo em vista que o presente estudo não foi capaz de identificar a ação do aditivo cristalizante com os ensaios realizados sugere-se para estudos futuros:

- Realizar ensaios com MEV para verificação visual dos produtos gerados pelo cristalizante;
- Elaborar programa experimental que simule as condições de uso das estruturas – ciclos de secagem e molhagem para lajes de cobertura e água sob pressão em lajes subpressão;
- Verificar a atuação do cristalizante em diferentes tipos de cimentos;
- Elaborar programa experimental que compare a cicatrização autônoma vs autógena;
- Elaborar estudo comparativo do cristalizante com e sem a indução de fissuras.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: agregado miúdo - determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 67**: concreto - determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR NM 248**: agregados - determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 5739**: concreto - ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto — procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 9778**: argamassa e concreto endurecidos - determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

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

_____. **NBR 10787**: concreto endurecido — determinação da penetração de água sob pressão. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 12655**: concreto de cimento portland - preparo, controle, recebimento e aceitação – procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 13276**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 13278**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 16697**: cimento portland – requisitos. Rio de Janeiro, 2018

_____. **NBR 15575**: Edificações habitacionais - desempenho – requisitos. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 7212**: Execução de concreto dosado em central - procedimento. Rio de Janeiro, 2012.

AGLIARDI, S.B.; BATISTELA, T.; MOREIRA, G. F.; EHRENBRING, H.Z.; PACHECO, F.; TUTIKIAN, B. F.; **Análise da utilização de aditivos cristalizantes para autoregeneração do concreto em traços com diferentes relação água/cimento e tipos de cimento nacionais**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES. 2020, Fortaleza. **Anais**. Fortaleza/CE 2020.

BAUER, L. A. F.; **Materiais de construção**. 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 1v. 488p.

BERTOLINI, L.; **Materiais de construção: Patologia, Reabilitação e Prevenção**. Oficina de Textos, 2010.

BIANCHIN, F. H.; **Avaliação da autocicatrização em concretos produzidos com aditivo cristalizante e fissurado nas primeiras idades**. 2018. 102 f. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2018.

BODANESE, B.; HATORI, A.; CAPPELLESSO, V. G.; MOLIN, D. C. C. D.; **Avaliação da autocicatrização com aditivos cristalizantes submetidos a ciclos de molhagem e secagem**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO. 2019, Fortaleza. **Anais Fortaleza/CE 2019**.

BRITEZ, C.; HELENE, P.; BUENO, S.; PACHECO, J.; **Estanqueidade de lajes subpressão. Caso MIS-RJ**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO. 2013, Gramado. **Anais**. Gramado/RS 2013.

BRITO, B. T. A.; SANTOS, B. de O.; ESCARIZ, R. C.; **Concreto autocicatrizante ativado com catalisador cristalino, escória de alto-forno e fibras de poliacrilonitrila(PAN)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO. 2019, Fortaleza. **Anais**. Fortaleza/CE 2019.

COUTO, P.; CASCUDO, O.; CARASEK, H.; LOPES, A. N. M.; **Influência das condições de cura na absorção e permeabilidade de diferentes concretos**. V Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto. Anais. São Paulo, Brasil, 2003.

DE ROOIJ, M. R.; SCHLANGEN, E.; JOSEPH, C.; **Introduction – State-of-the-Art Report of RILEM**. Technical Committee 221-SHC: Self-Healing Phenomena in Cement-Based Material, 2013.

ESCOFFRES, P.; DESMETTRE, C.; CHARRIN, J.-P.; **Effect of a crystalline admixture on the self-healing capability of high-performance fiber reinforced concretes in service conditions**. In: Construction and Building Materials. 173. p763-774. Montreal, 2018.

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.

HELENE, P. R. L.; **Vida útil das estruturas de concreto**. In:IV Congresso Iberoamericano de Patologia das Construções e VI Congresso de Controle de Qualidade. Anais. Porto Alegre, vol. 1, pp. 1-30. 1997.

HICKMAN, B. S. D.; MACMILLAN, S.; **The efficacy of crystalline waterproofing additives for basement concrete: an industry perspective of the literature.** In: Proceedings of the institution of civil engineers. DOI: 10.1680/jcoma.18.00032

IBI. **Manual de utilização de aditivos para concreto dosado em central.** Disponível em: <http://ibibrasil.org.br/wp-content/uploads/2018/03/Manual-de-utiliza%C3%A7%C3%A3o-de-aditivos-para-concreto-dosado-em-central-IBI-1-edi%C3%A7%C3%A3o.pdf> Acesso em: 08/09/2020.

ISMAIL, M.; **Etude des transferts et de leurs interactions avec la cicatrisation dans les fissures pour Prolonger la duree de servisse dès Infrastructures (ponts, centrales nucleaires).** Toulouse, França, 2006, 234 p. Tese (Doutorado) – Institut National des Sciences Appliquées.

LOPES, T. B.; **Comparação da microestrutura do concreto auto adensável com o concreto convencional.** 2016. 91 f. Dissertação. UNICAMP. Limeira/SP, 2016.

DE ROOIJ, M.; TITTELBOOM, K. V.; DE BELIE, N.; **Self-healing phenomena in cement-Based materials:** state-of-the-art report of RILEM technical committee 221-SHC: self-Healing phenomena in cement, 2013.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.; **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais** 4ª edição (inglês) / 2ª edição (português) Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade da Califórnia em Berkeley, Estados Unidos, 2014

NASIM, M., DEWANGAN, U. K., DEO, S. V.; **Effect os crystalline admixture, fly ash, and PVA fiber on self-healing capacity os concrete.** Elsevier, Materials Today. 2020

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J.J.; **Tecnologia do concreto.** 2ª edição, Editora Brookman, Porto Alegre, 2013.

NEVILLE, A. M.; **Propriedades do concreto.** 5ª edição, Editora Brookman, Porto Alegre, 2016.

PEREIRA, B. C. G. P.; NASCIMENTO, R. S.; **Os efeitos de diferentes aditivos cristalizantes nas propriedades do concreto no estado fresco e endurecido.** 71 f. Programa de Iniciação Científica. UNICEUB, 2018.

PEREIRA, H.L.B.; **Análise da frente de carbonatação natural em concretos à base de cimentos Portland CP IV-32 RS e CP V-ARI RS.** 101 fls. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil – Departamento Acadêmico de Engenharia Civil – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Pato Branco, 2018.

PRUDENTE, R. R.; **Análise e classificação de solicitações de assistência técnica em empreendimentos residenciais verticais pelo método FMEA.** In: Especialize revista online. Julho, 2019.

RILEM. Self-healing phenomena in cement-based materials, 2005. (Technical Committee 221-SHC)

SILVA, N. G.; COLLODETTI, G.; PICHETTI, D. Z. C. M.; GLEIZE, P.J.P.; **Efeitos do ar incorporado nas propriedades do estado endurecido em argamassas de cimento e areia.** In: 51 Congresso Brasileiro do Concreto - Ibracon, Curitiba, 2009

SITTER, WR.; **Costs for service life optimization. The “Law of fives”.** In: CEBRILEM. Durability of concrete structures. Proceedings of the international workshop held in Copenhagen, p. 18-20, Copenhagen, 1984. (Workshop Report by Steen Rostam).

SISIMPHON, K.; COPUROGLU, O.; KOENDERS, E. A. B.; **Effect os exposoure conditions on self healing behavior os strain hardening cementious composites incorporating various cementicious materials.** In: Construction and Bulding Material v42, 2013.

SOMBRIO, C. S.; **Efeito do aditivo cristalizante na rede capilar em concretos usinados.** UFSC. 2019

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

TAKAGI, E. M.. **Concreto autocicatrizante com cimentos brasileiros de escória de alto forno ativados por catalisador cristalino.** Dissertação de Mestrado em Engenharia de Infraestrutura Aeroportuária – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2013.

TAKAGI, E. M.; JÚNIOR, W. A.; OLIVEIRA, F. S. **Tratamento Químico Cristalizante para Impermeabilização e Proteção de Estruturas de Concreto Armado.** In: 46 Congresso Brasileiro do Concreto – Ibracon, Florianópolis, Brasil, 2004.

TAKEBE, S. et al.; **Studies on Diffusion of Cesium um Cement Mortar.** Japan Atomic Energy Institute. Tokai, 1989.

XYPEX. **Catálogo técnico de produto.** 2020. Disponível em: [https://www.xypex.com/docs/default-source/product-data-library/product-data-\(a4\)/\(a4\)-admix-c-500-nf.pdf?sfvrsn=c8c85e83_18](https://www.xypex.com/docs/default-source/product-data-library/product-data-(a4)/(a4)-admix-c-500-nf.pdf?sfvrsn=c8c85e83_18) Acesso: 20/10/2020

APÊNDICE

Resistência à compressão axial - P0			
CP	28 dias	56 dias	210 dias
1	29,56	21,39	34,44
2	21,60	24,59	27,28
3	27,48	25,21	21,40
4	26,97	26,03	31,86
Média	26,40	24,31	28,75
Desvio padrão	3,39	2,03	5,72

Absorção por capilaridade - P0 28 dias									
CP	Massa seca (g)	Massa saturada (g) tempo em hr				C (g/cm ²)			
		3	6	24	48	3 hrs	6 hrs	24 hrs	48 hrs
1	402,7	404,7	405,7	409,3	411,1	0,101911	0,152866	0,336306	0,428025
2	403,8	408,9	410,1	414,7	416,5	0,259873	0,321019	0,555414	0,647134
3	402,1	403,7	404,5	407,7	409,7	0,081529	0,122293	0,28535	0,387261
4	405,2	407,5	408,6	413,1	415,4	0,117197	0,173248	0,402548	0,519745
Média						0,140127	0,192357	0,394904	0,495541
Desvio padrão						0,081156	0,088294	0,117271	0,115252

Absorção por capilaridade - P0 56 dias									
CP	Massa seca (g)	Massa saturada (g) tempo em hr				C (g/cm ²)			
		3	6	24	48	3	6	24	48
1	404,8	426,8	428,5	430,4		1,121019	1,207643	1,304459	
2	436,3	437	437	439,4		0,035669	0,035669	0,157962	
3	419,4	418	419,8	421,3		-0,07134	0,020382	0,096815	
4	417,3	418,1	418,5	419,8		0,040764	0,061146	0,127389	
5	422	421,3	422,5	423,2		-0,03567	0,025478	0,061146	
Média						0,218089	0,270064	0,349554	
Desvio padrão						0,506992	0,524358	0,535015	

Absorção por capilaridade - P0 210 dias									
CP	Massa seca (g)	Massa saturada (g) tempo em hr				C (g/cm ²)			
		3	6	24	48	3	6	24	48
1	411	411,9	412,4	414,2	415,1	0,04586	0,071338	0,163057	0,208917
2	413,1	413,8	414,3	415,9	416,8	0,035669	0,061146	0,142675	0,188535
3	399,3	400,1	400,5	402	403,1	0,040764	0,061146	0,13758	0,193631
4	415,9	417,6	418,6	421,4	422,4	0,086624	0,13758	0,280255	0,33121
5	418,9	420,2	420,9	422,7	423,3	0,066242	0,101911	0,193631	0,224204
Média						0,055032	0,086624	0,183439	0,229299
Desvio padrão						0,021133	0,033023	0,058432	0,058654

P0 - 28 dias					
CP	Massa seca (g)	Massa imersa (g)	Massa saturada (g)	Absorção	Índice de vazios
1	402,9	239,6	436,8	8,41%	17,19%
2	398,9	234,9	433,1	8,57%	17,26%
3	400,1	238,4	433,8	8,42%	17,25%
4	406,3	241	440,3	8,37%	17,06%
5					
Média				8,44%	17,19%
Desvio padrão				0,09%	0,09%
P0 - 210 dias					
CP	Massa seca (g)	Massa imersa (g)	Massa saturada (g)	Absorção	Índice de vazios
1	405,1	237,2	434,7	7,31%	14,99%
2	411,5	241,5	443,6	7,80%	15,88%
3	415,9	245	447,2	7,53%	15,48%
Média				7,54%	15,45%
Desvio padrão				0,002474718	0,004486764

Resistência à compressão axial - P8			
CP	28 dias	56 dias	210 dias
1	19,75	20,96	34,38
2	26,60	33,82	29,86
3	25,98	27,30	30,59
4	31,61	28,86	30,03
Média	25,99	27,74	31,22
Desvio padrão	4,861210412	5,303542841	2,13292444

Absorção por capilaridade - P8 28 dias									
CP	Massa seca (g)	Massa saturada (g) tempo em hr				C (g/cm ²)			
		3	6	24	48	3	6	24	48
1	409,9	411,8	412,7	415,6	417,6	0,096815	0,142675	0,290446	0,392357
2	411,7	418,5	420,2	424,4	425,7	0,346497	0,433121	0,647134	0,713376
3	389,4	395,8	398,1	402,8	405,3	0,326115	0,443312	0,682803	0,810191
4	407,9	418,3	420,1	424,5	426,2	0,529936	0,621656	0,84586	0,932484
Média						0,324841	0,410191	0,616561	0,712102
Desvio padrão						0,177511	0,198246	0,233988	0,231249

Absorção por capilaridade - P8 56 dias									
CP	Massa seca (g)	Massa saturada (g) tempo em hr				C (g/cm ²)			
		3	6	24	48	3	6	24	48
1	441,2	436,7	441,8	442,7		-0,2293	0,030573	0,076433	
2	429,1	430,5	430,1	431,2		0,071338	0,050955	0,107006	
3	429,9	420,5	420,7	421,6		-0,47898	-0,46879	-0,42293	
4	418,7	421,9	422,5	424,6		0,163057	0,193631	0,300637	
5	422,9	424	424,4	426		0,056051	0,076433	0,157962	
Média						-0,08357	-0,02344	0,043822	
Desvio padrão						0,265472	0,256848	0,274725	

Absorção por capilaridade - P8 210 dias									
CP	Massa seca (g)	Massa saturada (g) tempo em hr				C (g/cm ²)			
		3	6	24	48	3	6	24	48
1	420,3	422,6	423,7	426,8	428	0,117197	0,173248	0,33121	0,392357
2	414,7	415,3	415,7	416,7	417,3	0,030573	0,050955	0,101911	0,132484
3	420,1	422,4	423,2	425,2	426,3	0,117197	0,157962	0,259873	0,315924
4	409,9	411,4	412,2	414,5	416	0,076433	0,117197	0,234395	0,310828
5	409,8	411,7	412,7	415,9	417,3	0,096815	0,147771	0,310828	0,382166
Média						0,087643	0,129427	0,247643	0,306752
Desvio padrão						0,036103	0,048421	0,090193	0,104266

P8 - 28 dias					
CP	Massa seca (g)	Massa imersa (g)	Massa saturada (g)	Absorção	Índice de vazios
1	407,1	243	440,1	8%	17%
2	415	246,8	446,9	8%	16%
3	411,5	246,6	444,7	8%	17%
4	400,1	239,5	432,5	8%	17%
5					
Média				0,079897	0,165578941
Desvio padrão				0,002026	0,004109934

P8 - 210 dias					
CP	Massa seca (g)	Massa imersa (g)	Massa saturada (g)	Absorção	Índice de vazios
1	404,8	239,2	435,8	8%	16%
2	413,5	240,8	440,3	6%	13%
3	409,5	238,1	438,5	7%	14%
Média				7%	15%
Desvio padrão				0,005885	0,011696383

Resistência à compressão axial - P1			
CP	28 dias	56 dias	210 dias
1	33,53	26,62	37,38
2	32,75	29,27	28,65
3	30,19	29,97	35,34
4	33,05	31,29	31,53
Média	32,38	29,29	33,23
Desvio padrão	1,494924747	1,965678424	3,896190447

Absorção por capilaridade - P1 28 dias									
CP	Massa seca (g)	Massa saturada (g) tempo em hr				C (g/cm ²)			
		3	6	24	48	3	6	24	48
1	415,8	420,7	422,9	426,2	427,7	0,249682	0,361783	0,529936	0,606369
2	408,3	414	416	419,9	421,6	0,290446	0,392357	0,591083	0,677707
3	409,8	415,2	417,3	421,1	422,7	0,275159	0,382166	0,575796	0,657325
4	411,3	415,7	419,1	423,3	424,9	0,224204	0,397452	0,611465	0,692994
Média						0,259873	0,383439	0,57707	0,658599
Desvio padrão						0,029123	0,015774	0,034653	0,037761
Absorção por capilaridade - P1 56 dias									
CP	Massa seca (g)	Massa saturada (g) tempo em hr				C (g/cm ²)			
		3	6	24	48	3	6	24	48
1	432,8	434,7	435,5	436,4		0,096815	0,13758	0,183439	
2	426,1	427,6	428	429,2		0,076433	0,096815	0,157962	
3	426,6	427,9	428,5	431,2		0,066242	0,096815	0,234395	
4	428	429,4	430,1	431,5		0,071338	0,107006	0,178344	
5	426,1	427,7	428,2	429		0,081529	0,107006	0,147771	
Média						0,078471	0,109045	0,180382	
Desvio padrão						0,011731	0,016746	0,03353	
Absorção por capilaridade - P1 210 dias									
CP	Massa seca (g)	Massa saturada (g) tempo em hr				C (g/cm ²)			
		3	6	24	48	3	6	24	48
1	423,4	425,4	426,3	428,9	429,7	0,101911	0,147771	0,280255	0,321019
2	416,1	422,5	423,6	425,8	426,3	0,326115	0,382166	0,494268	0,519745
3	425,2	427	427,9	430	430,7	0,09172	0,13758	0,244586	0,280255
4	419,1	419,4	421,9	423,9	424,7	0,015287	0,142675	0,244586	0,28535
5	420,6	422,9	423,7	425,8	427	0,117197	0,157962	0,264968	0,326115
Média						0,130446	0,193631	0,305732	0,346497
Desvio padrão						0,11623	0,105663	0,106459	0,099003

P1 - 28 dias					
CP	Massa seca (g)	Massa imersa (g)	Massa saturada (g)	Absorção	Índice de vazios
1	407,6	244,6	440	8%	17%
2	407,8	242,4	440,5	8%	17%
3	412,1	245,1	444,9	8%	16%
4	407,1	242,7	438,9	8%	16%
5					
Média				0,07934547	0,164281384
Desvio padrão				0,000876857	0,001615449
P1 - 210 dias					
CP	Massa seca (g)	Massa imersa (g)	Massa saturada (g)	Absorção	Índice de vazios
1	417,8	246,2	447,5	7%	15%
2	415,9	244,2	444	7%	14%
3	413,5	245	444,8	8%	16%
Média				7%	15%
Desvio padrão				0,004077559	0,008033503

Resistência à compressão axial - R0			
CP	28 dias	56 dias	210 dias
1	23,58	28,74	29,01
2	25,84	31,78	29,13
3	26,13	34,58	29,15
4	21,92	24,25	29,60
Média	24,37	29,84	29,22
Desvio padrão	1,990399876	4,423018389	0,259149249

Absorção por capilaridade - R0 28 dias									
CP	Massa seca (g)	Massa saturada (g) tempo em hr				C (g/cm ²)			
		3	6	24	48	3 hrs	6 hrs	24 hrs	48 hrs
1	408,5	414,2	415,5	418,2	419	0,290446	0,356688	0,494268	0,535032
2	401,2	406,4	407,6	410,2	411,1	0,264968	0,326115	0,458599	0,504459
3	399,4	404,7	405,9	408,6	409,7	0,270064	0,33121	0,46879	0,524841
4	414	418,5	419,5	422,1	422,9	0,229299	0,280255	0,412739	0,453503
Média						0,263694	0,323567	0,458599	0,504459
Desvio padrão						0,025435	0,031822	0,034055	0,03627
Absorção por capilaridade - R0 56 dias									
CP	Massa seca (g)	Massa saturada (g) tempo em hr				C (g/cm ²)			
		3	6	24	48	3	6	24	48
1	418,4	420,3	420,8	421,9		0,096815	0,122293	0,178344	
2	440,3	442,2	442,8	444,3		0,096815	0,127389	0,203822	
3	409,3	411,2	412,1	413,9		0,096815	0,142675	0,234395	
4	413,4	415,5	416,2	417,7		0,107006	0,142675	0,219108	
5	421,1	421,6	421,8	422,4		0,025478	0,035669	0,066242	
Média						0,084586	0,11414	0,180382	
Desvio padrão						0,033336	0,0448	0,067079	
Absorção por capilaridade - R0 210 dias									
CP	Massa seca (g)	Massa saturada (g) tempo em hr				C (g/cm ²)			
		3	6	24	48	3	6	24	48
1	426,9	428,9	429,7	431,1	431,8	0,101911	0,142675	0,214013	0,249682
2	427,7	429,9	430,8	432,9	433,5	0,112102	0,157962	0,264968	0,295541
3	405,1	407,4	408,5	411,3	412,1	0,117197	0,173248	0,315924	0,356688
4	407,5	410,1	411,5	414,1	415,1	0,132484	0,203822	0,336306	0,387261
5	412,4	414,6	415,4	417,6	418,4	0,112102	0,152866	0,264968	0,305732
Média						0,115159	0,166115	0,279236	0,318981
Desvio padrão						0,011164	0,023791	0,048125	0,053878

R0 - 28 dias					
CP	Massa seca (g)	Massa imersa (g)	Massa saturada (g)	Absorção	Índice de vazios
1	409,8	235,1	431,7	5%	11%
2	406,1	233,6	429,6	6%	12%
3	409,6	232,2	430	5%	10%
4	407,9	235,6	433,2	6%	13%
5					
Média				0,055784479	0,115615642
Desvio padrão				0,005308309	0,010742729
R0 - 210 dias					
CP	Massa seca (g)	Massa imersa (g)	Massa saturada (g)	Absorção	Índice de vazios
1	402,2	223,6	419,9	4%	9%
2	404,2	230,9	427,1	6%	12%
3	405,7	224,1	423,7	4%	9%
Média				5%	10%
Desvio padrão				0,007200226	0,01532484

Resistência à compressão axial - R8			
CP	28 dias	56 dias	210 dias
1	35,56	32,43	33,04
2	28,18	37,82	35,82
3	26,61	39,54	43,49
4	31,79	39,89	28,28
Média	30,54	37,42	35,16
Desvio padrão	3,990710045	3,447482173	6,367973906

Absorção por capilaridade - R8 28 dias									
CP	Massa seca (g)	Massa saturada (g) tempo em hr				C (g/cm ²)			
		3	6	24	48	3	6	24	48
1	422	422,9	423,2	424,2	424,9	0,04586	0,061146	0,112102	0,147771
2	410,3	411,5	412	414	414,9	0,061146	0,086624	0,188535	0,234395
3	416,6	417,6	418	419,4	420,6	0,050955	0,071338	0,142675	0,203822
4	403,8	406,1	407,2	410,1	411,5	0,117197	0,173248	0,321019	0,392357
5	410,1	412,4	413,3	415,5	416,4	0,117197	0,163057	0,275159	0,321019
Média						0,078471	0,111083	0,207898	0,259873
Desvio padrão						0,035778	0,053003	0,088213	0,097016
Absorção por capilaridade - R8 56 dias									
CP	Massa seca (g)	Massa saturada (g) tempo em hr				C (g/cm ²)			
		3	6	24	48	3	6	24	48
1	428	428,4	428,5	429,2		0,020382	0,025478	0,061146	
2	421,1	421,6	422,2	422,7		0,025478	0,056051	0,081529	
3	423	423,5	423,7	424,5		0,025478	0,035669	0,076433	
4	417,3	418,3	418,7	419,9		0,050955	0,071338	0,132484	
5	415,4	416	416,3	417,6		0,030573	0,04586	0,112102	
Média						0,030573	0,046879	0,092739	
Desvio padrão						0,01195	0,017798	0,028915	
Absorção por capilaridade - R8 210 dias									
CP	Massa seca (g)	Massa saturada (g) tempo em hr				C (g/cm ²)			
		3	6	24	48	3	6	24	48
1	412,1	415,2	416,6	419,3	420,5	0,157962	0,229299	0,366879	0,428025
2	409,1	411,9	413	415,3	416,2	0,142675	0,198726	0,315924	0,361783
3	414,9	417,9	419,3	422,1	423,3	0,152866	0,224204	0,366879	0,428025
4	412,5	415,6	417,1	420,6	421,8	0,157962	0,234395	0,412739	0,473885
5	409,1	411,6	412,7	415	416	0,127389	0,183439	0,300637	0,351592
Média						0,147771	0,214013	0,352611	0,408662
Desvio padrão						0,012991	0,021917	0,044916	0,051133

R8 - 28 dias					
CP	Massa seca (g)	Massa imersa (g)	Massa saturada (g)	Absorção	Índice de vazios
1	429,5	248,3	454	6%	12%
2	415,7	240,8	442,4	6%	13%
3	418,2	242,8	443,7	6%	13%
4	421,3	244,2	448,5	6%	13%
5	416,4	240,6	443,4	6%	13%
Média				0,062330253	0,128949685
Desvio padrão				0,003342229	0,00608773
R8 - 210 dias					
CP	Massa seca (g)	Massa imersa (g)	Massa saturada (g)	Absorção	Índice de vazios
1	400,5	238,9	436,2	9%	18%
2	398,9	237,2	435,8	9%	19%
3	402,1	240,1	439,8	9%	19%
Média				9%	19%
Desvio padrão				0,002388745	0,003957426

Resistência à compressão axial - R1			
CP	28 dias	56 dias	210 dias
1	27,07	29,22	31,57
2	23,11	26,51	34,14
3	29,35	23,00	29,28
4	23,94	25,29	30,75
Média	25,87	26,01	31,44
Desvio padrão	2,880559841	2,590527617	2,037032155

Absorção por capilaridade - R1 28 dias									
CP	Massa seca (g)	Massa saturada (g) tempo em hr				C (g/cm ²)			
		3	6	24	48	3	6	24	48
1	384,9	386,1	386,6	388,2	389,1	0,061146	0,086624	0,168153	0,214013
2	397,1	399,5	400,4	402,8	404,1	0,122293	0,168153	0,290446	0,356688
3	396,5	397,8	398,3	399,9	400,8	0,066242	0,09172	0,173248	0,219108
4	403	405,1	406,3	408,4	409,3	0,107006	0,168153	0,275159	0,321019
5	399,2	400,3	400,7	402,2	403,2	0,056051	0,076433	0,152866	0,203822
Média						0,082548	0,118217	0,211975	0,26293
Desvio padrão						0,030016	0,045916	0,065314	0,070661
Absorção por capilaridade - R1 56 dias									
CP	Massa seca (g)	Massa saturada (g) tempo em hr				C (g/cm ²)			
		3	6	24	48	3	6	24	48
1	408	410,3	410,9	412,5		0,117197	0,147771	0,229299	
2	408,8	411,1	411,6	412,9		0,117197	0,142675	0,208917	
3	402,9	405,5	406,2	408		0,132484	0,168153	0,259873	
4	400,6	402	402,7	404,5		0,071338	0,107006	0,198726	
5	403	404,2	404,8	406,3		0,061146	0,09172	0,168153	
Média						0,099873	0,131465	0,212994	
Desvio padrão						0,031535	0,031287	0,034258	
Absorção por capilaridade - R1 210 dias									
CP	Massa seca (g)	Massa saturada (g) tempo em hr				C (g/cm ²)			
		3	6	24	48	3	6	24	48
1	396,7	400,2	401,6	404,8	405,9	0,178344	0,249682	0,412739	0,46879
2	397,6	400,3	401,3	403,6	404,5	0,13758	0,188535	0,305732	0,351592
3	396,3	399,6	401,1	404,5	405,8	0,168153	0,244586	0,417834	0,484076
4	402,7	404,8	405,8	408	409	0,107006	0,157962	0,270064	0,321019
5	401,4	403,4	404,7	407,3	408,4	0,101911	0,168153	0,300637	0,356688
Média						0,138599	0,201783	0,341401	0,396433
Desvio padrão						0,034635	0,042875	0,068837	0,074489

R1 - 28 dias					
CP	Massa seca (g)	Massa imersa (g)	Massa saturada (g)	Absorção	Índice de vazios
1	398,5	228,8	428,7	8%	15%
2	405	223,8	425,3	5%	10%
3	393,1	225,3	424,6	8%	16%
4	397,7	230,1	429,7	8%	16%
5	400,3	231,5	431,2	8%	15%
Média				0,072738939	0,144985176
Desvio padrão				0,012795328	0,024976435
R1 - 210 dias					
CP	Massa seca (g)	Massa imersa (g)	Massa saturada (g)	Absorção	Índice de vazios
1	390,6	230,2	430,7	10%	20%
2	389,7	228,3	426,8	10%	19%
3	387,6	228,7	428,5	11%	20%
Média				10%	20%
Desvio padrão				0,005328174	0,009225353

Resistência à compressão axial - C0	
CP	90 dias
1	35,84
2	46,66
3	40,18
4	42,44
5	40,68
Média	41,16
Desvio padrão	3,91732051

Resistência à compressão axial - C1	
CP	90 dias
1	43,37
2	39,20
3	35,01
4	38,26
5	41,86
Média	39,54
Desvio padrão	3,252929

C0 - 90 dias								
CP	Massa seca (g)	Massa saturada (g) tempo em hr				C (g/cm ²)		
		3	6	24	48	3	24	48
1	3648	3660,3		3671,2	3673,5	0,626752	1,182166	1,299363
2	3670,3	3680,4		3681,8	3690	0,51465	0,585987	1,003822
3	3680,5	3692,1		3698,5	3701,3	0,591083	0,917197	1,059873
4	3705	3714,4		3722,1	3717,5	0,478981	0,871338	0,636943
5	3742,7	3753,8		3762,7	3763,1	0,565605	1,019108	1,03949
Média						0,555414	0,915159	1,007898
Desvio padrão						0,059095	0,219304	0,237842
C1 90 dias								
CP	Massa seca (g)	Massa saturada (g) tempo em hr				C (g/cm ²)		
		3	6	24	48	3	24	48
1	3677,5	3687,6		3698,7	3701	0,51465	1,080255	1,197452
2	3673	3684		3691,6	3699,1	0,56051	0,947771	1,329936
3	3623,6	3633,2		3634,4	3642,9	0,489172	0,550318	0,983439
4	3672,6	3685,2		3694,6	3694,4	0,642038	1,121019	1,110828
5	3625	3640,4		3652	3652,6	0,784713	1,375796	1,406369
Média						0,598217	1,015032	1,205605
Desvio padrão						0,119371	0,30254	0,168946

Ensaio	Absorção	
	P1	P1
Traço	28 dias	210 dias
Idade	28 dias	210 dias
Média	0,08	0,07
Desvio padrão	0,00	0,00
Quant. Ensaios	4	3
t0	3,876991638	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,571	
Resultado	Médias diferentes	

Ensaio	Absorção	
	R0	R0
Traço	28 dias	210 dias
Idade	28 dias	210 dias
Média	0,06	0,05
Desvio padrão	0,06	0,05
Quant. Ensaios	4	3
t0	0,184048421	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,571	
Resultado	Médias iguais	

Ensaio	Absorção	
	P8	P1
Traço	28 dias	28 dias
Idade	28 dias	28 dias
Média	0,08	0,08
Desvio padrão	0,00	0,00
Quant. Ensaios	4,00	4,00
t0	0,499756441	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,447	
Resultado	Médias iguais	

Ensaio	Absorção	
	R0	R8
Traço	28 dias	28 dias
Idade	28 dias	28 dias
Média	0,0558	0,0623
Desvio padrão	0,0558	0,0623
Quant. Ensaios	4,00	5,00
t0	-0,163686835	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,365	
Resultado	Médias iguais	

Ensaio	Absorção	
	P8	P1
Traço	210 dias	210 dias
Idade	210 dias	210 dias
Média	0,0707	0,0714
Desvio padrão	0,0059	0,0041
Quant. Ensaios	3,00	3,00
t0	-0,172139311	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,776	
Resultado	Médias iguais	

Ensaio	Absorção	
	R0	R8
Traço	210 dias	210 dias
Idade	210 dias	210 dias
Média	0,0483	0,0918
Desvio padrão	0,0483	0,0918
Quant. Ensaios	3,00	3,00
t0	-0,725474232	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,776	
Resultado	Médias iguais	

Ensaio	Absorção	
	P0	P0
Traço		
Idade	28 dias	210 dias
Média	0,08	0,08
Desvio padrão	0,00	0,00
Quant. Ensaio	4	3
t0	6,888846808	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,571	
Resultado	Médias diferentes	

Ensaio	Absorção	
	P8	P8
Traço		
Idade	28 dias	210 dias
Média	0,08	0,07
Desvio padrão	0,00	0,01
Quant. Ensaio	4	3
t0	2,969176591	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,571	
Resultado	Médias diferentes	

Ensaio	Absorção	
	P0	P8
Traço		
Idade	28 dias	28 dias
Média	0,0844	0,0799
Desvio padrão	0,0009	0,0020
Quant. Ensaio	4,00	4,00
t0	4,1094458	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,447	
Resultado	Médias diferentes	

Ensaio	Absorção	
	P0	P1
Traço		
Idade	28 dias	28 dias
Média	0,0844	0,0793
Desvio padrão	0,0009	0,0009
Quant. Ensaio	4,00	4,00
t0	8,155767465	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,447	
Resultado	Médias diferentes	

Ensaio	Absorção	
	P0	P8
Traço		
Idade	210 dias	210 dias
Média	0,0754	0,0707
Desvio padrão	0,0025	0,0059
Quant. Ensaio	3,00	3,00
t0	1,277229488	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,776	
Resultado	Médias iguais	

Ensaio	Absorção	
	P0	P1
Traço		
Idade	210 dias	210 dias
Média	0,0754	0,0714
Desvio padrão	0,0025	0,0041
Quant. Ensaio	3,00	3,00
t0	1,451058198	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,776	
Resultado	Médias iguais	

Ensaio	Absorção	
Traço	R8	R8
Idade	28 dias	210 dias
Média	0,06	0,09
Desvio padrão	0,06	0,09
Quant. Ensaio	5	3
t0	-0,549184864	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,447	
Resultado	Médias iguais	

Ensaio	Absorção	
Traço	R1	R1
Idade	28 dias	210 dias
Média	0,0727	0,1011
Desvio padrão	0,0128	0,0053
Quant. Ensaio	5	3
t0	-3,569412767	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,447	
Resultado	Médias diferentes	

Ensaio	Absorção	
Traço	R0	R1
Idade	28 dias	28 dias
Média	0,0558	0,0727
Desvio padrão	0,0558	0,0128
Quant. Ensaio	4,00	5,00
t0	-0,669007223	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,365	
Resultado	Médias iguais	

Ensaio	Absorção	
Traço	R8	R1
Idade	28 dias	28 dias
Média	0,06	0,07
Desvio padrão	0,06	0,01
Quant. Ensaio	5,00	5,00
t0	-0,365779027	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,306	
Resultado	Médias iguais	

Ensaio	Absorção	
Traço	R0	R1
Idade	210 dias	210 dias
Média	0,0483	0,1011
Desvio padrão	0,0483	0,0053
Quant. Ensaio	3,00	3,00
t0	-1,879785754	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,776	
Resultado	Médias iguais	

Ensaio	Absorção	
Traço	R8	R1
Idade	210 dias	210 dias
Média	0,0918	0,1011
Desvio padrão	0,0918	0,0053
Quant. Ensaio	3,00	3,00
t0	-0,175704011	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,776	
Resultado	Médias iguais	

Ensaio	Resistência	
	P0	P0
Traço	P0	P0
Idade	28 dias	210 dias
Média	26,40	28,75
Desvio padrão	3,39	5,72
Quant. Ensaio	4	4
t0	-0,704296639	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,447	
Resultado	Médias iguais	

Ensaio	Resistência	
	P8	P8
Traço	P8	P8
Idade	28 dias	210 dias
Média	25,99	31,22
Desvio padrão	4,86	2,13
Quant. Ensaio	4	4
t0	-1,970405175	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,447	
Resultado	Médias iguais	

Ensaio	Resistência	
	P0	P8
Traço	P0	P8
Idade	28 dias	28 dias
Média	26,4025	25,9850
Desvio padrão	3,3920	4,8612
Quant. Ensaio	4,00	4,00
t0	0,140865353	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,447	
Resultado	Médias iguais	

Ensaio	Resistência	
	P0	P1
Traço	P0	P1
Idade	28 dias	28 dias
Média	26,4025	32,3800
Desvio padrão	3,3920	1,4949
Quant. Ensaio	4,00	4,00
t0	-3,225146875	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,447	
Resultado	Médias diferentes	

Ensaio	Resistência	
	P0	P8
Traço	P0	P8
Idade	210 dias	210 dias
Média	28,7450	31,2150
Desvio padrão	5,7222	2,1329
Quant. Ensaio	4,00	4,00
t0	-0,808932201	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,447	
Resultado	Médias iguais	

Ensaio	Resistência	
	P0	P1
Traço	P0	P1
Idade	210 dias	210 dias
Média	28,7450	33,2250
Desvio padrão	5,7222	3,8962
Quant. Ensaio	4,00	4,00
t0	-1,294287854	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,447	
Resultado	Médias iguais	

Ensaio	Resistência	
	C0	C1
Traço	C0	C1
Idade	90 dias	90 dias
Média	41,1600	39,5400
Desvio padrão	3,9173	3,2529
Quant. Ensaio	5,00	5,00
t0	0,711417103	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,306	
Resultado	Médias iguais	

Ensaio	Absorção	
	C0	C1
Traço	C0	C1
Idade	90 dias	90 dias
Média	0,0551	0,0535
Desvio padrão	0,0023	0,0007
Quant. Ensaio	3,00	3,00
t0	1,158147905	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,776	
Resultado	Médias iguais	

Ensaio	Resistência	
	P1	P1
Traço		
Idade	28 dias	210 dias
Média	32,38	33,23
Desvio padrão	1,49	3,90
Quant. Ensaios	4	4
t0	-0,404970808	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,447	
Resultado	Médias iguais	

Ensaio	Resistência	
	R0	R0
Traço		
Idade	28 dias	210 dias
Média	24,37	29,22
Desvio padrão	1,99	0,26
Quant. Ensaios	4	4
t0	-4,8375858	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,447	
Resultado	Médias diferentes	

Ensaio	Resistência	
	P8	P1
Traço		
Idade	28 dias	28 dias
Média	25,99	32,38
Desvio padrão	4,86	1,49
Quant. Ensaios	4,00	4,00
t0	-2,514806121	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,447	
Resultado	Médias diferentes	

Ensaio	Resistência	
	R0	R8
Traço		
Idade	28 dias	28 dias
Média	24,3675	30,5350
Desvio padrão	1,9904	3,9907
Quant. Ensaios	4,00	4,00
t0	-2,765983037	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,447	
Resultado	Médias diferentes	

Ensaio	Resistência	
	P8	P1
Traço		
Idade	210 dias	210 dias
Média	31,2150	33,2250
Desvio padrão	2,1329	3,8962
Quant. Ensaios	4,00	4,00
t0	-0,905036676	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,447	
Resultado	Médias iguais	

Ensaio	Resistência	
	R0	R8
Traço		
Idade	210 dias	210 dias
Média	29,2225	35,1575
Desvio padrão	0,2591	6,3680
Quant. Ensaios	4,00	4,00
t0	-1,862473554	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,447	
Resultado	Médias iguais	

Ensaio	Resistência	
	Traço	R8
Idade	28 dias	210 dias
Média	30,54	35,16
Desvio padrão	3,99	6,37
Quant. Ensaios	4	4
t0	-1,230188465	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,447	
Resultado	Médias iguais	

Ensaio	Resistência	
	Traço	R1
Idade	28 dias	210 dias
Média	25,87	31,44
Desvio padrão	2,88	2,04
Quant. Ensaios	4	4
t0	-3,156135905	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,447	
Resultado	Médias diferentes	

Ensaio	Resistência	
	Traço	R0
Idade	28 dias	28 dias
Média	24,3675	25,8675
Desvio padrão	1,9904	2,8806
Quant. Ensaios	4,00	4,00
t0	-0,856817095	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,447	
Resultado	Médias iguais	

Ensaio	Resistência	
	Traço	R8
Idade	28 dias	28 dias
Média	30,54	25,87
Desvio padrão	3,99	2,88
Quant. Ensaios	4,00	4,00
t0	1,896692149	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,447	
Resultado	Médias iguais	

Ensaio	Resistência	
	Traço	R0
Idade	210 dias	210 dias
Média	29,2225	31,4350
Desvio padrão	0,2591	2,0370
Quant. Ensaios	4,00	4,00
t0	-2,154909664	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,447	
Resultado	Médias iguais	

Ensaio	Resistência	
	Traço	R8
Idade	210 dias	210 dias
Média	35,1575	31,4350
Desvio padrão	6,3680	2,0370
Quant. Ensaios	4,00	4,00
t0	1,113545754	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,447	
Resultado	Médias iguais	

Ensaio	Capilaridade 48 hrs	
Traço	P0	P0
Idade	28 dias	210 dias
Média	0,4955	0,2293
Desvio padrão	0,1153	0,0587
Quant. Ensaio	4,00	5,00
t0	4,535188268	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,365	
Resultado	Médias diferentes	

Ensaio	Capilaridade 48 hrs	
Traço	P8	P8
Idade	28 dias	210 dias
Média	0,7121	0,3068
Desvio padrão	0,2312	0,1043
Quant. Ensaio	4,00	5,00
t0	3,540380504	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,365	
Resultado	Médias diferentes	

Ensaio	Capilaridade 48 hrs	
Traço	P0	P8
Idade	28 dias	28 dias
Média	0,4955	0,7121
Desvio padrão	0,1153	0,2312
Quant. Ensaio	4,00	4,00
t0	-1,676307975	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,447	
Resultado	Médias iguais	

Ensaio	Capilaridade 48 hrs	
Traço	P0	P1
Idade	28 dias	28 dias
Média	0,4955	0,6586
Desvio padrão	0,1153	0,0378
Quant. Ensaio	4,00	4,00
t0	-2,688933222	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,447	
Resultado	Médias diferentes	

Ensaio	Capilaridade 48 hrs	
Traço	P1	P1
Idade	28 dias	210 dias
Média	0,6586	0,3465
Desvio padrão	0,0378	0,0990
Quant. Ensaio	4,00	5,00
t0	5,903014676	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,365	
Resultado	Médias diferentes	

Ensaio	Capilaridade 48 hrs	
Traço	P0	P8
Idade	210 dias	210 dias
Média	0,2293	0,3068
Desvio padrão	0,0587	0,1043
Quant. Ensaio	5,00	5,00
t0	-1,447684704	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,306	
Resultado	Médias iguais	

Ensaio	Capilaridade 48 hrs	
Traço	P8	P1
Idade	28 dias	28 dias
Média	0,7121	0,6586
Desvio padrão	0,2312	0,0378
Quant. Ensaio	4,00	4,00
t0	0,456683636	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,447	
Resultado	Médias iguais	

Ensaio	Capilaridade 48 hrs	
Traço	R0	R8
Idade	28 dias	28 dias
Média	0,5045	0,2599
Desvio padrão	0,0363	0,0970
Quant. Ensaio	4,00	5,00
t0	4,729908557	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,365	
Resultado	Médias diferentes	

Ensaio	Capilaridade 48 hrs	
Traço	P0	P1
Idade	210 dias	210 dias
Média	0,2293	0,3465
Desvio padrão	0,0587	0,0990
Quant. Ensaios	5,00	5,00
t0	-2,277339349	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,306	
Resultado	Médias iguais	

Ensaio	Capilaridade 48 hrs	
Traço	P8	P1
Idade	210 dias	210 dias
Média	0,3068	0,3465
Desvio padrão	0,1043	0,0990
Quant. Ensaios	5,00	5,00
t0	-0,618113912	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,306	
Resultado	Médias iguais	

Ensaio	Capilaridade 48 hrs	
Traço	R0	R1
Idade	28 dias	28 dias
Média	0,5045	0,2629
Desvio padrão	0,0363	0,0707
Quant. Ensaios	4,00	5,00
t0	6,159481287	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,365	
Resultado	Médias diferentes	

Ensaio	Capilaridade 48 hrs	
Traço	R8	R1
Idade	28 dias	28 dias
Média	0,2599	0,2629
Desvio padrão	0,0970	0,0707
Quant. Ensaios	5,00	5,00
t0	-0,056959744	
Nível de significancia 0,05		
Valor tabela	2,306	
Resultado	Médias iguais	