



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA – UniCEUB
FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS –
FATECS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

BÁRBARA CICUTO GONÇALVES PEREIRA

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE CONCRETOS NO ESTADO
FRESCO COM A INCORPORAÇÃO DE ADITIVO CRISTALIZANTE

BRASÍLIA
2018

BÁRBARA CICUTO GONÇALVES PEREIRA

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE CONCRETOS NO ESTADO
FRESCO COM A INCORPORAÇÃO DE ADITIVO CRISTALIZANTE**

Monografia apresentada ao curso de graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas – FATECS – do Centro Universitário de Brasília como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientação: Prof. Dr. Jorge Antonio da Cunha Oliveira

**BRASÍLIA
2018**

Bárbara Cicuto Gonçalves Pereira

Monografia apresentada ao curso de graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas – FATECS – do Centro Universitário de Brasília como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador Prof. Dr. Jorge Antonio da Cunha Oliveira

Membro Prof. Ms. Jocinez

Membro Eng Raíssa Soares do Nascimento

**BRASÍLIA
2018**

RESUMO

Os aditivos cristalizantes têm se destacado como uma das tecnologias de impermeabilização disponíveis que melhor atende às necessidades do mercado. Além de proteger as estruturas de concreto contra a penetração de água e outros agentes agressivos, esses aditivos permitem a flexibilidade no planejamento da obra e proporcionam uma aplicação prática que não depende de mão-de-obra especializada. Embora o uso de aditivos cristalizantes como redutores de permeabilidade das estruturas de concreto em obras seja crescente, existem poucos estudos acerca dos efeitos desses produtos nas propriedades do concreto durante as primeiras idades. Portanto, o objetivo geral desse trabalho é verificar as implicações do emprego de aditivos cristalizantes na trabalhabilidade do concreto, avaliando os seguintes parâmetros: abatimento do tronco de cone, tempo de início de pega, massa específica e teor de ar incorporado no estado fresco. Com o intuito de estabelecer uma análise comparativa, o estudo foi desenvolvido testando quatro diferentes aditivos comercializados no Brasil através de ensaios do concreto no estado fresco. Constatou-se tendência de extensão do tempo de início de pega, alteração drástica do abatimento do tronco de cone e pequenas alterações de massa específica e teor de ar incorporado

Palavras-Chave: Aditivo cristalizante; Estado fresco

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.2. OBJETIVO GERAL.....	2
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	3
2.1. HISTÓRICO DA DURABILIDADE DO CONCRETO	3
2.2. MATERIAIS CONSTITUINTES DO CONCRETO	3
2.2.1. <i>Cimento Portland</i>	3
2.2.2. <i>Agregado Miúdo e Graúdo</i>	3
2.2.3. <i>Água de amassamento</i>	<i>Erro! Indicador não definido.</i>
2.2.4. <i>Aditivos</i>	4
2.3. DURABILIDADE DO CONCRETO.....	4
2.9. SISTEMA DE IMPERMEABILIZAÇÃO POR CRISTALIZAÇÃO	7
3. METODOLOGIA.....	12
3.1. DOSAGEM DOS TRAÇOS.....	12
3.2. MATERIAIS CONSTITUINTES E CARACTERÍSTICAS	13
3.2.1. <i>Cimento</i>	13
3.2.2. <i>Agregados</i>	13
3.3. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO	13
3.3.1. <i>Ensaios de Caracterização dos Agregados</i>	13
3.3.2. <i>Ensaios de caracterização do Cimento Portland</i>	20
3.4. TRAÇOS DE CONCRETO.....	23
3.5. ENSAIOS DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO	26
3.5.1. <i>Abatimento de Tronco de Cone</i>	26
3.5.2. <i>Teor de Ar Pelo Método Pressométrico</i>	27
3.5.3. <i>Massa Específica Pelo Método Gravimétrico</i>	29
3.5.4. <i>Tempo de Início de Pega do Concreto</i>	30
3.6. ENSAIOS DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO.....	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
3.6.1. <i>Absorção de Água por Capilaridade</i>	<i>Erro! Indicador não definido.</i>
3.6.2. <i>Permeabilidade pelo método do cachimbo</i>	<i>Erro! Indicador não definido.</i>
3.6.3. <i>Resistência à compressão</i>	<i>Erro! Indicador não definido.</i>
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
4.1. ESTADO FRESCO	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
4.1.1. <i>Abatimento do tronco de cone</i>	31
4.1.2. <i>Teor de ar incorporado</i>	35
4.1.3. <i>Massa específica aparente</i>	36
4.1.4. <i>Tempo de início de pega</i>	37
4.2. ESTADO ENDURECIDO	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
4.2.1. <i>Absorção de água por capilaridade</i>	<i>Erro! Indicador não definido.</i>
4.2.1. <i>Resistência à compressão</i>	<i>Erro! Indicador não definido.</i>
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	40
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	41
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

Figuras

Figura 1: Formação dos cristais no interior do concreto.....	8
Figura 2: Formação de cristais na fissura.....	9
Figura 3: Procedimento de peneiramento mecânico das amostras.....	15
Figura 4: Frasco de Chapman para ensaio de determinação da massa específica dos agregados	18
Figura 5: Procedimento de lavagem das amostras para determinação do teor de material pulverulento.....	19
Figura 6: Aparelho de Vicat para determinação do tempo de pega do cimento	22
Figura 7: Agregados utilizados para dosagem dos traços de concreto.....	23
Figura 8: Materiais usados na dosagem do traço TSA.....	25
Figura 9: Organograma do processo de mistura dos materiais do concreto.....	26
Figura 10: Ilustração das etapas do ensaio de abatimento de tronco de cone	27
Figura 11: Equipamento utilizado no ensaio do teor de ar incorporado	28
Figura 12: Conjunto do ensaio de massa específica do concreto no estado fresco	29
Figura 13: Ensaio de determinação do tempo de pega do concreto – Agulha de penetração .	30
Figura 14: Ensaio de abatimento de tronco de cone.....	32
Figura 15: Partículas brancas identificadas no traço TA4.....	34

Gráficos

Gráfico 1: Curva de distribuição granulométrica dos agregados miúdos	17
Gráfico 2: Curvas de distribuição granulométrica dos agregados graúdos	17
Gráfico 3: Evolução da resistência à penetração em função do tempo	37

Tabelas

Tabela 1: Limites máximos de fissuração estabelecidos pela NBR 6118 (2014)	9
Tabela 2: Nomenclatura de identificação dos traços	12
Tabela 3: Ensaios do concreto no estado fresco e endurecido	12
Tabela 4: Ensaios de caracterização dos agregados	14
Tabela 5: Composição granulométrica dos agregados miúdos	15
Tabela 6: Composição granulométrica dos agregados graúdos	16
Tabela 7: Resultados de massa específica dos agregados miúdos	18
Tabela 8: Teor de material pulverulento determinado para os agregados	19
Tabela 9: Ensaios de caracterização do Cimento Portland	20
Tabela 10: Resultados do ensaio de resistência à compressão do cimento	21
Tabela 11: Tempo de início e fim de pega do Cimento	22
Tabela 12: Critérios propostos pela NBR 6118 (2014) para as classes de agressividade ambiental	24
Tabela 13: Proporções de dosagem dos traços de concreto do estudo	25
Tabela 14: Resultado do ensaio de abatimento do tronco de cone	31
Tabela 15: Classificações dos traços quanto ao abatimento do tronco de cone	33
Tabela 16: Teor de ar incorporado nos traços de concreto	35
Tabela 17: Resultados de massa específica dos traços	36
Tabela 18: Leituras de resistência à penetração do ensaio de tempo de pega do concreto	37
Tabela 19: Equações para obtenção do tempo de pega do concreto	38

SIGLAS

%	percentual
a/c	Relação água/cimento
cm	Centímetro
cm ³	Centímetro cúbico
g	Gramma
h	Hora
kg	Kilograma
mm	Milímetro
mL	Mililitro
r ²	Coefficiente de correlação

1. INTRODUÇÃO

O concreto é o material mais utilizado na construção civil, produto da mistura homogênea de cimento, agregados miúdos, graúdos e água em proporções adequadas. Com um controle tecnológico que promova um estudo apropriado de dosagem e acrescentando aditivos ou adições em sua composição é possível produzir diferentes tipos de concretos que atendam a finalidades específicas.

Segundo Mehta e Monteiro (2014), o reconhecimento de que as propriedades importantes do concreto podem ser modificadas pelo uso de aditivos e adições tem sido responsável pelo grande crescimento da indústria desses segmentos nos últimos 60 anos.

A baixa permeabilidade é uma das propriedades mais importantes do concreto, pois aumenta sua durabilidade, o que o torna mais vantajoso em relação a outros materiais estruturais, tais como a madeira e o aço.

No entanto, o concreto não é um material totalmente impermeável. Dessa forma, os aditivos e adições com funções impermeabilizantes vêm ganhando força no mercado nos últimos anos, visto que a necessidade de um concreto mais durável, isso é, com maior resistência à passagem de água e ao ataque de agentes agressivos, tem aumentado

1.1. Contextualização

Estruturas de concreto armado estão naturalmente sujeitas à processos de deterioração com o decorrer do seu tempo de vida útil. Daí justifica-se a importância atribuída às ações de uso, conservação e manutenção das estruturas no sentido evitar que os processos de deterioração se iniciem e desenvolvam precocemente e manter a durabilidade prevista para a estrutura. Conforme Costa et. al. (2017) explicam, as estruturas de concretos que não estão sujeitas a monitoramento, conservação e manutenção, estão propensas à ocorrência de danos. Quando o concreto armado perde seu estado de desempenho original em função de danos físicos, químicos ou mecânicos avançados, umas das medidas de intervenção preventiva que pode ser adotada para avaliação e monitoramento da estrutura são os ensaios não destrutivos.

1.2. Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é avaliar e comparar o desempenho de concretos no estado fresco, quando dosados com aditivos cristalizantes e sílica ativa, por meio de estudo empírico realizado em laboratório.

1.3. Objetivos Específicos

Constituem-se como objetivos específicos para o desenvolvimento deste trabalho:

- Verificar se os aditivos e a sílica afetam a trabalhabilidade e tempo de pega do concreto;
- Comparar o efeito dos aditivos cristalizantes com a sílica ativa nas propriedades do concreto no estado fresco;
- Analisar se há diferença de desempenho entre os quatro aditivos testados no estado fresco.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. HISTÓRICO DA DURABILIDADE DO CONCRETO

Segundo Medeiros, Andrade e Helene (2011), o conceito de durabilidade foi introduzido pelas normas de engenharia internacionais no início da década de 80, definindo-a como resultado da interação entre a estrutura de concreto, o ambiente e as condições de uso, operação e manutenção.

2.2. MATERIAIS CONSTITUINTES DO CONCRETO

O concreto é constituído por Cimento Portland, agregado graúdo, agregado miúdo, água e aditivos e/ou adições. Abaixo serão expostas informações relevantes acerca dos constituintes.

2.2.1. Cimento Portland

Segundo a ABCP (2002), Cimento Portland é a denominação convencionalmente mundialmente para o material usualmente conhecido na construção civil como cimento. O Cimento Portland é um pó fino, obtido pela moagem do clínquer, com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob ação da água. Depois de endurecido, mesmo que seja novamente submetido à ação da água, o cimento não se decompõe mais.

2.2.2. Agregado Miúdo e Graúdo

A NBR 9935 (2011) define o termo “agregado” como um material granular, sem forma e volume definidos, geralmente inerte, com dimensões e propriedades adequadas para a preparação de argamassa ou concreto. A classificação dos agregados se dá pelas suas dimensões (agregados miúdos ou graúdos).

Os agregados miúdos, de acordo com a NBR 7211 (2009), são aqueles cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150µm quando ensaiados pelo método de peneiramento especificado pela NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.

a) Composição e distribuição granulométrica do agregado miúdo

A realização do ensaio prescrito pela NBR NM 248 (2003) fornece dois parâmetros que caracterizam os agregados em relação à granulometria da partícula:

Módulo de finura (MF): resultado da soma das porcentagens retidas acumuladas, em massa de um agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100.

Dimensão Máxima Característica (D_{máx}): grandeza associada à distribuição granulométrica do agregado, correspondente à abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira da série normal ou intermediária, na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa.

2.2.3. Aditivos

Aditivos são produtos adicionados em pequena quantidade ao concreto em seu estado fresco com a finalidade de melhorar uma ou mais propriedades específicas.

2.3. PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO

A ASTM C125 (2015) define a trabalhabilidade como o esforço necessário para manusear determinada quantidade de concreto recémmisturado com a mínima perda de homogeneidade, garantindo que ocorra adensamento completo. Esta propriedade é composta por dois aspectos: a consistência e a coesão, definidas pela facilidade de escoamento e pela resistência à segregação, respectivamente (MEHTA; MONTEIRO, 2014)

2.3.1. Trabalhabilidade

A trabalhabilidade não é uma propriedade intrínseca do concreto, pois está relacionada não só às características próprias do material, bem como à natureza da obra e aos procedimentos de execução adotados para as fases de lançamento, adensamento e acabamento, sendo os principais fatores influentes: a relação água/cimento, as condições de mistura, o consumo de cimento e de aditivos, bem como as características dos agregados. (BAUER, 2015)

Portanto, um concreto é considerado trabalhável quando apresenta características físicas que atendem o tipo de obra a que se destina. Isto é, quando a

consistência e o diâmetro máximo do agregado se adequam às dimensões das peças, à distribuição das barras de aço e aos métodos executivos adotados na construção. A trabalhabilidade pode ser avaliada através da determinação da massa específica e do teor de ar do concreto fresco.

2.3.2. Massa Específica e Teor de Ar Incorporado

A massa específica é definida como a massa da unidade de volume do concreto e o teor de ar é o volume de ar incorporado ou aprisionado ao concreto fresco adensado. Essas propriedades estão correlacionadas visto que a massa específica do concreto fresco depende da quantidade de vazios preenchidos com ar.

2.3.3. Tempo de Pega

Além da trabalhabilidade, existem outros fatores de importante influência no concreto fresco, como o tempo de pega. Tal fenômeno é definido como o intervalo de tempo decorrido desde o início das reações entre a água e o cimento até o momento em que o material cessa de deformar sobre a ação de cargas. Os principais fatores que controlam são a temperatura ambiente, composição do cimento, relação água/cimento e aditivos (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

O início de pega define o tempo limite de manuseio do material, correspondendo aproximadamente ao momento exato em que o concreto fresco não pode mais ser adequadamente misturado, lançado e adensado. Já o fim de pega coincide exatamente com os períodos que marcam a perda completa de trabalhabilidade e o início do desenvolvimento de uma taxa significativa de resistência mecânica (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Uma vez que os aditivos influenciam no tempo de pega do concreto, podem influenciar também na trabalhabilidade.

2.4. DURABILIDADE DO CONCRETO

Segundo Medeiros, Andrade e Helene (2011), o conceito de durabilidade foi introduzido pelas normas de engenharia internacionais no início da década de 80, definindo-a como resultado da interação entre a estrutura de concreto, o ambiente e as condições de uso, operação e manutenção.

Com base nesse conceito, entende-se que a vida útil das estruturas depende não somente da classe de agressividade do ambiente em que está inserida a obra, mas

também da capacidade do concreto de resistir às ações físicas, químicas e mecânicas a que é submetido, conforme proposto por Araujo, Rodrigues e Freitas (2000).

Para tanto, a NBR 6118 (2014) classifica diferentes tipos de ambientes quanto ao grau de agressividade e risco de deterioração da estrutura, estabelecendo requisitos que devem ser cumpridos para efeitos de projeto e execução. Conforme a classe de agressividade ambiental da obra a norma determina a relação água/cimento de dosagem, a classe de resistência do concreto e o cobrimento nominal necessário para proteger a estrutura.

Contudo, convém considerar que as condições de durabilidade do concreto estão associadas a uma série de fatores além da relação água/cimento, resistência mínima à compressão e consumo de cimento. Pode-se afirmar que em termos de durabilidade e vida útil de uma estrutura, o concreto pode ser classificado como durável desde que apresente um mínimo de resistência a intempéries, à penetração de agentes degradantes, aos esforços mecânicos e a qualquer outro mecanismo de degradação ao qual ele será exposto.

De acordo com Isaia et al. (2011), os fenômenos de degradação mais frequentes no concreto são, na maioria das vezes, causados pela água como principal meio de transporte de substâncias agressivas, seja na forma pura, com íons dissolvidos (sulfatos e cloretos), ou na forma de vapor.

Moreira (2016) esclarece que, devido à necessidade de construir estruturas de concreto menos permeáveis e mais resistentes aos ataques de agentes agressivos, tais como cloretos, sulfatos e dióxido de carbono (CO₂), um grande número de pesquisadores tem estudado diferentes formas de produzir concretos com uma microestrutura mais densa, a partir do uso de relação água/cimento mais baixa, da incorporação de adições minerais e um aumento no consumo de Cimento Portland.

Entretanto, estas particularidades que os tornam tão vantajosos também trazem desvantagens, sendo a principal delas a formação de fissuras em função dos diversos processos de retração. Sucessivamente, a abertura de fissuras no concreto afeta sua estabilidade e durabilidade propiciando a difusão de agentes agressivos que podem comprometer a impermeabilidade do concreto de tal maneira que embora essas medidas apresentem vantagens relevantes seu ônus pode inviabilizá-las.

Nesse sentido, é justificável que dentre as diversas medidas disponíveis para minimizar os riscos de deterioração das estruturas, a aplicação de sistemas de impermeabilização continua sendo considerada uma das soluções que garante maior segurança à vida útil das estruturas. No entanto, para a escolha do sistema de impermeabilização mais adequado às necessidades da construção é fundamental conhecer sua influência nas propriedades no estado fresco, a fim de assegurar viabilidade de incorporação do aditivo.

2.9. SISTEMA DE IMPERMEABILIZAÇÃO POR CRISTALIZAÇÃO

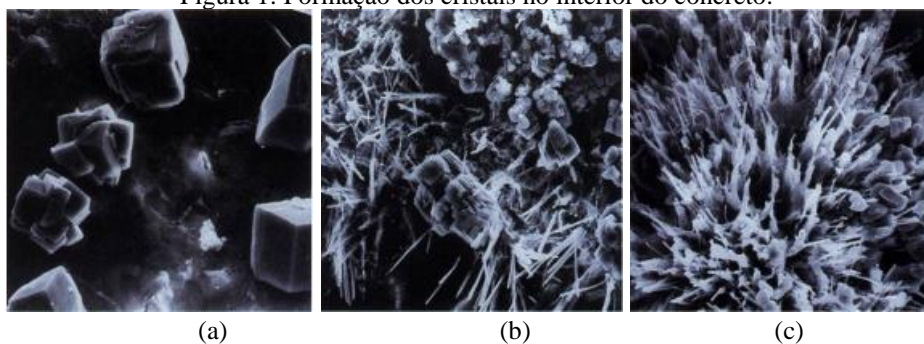
Dentro do contexto apresentado, fica evidente que a aplicação de impermeabilização nas estruturas de concreto é uma medida indispensável de proteção e preservação da vida útil das construções, capaz de minimizar ou até mesmo evitar os riscos de deterioração do concreto pelos mecanismos de transporte da água e ação de agentes agressivos.

Em situações cotidianas de obra, normalmente a técnica construtiva adotada para a impermeabilização das estruturas é a aplicação de produtos à base de cimento, materiais asfálticos e poliméricos que formam uma barreira física superficial, impedindo a entrada de água através do concreto. No entanto, os sistemas de impermeabilização superficiais apresentam algumas desvantagens, uma vez que são mais vulneráveis a deterioração causada por intempéries.

Nesse sentido, o sistema de impermeabilização por cristalização se destaca pela capacidade de proporcionar estanqueidade ao concreto em nível microscópico através do efeito de preenchimento dos poros capilares, que contribuem para o aumento das características impermeáveis, dificultando assim a penetração de líquidos e gases.

Takagi, Almeida Júnior e Oliveira (2007) definem o tratamento de cristalização como um processo físico-químico onde os ingredientes ativos do cristalizante desencadeiam reações catalíticas, totalmente compatíveis com as reações de hidratação do cimento, em que ocorre a formação de cristais não solúveis e não tóxicos numa profundidade mínima de 50 mm na estrutura do concreto (Figura 1), de modo a garantir que não haja a penetração de água por capilaridade, suportando pressões hidrostáticas tanto positivas como negativas de até 0,7 MPa.

Figura 1: Formação dos cristais no interior do concreto.



(a) Concreto não tratado; (b) Início da formação dos cristais; (c) Cristalização final.

Fonte: Takagi, Almeida Júnior e Oliveira (2007).

A rigor, quando comparado aos sistemas convencionais de impermeabilização, o tratamento cristalizante apresenta a vantagem de ser integrado ao concreto através da formação de uma estrutura cristalina insolúvel no interior dos poros e capilares, ou seja, é um sistema ausente de filme superficial.

Por esse motivo, a tecnologia de impermeabilização por cristalização vem sendo adotada principalmente em obras com estruturas de formas complexas, onde há dificuldades de aplicação dos sistemas de impermeabilização superficiais, desde que a estrutura não esteja sob risco potencial de desenvolver fissuras ativas, por se tratar de um sistema de impermeabilização rígido.

Ourives, Bilesky e Yokoyama (2008) explicam que a formação cristalina impede a penetração de água, porém permite a passagem do vapor d'água evitando a pressão de vapor dentro do concreto. Essa ação pode ser validada pelos autores Pazderka e Hájková (2016), que após testarem o uso de dois aditivos cristalizantes no concreto, obtiveram percentuais de apenas 16% e 20% de redução na absorção de vapor d'água, afirmando que o efeito é relativamente insignificante e contribui para a durabilidade do concreto em termos de minimizar o potencial de risco oferecido à estrutura em função da pressão de vapor.

Associado à este mecanismo de ação dos aditivos, cabe destacar que nos sistemas de cristalização a formação de cristais permite a capacidade de auto-cicatrização de fissuras passivas de até 0,4 mm de abertura, máximo permitido pela NRB 6118 (ABNT, 2014) para concretos armados inseridos na classe de agressividade ambiental I (Tabela 1), o que impede novos caminhos de penetração de água.

Tabela 1: Limites máximos de fissuração estabelecidos pela NBR 6118 (2014)

Tipo de concreto estrutural	Classe de agressividade ambiental (CAA) e tipo de protensão	Exigências relativas à fissuração	Combinação de ações em serviço a utilizar
Concreto simples	CAA I a CAA IV	Não há	–
Concreto armado	CAA I	ELS-W $w_k \leq 0,4$ mm	Combinação frequente
	CAA II e CAA III	ELS-W $w_k \leq 0,3$ mm	
	CAA IV	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014)

Nos sistemas de impermeabilização aplicados superficialmente, como mantas e membranas, as solicitações de carga em estruturas submetidas à pressão positiva, como no caso de reservatórios, ou a pressões negativas, como em lajes de subpressão ou cortinas, podem gerar fissuras que comprometem o desempenho do sistema e reduzem a vida útil das estruturas.

Ourives, Bilesky e Yokoyama (2008) colocam em destaque que nos sistemas de cristalização, se novas fissuras aparecem durante a vida útil da estrutura, os cristais se formarão nessas fissuras também impedindo novos caminhos de passagem para a água (Figura 2). Quando não há água dentro da fissura, os cristais permanecem dormentes, porém, quando ocorre nova interação com a água, os cristais voltam a reagir, mantendo assim o concreto protegido.

Figura 2: Formação de cristais na fissura



Fonte: Ourives, Bilesky e Yokoyama (2008)

Todas as particularidades envoltórias dos aditivos cristalizantes contribuem para que o tratamento de impermeabilização por cristalização capilar seja eficaz na proteção contra a ação de intempéries e águas correntes, reduzindo o risco de danificação do concreto.

Paralelamente ao tema discorrido, Mehta e Monteiro (2014) também sugerem o efeito positivo de adições minerais no concreto: “Como a reação pozolânica envolvendo adições minerais causa um refinamento dos poros que reduz a permeabilidade do concreto, tanto os estudos de campo como os de laboratório mostraram melhoria considerável na durabilidade química do concreto contendo essas adições”.

Pesquisas realizadas com concretos com a mesma relação a/c e mesma resistência, porém com adições minerais, concluíram que a absorção capilar de água em um concreto com 8% de sílica ativa é cerca de metade do que em um concreto sem adição (LOPES et al., 2007).

Para efeitos práticos a resistência à compressão normalmente é o indicador mais usado para caracterizar um concreto endurecido e em concretos dosados com aditivos cristalizantes ou com adição de sílica ativa, o efeito de preenchimento dos poros capilares contribui para a formação de uma microestrutura mais densa e consequentemente para maior desenvolvimento de resistência mecânica.

Neville e Brooks (2013) ressaltam que em muitas situações, outras características, como a durabilidade, impermeabilidade e estabilidade de volume podem ser de fato mais importantes que a resistência à compressão.

Contudo, é válido considerar que muitas propriedades do concreto, inclusive a impermeabilidade e a resistência química a intempéries, podem ser deduzidas a partir dos dados de resistência, pois ambas estão diretamente ligadas à estrutura de poros (MEHTA, MONTEIRO; 2014).

Em um estudo prático desenvolvido por Cappellesso et. al. (2016) para avaliar o desempenho de aditivos cristalizantes e adição de sílica ativa no concreto, os autores verificaram que o aditivo cristalizante utilizado proporcionou um aumento de 16% na resistência à compressão do concreto, e concluíram que o resultado pode estar em função da redução dos poros capilares que é provocada pela formação de cristais no interior do material.

Neste mesmo estudo, o concreto com adição de sílica ativa apresentou o melhor desempenho quando comparado ao de referência (sem adições ou aditivos), com um aumento de 28% na resistência à compressão e 16% de redução na absorção capilar de água por imersão total.

Diferentemente, de acordo com resultados de um trabalho apresentado por Pazderka e Hájková (2016), até os 28 dias de idade, não foram observados acréscimos ou decréscimos significantes na resistência à compressão de dois tipos de concretos dosados com aditivos cristalizantes distintos. Para ambos, a variação entre os resultados foi da ordem de 1% a menos em relação ao traço de referência (sem aditivo). Os autores propuseram a hipótese de que o desenvolvimento de resistência do concreto com o aditivo é tardio, sugerindo a realização de estudos posteriores para confirmação.

No entanto, embora o tratamento de impermeabilização por cristalização seja uma solução inovadora e em crescimento, existem poucos estudos acerca dos efeitos desse tipo de aditivo nas propriedades do concreto em seu estado fresco.

Sabe-se que as condições de operação do concreto nas primeiras idades (lançamento, adensamento e acabamento) representam fatores determinantes no desempenho final da estrutura, e normalmente são definidas através do conceito de trabalhabilidade do concreto.

Mehta e Monteiro (2014) definem que a trabalhabilidade depende de dois fatores: a consistência e a coesão, definidas pela facilidade de escoamento e pela resistência à segregação, respectivamente. A consistência é o componente físico que traduz as propriedades intrínsecas da mistura fresca nos índices de mobilidade da massa. Dentre os indicadores mais adotados para avaliar a trabalhabilidade do concreto, estão o abatimento do tronco de cone, o tempo de pega e o teor de ar incorporado.

Logo, ainda que as facilidades de aplicação do sistema de impermeabilização de estruturas por cristalização sejam indiscutíveis, também convém verificar se os aditivos cristalizantes afetam as características do concreto no estado fresco em nível de prejudicar ou até mesmo restringir a aplicabilidade e as condições de operação nas primeiras idades.

Takagi, Almeida Júnior e Oliveira (2007) definem o tratamento de cristalização como um processo físico-químico onde os ingredientes ativos do cristalizante desencadeiam reações catalíticas, totalmente compatíveis com as reações de hidratação do cimento, em que ocorre a formação de cristais não solúveis e não tóxicos numa profundidade mínima de 50 mm na estrutura do concreto (Figura 1), de modo a garantir que não haja a penetração de água por capilaridade, suportando pressões hidrostáticas tanto positivas como negativas de até 0,7 MPa.

3. METODOLOGIA

A partir da contextualização apresentada na revisão bibliográfica, a seguir será apresentada a metodologia de execução dos ensaios referentes a esse trabalho.

3.1. Dosagem dos traços

Para o desenvolvimento do estudo foi adotada uma metodologia experimental, que consistiu na execução de seis traços de concreto, sendo um traço sem aditivo para efeitos comparativos, denominado Traço Piloto, quatro dosados com aditivo cristalizantes distintos e um traço complementar contendo adição de sílica ativa com a finalidade de comparar o efeito dessa adição nas propriedades do concreto em relação aos cristalizantes. A nomenclatura utilizada ao longo desse trabalho é exposta abaixo na Tabela 2.

Tabela 2: Nomenclatura de identificação dos traços

SIGLA	NOMENCLATURA
TP	Traço Piloto (sem aditivo)
TA1	Traço com aditivo cristalizante 1
TA2	Traço com aditivo cristalizante 2
TA3	Traço com aditivo cristalizante 3
TA4	Traço com aditivo cristalizante 4
TSA	Traço com adição de sílica ativa

O estudo comparativo entre os traços foi desenvolvido por meio de ensaios do concreto no estado fresco e endurecido com o objetivo de determinar as propriedades consideradas de maior relevância para o estudo. Os ensaios adotados para determinação dessas propriedades e as normas de especificação são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3: Ensaios do concreto no estado fresco e endurecido

ENSAIO	NORMA	IDADE DO ENSAIO
Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone	NBR NM 67 (1998)	Fresco
Concreto - Determinação do teor de ar em concreto fresco - Método pressométrico	NBR NM 47 (2002)	Fresco
Concreto e argamassa - Determinação dos tempos de pega por meio de resistência à penetração	NBR NM 9 (2003)	Fresco

Concreto fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico	NBR 9833 (2008)	Fresco
Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos	NBR 5739 (2007)	7, 28 e 63 dias
Permeabilidade de água pelo método do cachimbo		84 dias
Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade	NBR 9779 (2012)	19 e 63 dias

3.2. Materiais constituintes e características

3.2.1. Cimento

Baseado em um estudo desenvolvido por Regattieri, Silva e Helene (1996), o cimento definido para a composição dos traços foi o Cimento Portland Pozolânico - CP IV – 32 (NBR 5736: 1991), que contém adição de pozolana em um teor de 15% a 50% em massa. De acordo com os autores acima citados, quando comparado aos outros tipos de cimento, o CP IV apresenta melhor desempenho na redução de absorção capilar do concreto.

Tendo em vista esse estudo, a decisão por esse tipo de cimento é justificada pela intenção de criar o melhor cenário no que diz respeito a fatores colaborativos à impermeabilização de forma a apresentar resultados que descrevam a máxima capacidade que esses produtos têm de promover estanqueidade.

3.2.2. Agregados

A escolha dos agregados se deu em função de situações convencionais observadas em usinas de concreto da região visando melhores condições de trabalhabilidade em obra. Foram utilizados dois agregados miúdos, sendo uma combinação de areia de cava, conhecida por areia rosa e uma areia artificial. Como agregado graúdo foram utilizados brita 0 e brita 1.

3.3. Ensaio de Caracterização

3.3.1. Ensaio de Caracterização dos Agregados

Os ensaios de caracterização dos agregados miúdos e graúdos foram realizados seguindo procedimentos especificados pelas normas brasileiras, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4: Ensaios de caracterização dos agregados

ENSAIO	NORMA
Agregados - Determinação da composição granulométrica	NBR NM 248 (2003)
Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman	NBR 9776 (1987)
Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem	NBR NM 46 (2003)

Previamente aos procedimentos dos ensaios de caracterização foram coletadas amostras do lote de cada agregado. As amostras foram colocadas em estufa durante 24 horas para secagem completa e depois resfriadas à temperatura ambiente.

- **Composição granulométrica**

Os quatro agregados foram caracterizados quanto à composição granulométrica por meio do método de peneiramento estabelecido pela NBR NM 248 (2003). O objetivo do ensaio é determinar o módulo de finura e a dimensão máxima característica dos agregados, pois são fatores relevantes no que diz respeito ao custo e a trabalhabilidade do concreto. Para operação do ensaio, foi adotado o procedimento de peneiramento manual das amostras (Figura 3).

Figura 3: Procedimento de peneiramento mecânico das amostras



Fonte: Autor

Nas Tabelas 5 e 6 são apresentados os resultados finais de dimensão máxima característica e módulo de finura obtidos no ensaio e a composição granulométrica das duas amostras ensaiadas para cada agregado, expressa em percentual de material retido em cada peneira do conjunto de ensaio.

Tabela 5: Composição granulométrica dos agregados miúdos

Peneira		Areia Rosa		Areia Artificial	
Nº	mm	Amostra 1	Amostra2	Amostra 1	Amostra2
		% retida acumulada	% retida acumulada	% retida acumulada	% retida acumulada
2"	50,0	0,00	0,00	0,00	0,00
1.1/2"	37,5	0,00	0,00	0,00	0,00
1.1/4"	31,5	0,00	0,00	0,00	0,00
1"	25,0	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	19,0	0,00	0,00	0,00	0,00
1/2"	12,5	0,00	0,00	0,00	0,00
3/8"	9,50	0,00	0,00	0,00	0,00
1/4"	6,30	0,00	0,00	0,00	0,00
Nº 4	4,75	0,00	0,01	0,65	0,33
Nº 8	2,36	0,72	0,55	34,13	30,35
Nº 16	1,18	1,65	1,52	63,95	59,98
Nº 30	0,60	3,37	3,15	79,13	76,55
Nº 50	0,30	14,75	14,78	87,55	86,88
Nº 100	0,15	77,21	77,38	95,45	96,50

Fundo -	100,51	99,97	99,93	100,00
Módulo de Finura	0,98	0,97	3,61	3,51
D máx (mm)	0,60	0,60	4,75	4,75

Tabela 6: Composição granulométrica dos agregados graúdos

Peneira		Brita 0		Brita 1	
Nº	mm	Amostra 1	Amostra2	Amostra 1	Amostra2
		% retida acumulada	% retida acumulada	% retida acumulada	% retida acumulada
2"	50,0	0,00	0,00	0,00	0,00
1.1/2"	37,5	0,00	0,00	0,00	0,00
1.1/4"	31,5	0,00	0,00	0,00	0,00
1"	25,0	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	19,0	0,00	0,00	0,98	0,00
1/2"	12,5	0,36	0,30	48,17	50,07
3/8"	9,50	5,27	7,47	86,96	87,78
1/4"	6,30	62,95	60,72	97,79	96,60
Nº 4	4,75	86,43	84,67	99,10	98,46
Nº 8	2,36	96,98	96,44	99,24	98,97
Nº 16	1,18	97,26	97,20	99,25	99,01
Nº 30	0,60	97,32	97,36	99,26	99,04
Nº 50	0,30	97,39	97,51	99,31	99,10
Nº 100	0,15	97,98	97,91	99,53	99,36
Fundo -		99,37	99,93	99,98	99,99
Módulo de Finura		5,79	5,79	6,84	6,82
D máx (mm)		12,5	12,5	19,0	19,0

Nos Gráficos 1 e 2 são representadas as curvas de distribuição granulométrica dos agregados.

Gráfico 1: Curva de distribuição granulométrica dos agregados miúdos

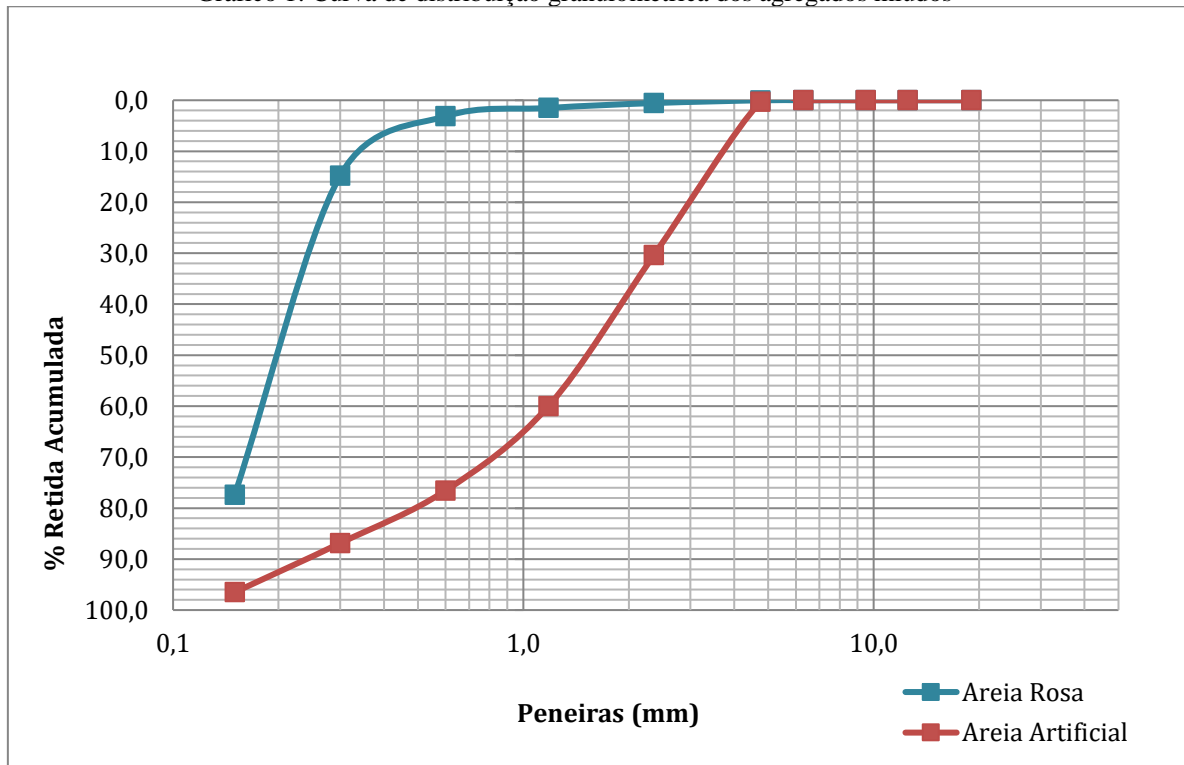
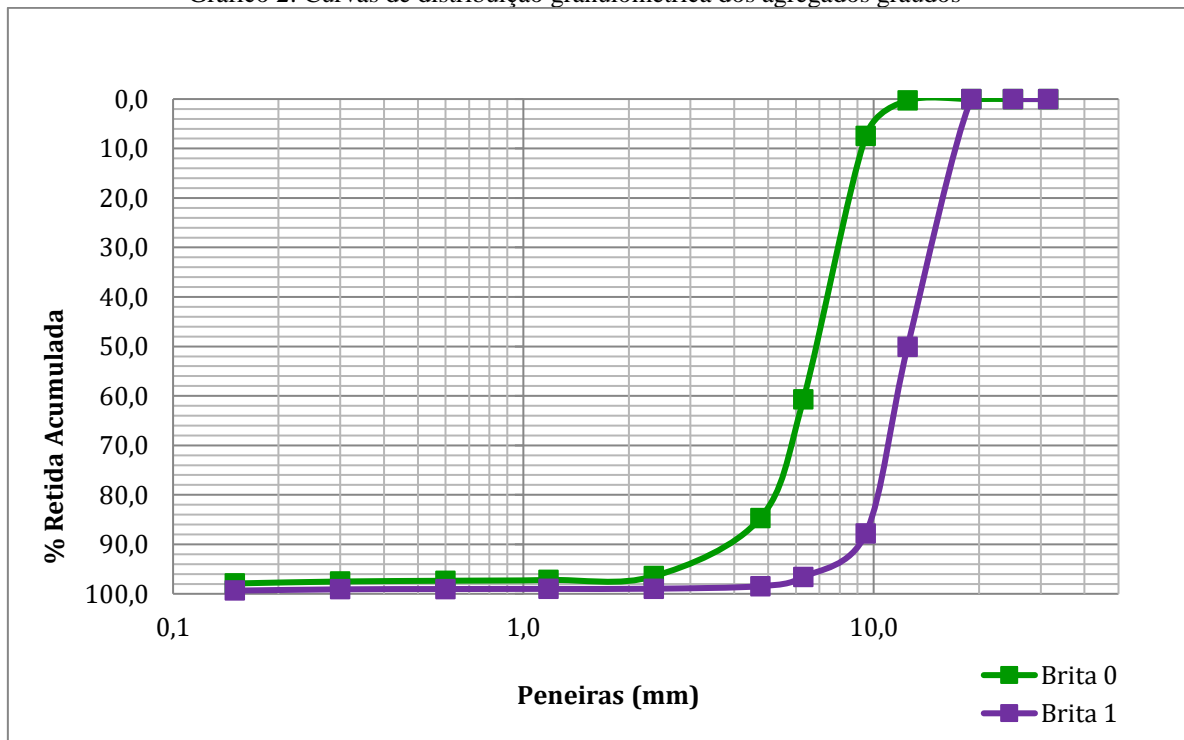


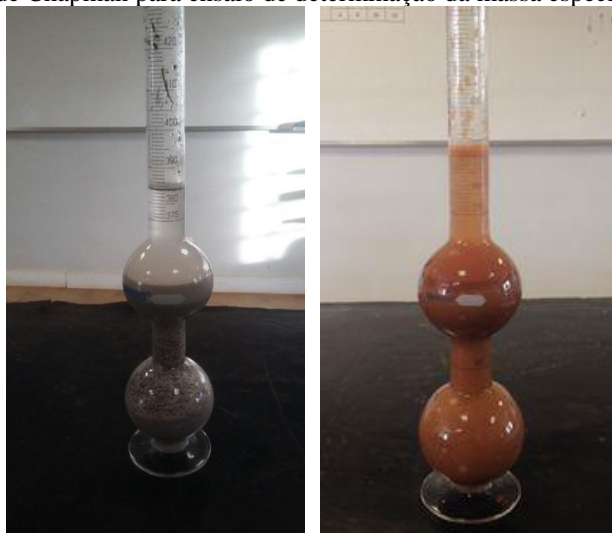
Gráfico 2: Curvas de distribuição granulométrica dos agregados graúdos



- Massa específica

Os agregados miúdos constituintes dos traços (Areia Rosa e Areia Artificial) foram caracterizados quanto à massa específica por meio do método de ensaio do frasco de Chapman (Figura 4).

Figura 4: Frasco de Chapman para ensaio de determinação da massa específica dos agregados



Fonte: Autor

A partir da leitura no frasco de Chapman, determinou-se a massa específica dos dois agregados miúdos, conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7: Resultados de massa específica dos agregados miúdos

Massa específica γ (g/cm ³)		
Amostra	Areia Rosa	Areia Artificial
Amostra 1	2,63	2,72
Amostra 2	2,66	2,76

▪ Teor de material pulverulento

O ensaio de determinação de material pulverulento foi realizado com o objetivo de determinar a quantidade percentual de partículas inferiores à 0,075 mm contida nas amostras coletadas dos lotes de cada agregado, denominado material pulverulento.

A importância deste ensaio é justificada pelo efeito de retenção de água causado pelos materiais pulverulentos durante o procedimento de mistura do concreto e hidratação da pasta de cimento, o que pode resultar em problemas de retração e/ou perda de trabalhabilidade.

O método de ensaio adotado consiste em determinar a massa de material fino que passa na peneira nº 200 (75 µm) por lavagem da amostra com água (Figura 5), seguindo os procedimentos estabelecidos pela NBR NM 46 (2003). Para a lavagem dos agregados graúdos foi utilizado agente umectante de modo a auxiliar na separação das partículas mais finas das mais grossas.

Figura 5: Procedimento de lavagem das amostras para determinação do teor de material pulverulento



Fonte: Autor

Os resultados obtidos neste ensaio são apresentados na Tabela 8. Nota-se que todos os agregados apresentaram quantidade acima da máxima permitida pela NBR 7211 (ABNT, 2009).

Tabela 8: Teor de material pulverulento determinado para os agregados

Agregado	Teor de pulverulento (%)	Limite máximo NBR 7211 (2009)
Areia Rosa	9,10%	5%
Areia Artificial	16,26%	5%
Brita 0	4,89%	1%
Brita 1	1,90%	1%

3.3.2. Ensaios de caracterização do Cimento Portland

Os ensaios de caracterização do cimento foram realizados com o objetivo de verificar se as propriedades físicas e mecânicas do lote de Cimento Portland Pozolânico (CP IV) usado na dosagem dos traços estão de acordo com os critérios da norma de especificação do Cimento Portland Pozolânico – CP IV – NBR 5736 (ABNT, 1991).

Para fins de caracterização do Cimento Portland, foram realizados os ensaios listados na Tabela 9.

Tabela 9: Ensaios de caracterização do Cimento Portland

ENSAIO	NORMA
Determinação da resistência à compressão	NBR 7215 (1997)
Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200)	NBR 11579 (2013)
Determinação da pasta de consistência normal	NBR NM 43 (2003)
Determinação do tempo de pega	NBR NM 65 (2003)

▪ Resistência do Cimento Portland à compressão

O método de ensaio consiste em determinar a resistência à compressão de quatro corpos-de-prova cilíndricos de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura, seguindo os procedimentos estabelecidos pela NBR 7215 (ABNT, 1997).

Os corpos-de-prova foram mantidos em processo de cura até o instante do procedimento de ruptura na prensa hidráulica. Para cada idade prevista foram rompidos 4 corpos-de-prova.

Finalmente, calcula-se a média aritmética das resistências obtidas, considerando o desvio padrão máximo de 6% permitido pela NBR 7215 (1997), para então determinar o resultado do ensaio e verificar se está em conformidade com os limites mínimos de resistência estabelecidos pela NBR 5736 (1991) para cada idade.

Conforme apresentado na Tabela 10, os resultados de resistência à compressão do CP IV – 32 para as idades de 3, 7 e 38 dias são superiores aos limites mínimos exigidos por norma.

Tabela 10: Resultados do ensaio de resistência à compressão do cimento

Idade	Resistência média à compressão (MPa)	Limite mínimo de resistência média (MPa)	Desvio Relativo Máximo (%)
3 dias	20,8	10,0	3,3%
7 dias	34,1	20,0	4,2%
28 dias	44,3	32,0	1,4%

- **Índice de finura do Cimento Portland**

O princípio operacional deste ensaio segue o método estabelecido pela NBR 11579 (ABNT, 2013), que consiste no peneiramento de uma amostra de cimento para determinar o percentual de partículas com dimensão inferior à 0,075 mm, denominado índice de finura do cimento. Para determinação do índice de finura do Cimento Portland Pozolânico CP IV foi adotado o método de peneiramento manual.

Concluído todo o procedimento definidos pela norma, determinou-se a massa de cimento retida na peneira nº 200 (75 µm) para o cálculo do índice de finura.

O resultado de índice de finura do cimento obtido ao final do ensaio foi de 3,84%, atendendo o limite máximo de 8,0% permitido pela NBR 5736 (1991).

- **Pasta de consistência normal**

O método de ensaio é especificado pela NBR NM 43 (2003) e estabelecido como procedimento prévio obrigatório para o ensaio de determinação do tempo de pega do cimento.

Conforme o conceito definido pela norma, pasta de consistência normal é a pasta na qual a sonda de Tetmajer penetra uma distância de (6 ± 1) mm da placa base. O objetivo do ensaio é determinar a quantidade de água, que adicionada ao cimento, produz a pasta com essa consistência exata.

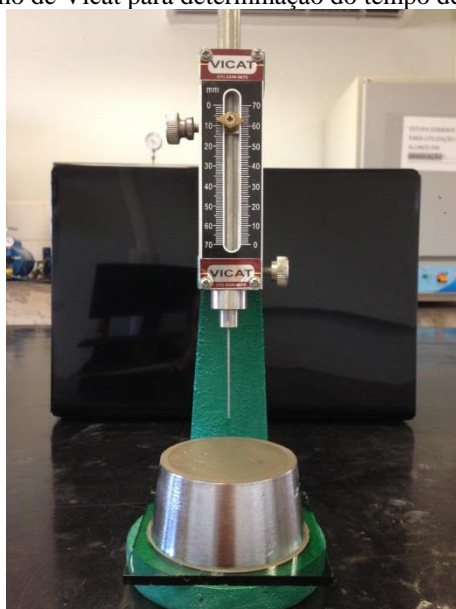
No ensaio executado para determinação da pasta de consistência normal da amostra de cimento, após 6 tentativas, a quantidade de água acrescentada à mistura para obtenção da pasta de consistência normal foi de 185 g.

- **Tempo de pega do cimento**

Os procedimentos desse ensaio foram adotados seguindo as diretrizes apresentadas na NBR NM 65 (ABNT, 2003) e adotando a quantidade de 185g de água, conforme dado obtido no ensaio anterior, para a produção da pasta de consistência normal.

O conjunto utilizado para os procedimentos técnicos do ensaio é composto pelo aparelho de Vicat, acoplado às agulhas de início e fim de pega (Figura 6). O ensaio tem o objetivo de coletar resultados do tempo de pega do cimento, definidos operacionalmente pelo período decorrido desde a adição da água ao cimento até a penetração de (4 ± 1) mm da agulha de Vicat do fundo, para o início de pega, e até a penetração de 0,5 mm da agulha de Vicat na superfície, para o fim de pega.

Figura 6: Aparelho de Vicat para determinação do tempo de pega do cimento



Fonte: Autor

O resultado desse ensaio é limitado por parâmetros apresentados na NBR 5736 (1991). Na Tabela 11 comparativa dos resultados e parâmetros estipulados por norma.

Tabela 11: Tempo de início e fim de pega do Cimento

PEGA	Tempo (horas)	Limites da NBR 5736 (horas)
Início	03:20	01:00
Fim	03:50	12:00

Conforme exposto na Tabela 11 os resultados obtidos encontram-se dentro dos estipulados pela norma.

3.4. Traços de Concreto

Para obter um concreto com maior compactidade e melhor coesão optou-se por um traço composto de dois agregados miúdos (Areia Rosa e Areia Artificial) e dois agregados graúdos (Brita 0 e Brita 1), conforme ilustrado na Figura 7.

Figura 7: Agregados utilizados para dosagem dos traços de concreto



Fonte: Autor

Os materiais componentes e as proporções foram mantidas para os seis traços de concreto, alterando-se apenas o aditivo cristalizante utilizado em cada um, ou adição, no caso da sílica ativa. Para os aditivos cristalizantes definiu-se a proporção de 1% sobre a massa de cimento do traço, seguindo as recomendações dos fabricantes especificadas nas fichas técnicas de cada produto. Já o traço denominado TSA foi dosado com substituição parcial do cimento (em massa) por 8% de sílica ativa.

Os agregados miúdos foram dosados em uma proporção de 2,30 kg para 1,0 kg de cimento, com um percentual de 30% de areia rosa e 70% de areia artificial. Os agregados graúdos foram dosados em uma proporção de 2,94 kg para 1,0 kg de cimento, com o percentual de 50% para a brita 0 e 50% para a brita 1, conforme proposto por

Rodrigues (1998). Para as proporções dadas, o traço apresenta 52,8% de teor de argamassa.

Para evitar dificuldades de operação dos ensaios devido à possíveis perdas excessivas de abatimento causadas pelos aditivos cristalizantes, os traços foram dosados com 1% de aditivo polifuncional sobre a massa de cimento (quantidade máxima recomendada pelo fabricante). Esses aditivos se caracterizam por desempenhar funções plastificantes e retardar a pega do concreto, promovendo a manutenção da trabalhabilidade da massa.

Na primeira etapa metodológica do trabalho, produziu-se uma mistura de 8 litros de concreto padronizada sob as mesmas proporções de cimento e agregados do Traço Padrão (TP) e fator a/c inicial de 0,40 (400 g de água para 1 kg de cimento). Gradualmente, o fator a/c foi ajustado, acrescentando água até obter uma mistura com a trabalhabilidade desejada, mais especificamente com abatimento de 100 a 120 mm.

Por fim, obteve-se abatimento de 110 mm para um fator a/c = 0,60, correspondente à proporção entre a quantidade total de água adicionada à betoneira e a quantidade de cimento da mistura. Ressalta-se que fator água/cimento (a/c) de 0,60 atende ao limite máximo permitido pela NBR 6118 (ABNT, 2014) para a classe de agressividade ambiental II, conforme apresentado na Tabela 13 Todas as proporções do traço definidas são apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12: Critérios propostos pela NBR 6118 (2014) para as classes de agressividade ambiental

Concreto	Tipo	Classe de agressividade (tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

Fonte: NBR 6118 (2014)

Tabela 13: Proporções de dosagem dos traços de concreto do estudo

Traço	Cimento CP IV (kg)	Areia Rosa (kg)	Areia Artificial (kg)	Brita 0 (kg)	Brita 1 (kg)	Água (kg)	Aditivo Polifuncional (% sobre a massa de cimento)	Aditivo Cristalizante (% sobre a massa de cimento)	Sílica Ativa (% sobre a massa de cimento)
TP	1,0	0,69	1,61	1,47	1,47	0,60	1,0%	---	---
TA1								1,0%	---
TA2								1,0%	---
TA3								1,0%	---
TA4								1,0%	---
TSA								---	8,0%

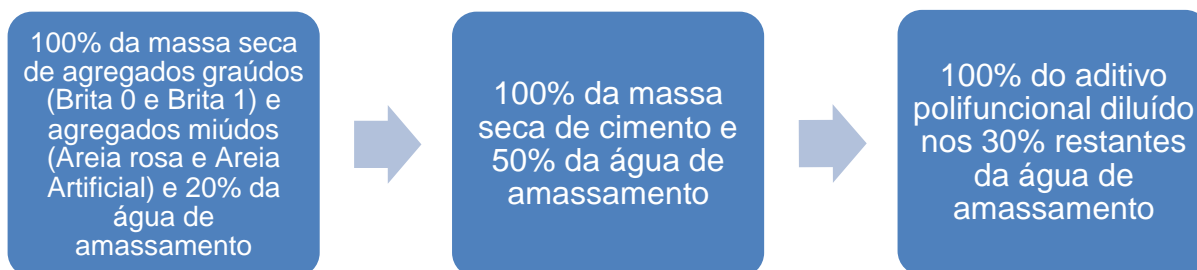
Após o ajuste da quantidade de água dos traços, calculou-se o consumo de cimento e a quantidade dos materiais necessária para produzir em cada mistura um volume pré-determinado de concreto para a execução de todos os ensaios. Na Figura 8 é possível visualizar os materiais usados na dosagem do traço TSA (com adição de sílica ativa).



Fonte: Autor

O procedimento de mistura dos traços foi realizado mecanicamente pela mesma betoneira (com capacidade de 250 litros). O tempo de mistura também foi padronizado em torno de 8 minutos contados a partir do contato inicial da água com o cimento de maneira a evitar variabilidade dos resultados. A ordem de inserção dos materiais na betoneira foi definida em três etapas subsequentes, como apresentado no organograma da Figura 9.

Figura 9: Organograma do processo de mistura dos materiais do concreto



Para definir o método de inserção dos aditivos cristalizantes na massa de concreto, realizou-se um estudo de dosagem prática testando diferentes procedimentos de mistura especificados pelos fabricantes. Mediante esse estudo experimental observou-se que o descumprimento do procedimento de mistura recomendado para cada aditivo resultou em reduções excessivas no abatimento do traço. Logo, os aditivos cristalizantes foram acrescentados à mistura por meio de procedimentos distintos, buscando-se seguir rigorosamente a instrução de mistura recomendada para cada aditivo em suas respectivas fichas técnicas.

Na mistura do TA1, o aditivo cristalizante foi inserido na betoneira ao final da etapa 2 da mistura dos principais materiais componentes (cimento, agregados e fração da água) e antes do aditivo polifuncional diluído. Na mistura do TA2 e TA3, o aditivo cristalizante foi diluído em uma fração de 25% da água de amassamento e inserido na betoneira na terceira etapa descrita acima. Por fim, na mistura do TA4 a dosagem foi realizada na etapa 1, o aditivo cristalizante foi inserido na betoneira com 30% da massa dos agregados graúdos e miúdos e 60% da água de amassamento do traço.

Imediatamente após a operação de mistura de cada traço procedeu-se à realização dos ensaios do concreto no estado fresco e à moldagem de 10 (dez) corpos-de-prova cilíndricos, com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, seguindo os procedimentos de adensamento e cura determinados pela NBR 5738 (ABNT, 2015).

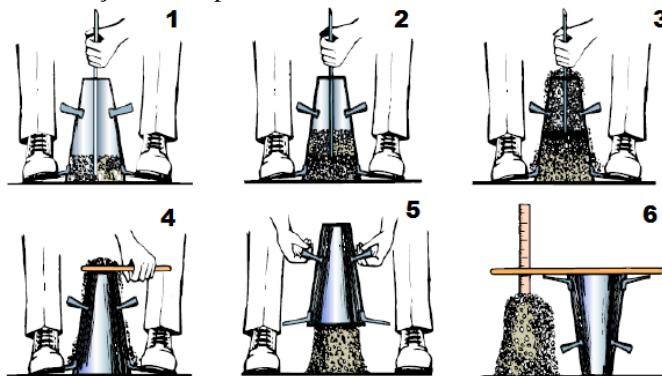
3.5. Ensaios do Concreto

3.5.1. Abatimento de Tronco de Cone

O ensaio de abatimento do tronco de cone segue os procedimentos prescritos na norma NBR NM 67 (ABNT, 1998) e tem como objetivo determinar a consistência do concreto fresco através da medida de seu assentamento.

Para a execução do ensaio utiliza-se uma placa metálica de base, uma haste metálica de adensamento e um molde de tronco de cone com as seguintes medidas: 200 mm de diâmetro na base inferior, 100 mm de diâmetro na base superior e 300 mm de altura. O abatimento é a medida da diferença de altura entre o tronco de cone e o eixo da massa de concreto após o desmolde. A Figura 10 ilustra os procedimentos de ensaio passo a passo.

Figura 10: Ilustração das etapas do ensaio de abatimento de tronco de cone



Fonte: <http://www.clubedoconcreto.com.br/2013/08/ensaio-do-slump-test-ensaio-de.html>

Em função dos resultados de abatimento obtidos nos ensaios, determinou-se a classe de consistência de cada traço, de acordo com os critérios especificados pela NBR 8953 (2015) Para cada classe de consistência, a norma define as aplicações típicas do concreto em obra.

3.5.2. Teor de Ar Pelo Método Pressométrico

O ensaio é realizado conforme os procedimentos da norma NBR NM 47 (ABNT, 2002) e tem como objetivo determinar o teor de ar da massa de concreto fresco a partir da mudança do volume do concreto causada por uma alteração na pressão.

Na norma são apresentados dois tipos de equipamentos medidores de ar disponíveis para execução do ensaio, os quais diferem em sua técnica operativa. Nesse trabalho, o equipamento utilizado para a determinação do teor de ar do concreto fresco pelo método pressométrico foi o medidor tipo B (Figura 11).

Figura 11: Equipamento utilizado no ensaio do teor de ar incorporado



Fonte: Autor

O princípio operacional deste medidor consiste em igualar as pressões de um volume de ar conhecido, a uma pressão conhecida, em uma câmara de ar estanque, com um volume de ar desconhecido na amostra de concreto.

Inicialmente, enche-se o recipiente com a amostra de concreto em quatro camadas com altura de aproximadamente 10 cm. Utilizando uma haste metálica, cada camada é adensada manualmente com 14 golpes verticais distribuídos a cada 10.000 mm² de superfície.

Finalizados os procedimentos de enchimento e adensamento, deve-se rasar a superfície da amostra contida no recipiente com régua metálica deslizando-a sobre a borda em movimentos de vai-e-vem até sua regularização, limpar cuidadosamente as bordas do recipiente e da tampa e em seguida proceder ao fechamento hermético do aparelho.

Posteriormente, a válvula de ar principal é fechada e os dois registros localizados na tampa são abertos. Com auxílio de uma seringa, injeta-se água através de um dos registros para que o ar existente entre a tampa e a superfície de concreto seja totalmente eliminado. A água deve ser introduzida até que saia através do registro oposto sem bolhas de ar. Para expulsar o ar aprisionado acima da superfície da amostra de concreto, deve-se sacudir o equipamento suavemente.

Após fechar a válvula de sangramento de ar, deve-se bombear ar para a câmara até que o ponteiro do manômetro esteja na posição inicial, indicando pressão igual a zero. Por fim, os dois registros devem ser fechados e a válvula de ar principal aberta. Quando necessário, o manômetro é estabilizado até o ponteiro de pressão inicial por expulsão de ar, abrindo suavemente a válvula de sangramento, ou repetindo o procedimento de bombeamento.

Para melhor estabilizar a pressão antes da leitura de porcentagem de ar, devem ser efetuados golpes suaves com os dedos e então a leitura da porcentagem de ar na escala do manômetro é registrada. O resultado é expresso em porcentagem com aproximação de 0,1% para teores até 2% e 0,2% para teores de 2% a 8%.

3.5.3. Massa Específica Pelo Método Gravimétrico

Para determinar a massa específica do concreto no estado fresco foi adotado o método gravimétrico de ensaio, conforme os procedimentos prescritos pela NBR 9833 (2008). O método consiste em determinar a massa de concreto fresco (em kg) contido em um recipiente de medidas conhecidas.

Na Figura 12 é possível visualizar o recipiente usado no ensaio para a determinação da massa do conjunto.

Figura 12: Conjunto do ensaio de massa específica do concreto no estado fresco



Fonte: Autor

3.5.4. Tempo de Início de Pega do Concreto

O tempo de início de pega de cada traço foi determinado de acordo com o princípio do método de resistência à penetração, seguindo os procedimentos especificados pela NBR NM 9 (ABNT, 2003).

Segundo o conceito definido pela norma, o tempo de início de pega do concreto é correspondente ao período de tempo decorrido desde a adição de água na betoneira até o momento em que a leitura de resistência à penetração é igual a 3,5 MPa.

Primeiramente, uma amostra da mistura de concreto foi separada e peneirada na peneira nº 4 (4,75 mm) até obter uma amostra constituída apenas de argamassa, de modo a evitar erros na leitura de penetração provocados por partículas de agregado graúdo.

Em seguida, com a argamassa obtida através do peneiramento preencheu-se um molde cilíndrico até a altura de 130 mm, conforme recomendado pela norma. O procedimento de adensamento foi conduzido manualmente com haste metálica e foram efetuados 40 golpes uniformemente distribuídos em toda a superfície da amostra.

Por fim, a amostra foi mantida em repouso e em intervalos regulares de tempo penetrou-se a agulha de ensaio na argamassa para determinar a resistência à penetração da amostra, como é mostrado na Figura 13. O ensaio foi concluído quando a leitura de resistência à penetração da agulha foi de 4,50 MPa, equivalente a escala máxima de medida da agulha.

Figura 13: Ensaio de determinação do tempo de pega do concreto – Agulha de penetração



Fonte: Autor

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos mediante aplicação da metodologia proposta para o trabalho serão apresentados e discutidos neste tópico.

4.1. Abatimento do tronco de cone

Os resultados de abatimento obtidos dos seis traços de concreto encontram-se apresentados na Tabela 14 e foram registrados *in loco* com imagens, conforme apresentado a seguir na Figura 14.

Tabela 14: Resultado do ensaio de abatimento do tronco de cone

Traço	Abatimento (mm)
TP	100
TA1	135
TA2	110
TA3	90
TA4	40
TSA	90

Figura 14: Ensaio de abatimento de tronco de cone



Fonte: Autor

Em função dos resultados de abatimento obtidos nos ensaios, determinou-se a classe de consistência de cada traço, de acordo com os critérios especificados pela NBR 8953 (ABNT, 2015). Para cada classe de consistência, a norma define as aplicações típicas do concreto em obra. Na Tabela 15 são apresentados os resultados de abatimento dos cinco traços, a classe de consistência e as aplicações típicas de cada um.

Tabela 15: Classificações dos traços quanto ao abatimento do tronco de cone

Traço	Abatimento (mm)	Classe	Aplicações típicas (NBR 8953)
TP	100	S100	Elementos estruturais, com lançamento convencional do concreto
TA1	135	S100	Elementos estruturais, com lançamento convencional do concreto
TA2	110	S100	Elementos estruturais, com lançamento convencional do concreto
TA3	90	S50	Alguns tipos de pavimentos e de elementos de fundações
TA4	40	S10	Concreto extrusado, vibroprensado ou centrifugado
TSA	90	S50	Alguns tipos de pavimentos e de elementos de fundações

Verifica-se que os quatro aditivos cristalizantes testados neste estudo causaram efeitos distintos no abatimento do concreto quando comparados ao TP. Enquanto os resultados de abatimento dos traços TA2, TA3 e TSA apresentaram uma variação de apenas 10 mm em relação ao TP, o traço TA1 resultou em um aumento de 35 mm, enquanto o TA4 causou uma redução de 60 mm em relação ao traço de referência (TP).

Na ficha técnica do aditivo cristalizante utilizado no TA1, o próprio fabricante adverte que, apesar da mistura apresentar um aspecto de menor umidade do que o convencional, o aditivo pode causar um aumento no abatimento, o que de fato, é constatado no ensaio, cujo resultado foi de 135 mm.

De modo geral, pode-se afirmar que o aditivo empregado no TA2 foi o que causou efeitos menos significantes no abatimento do concreto, pois a variação obtida não implicou na alteração da classe de consistência do traço.

Observa-se que, embora o aditivo cristalizante correspondente ao TA3 e a sílica ativa, empregada no TSA, tenham provocado uma redução de apenas 10 mm no abatimento do traço, esse efeito causou a modificação da classe de consistência do concreto de acordo com a NBR 8953 (2015), o que implica em restrições de aplicação para determinados tipos de obra.

A hipótese estabelecida é de que o procedimento de mistura recomendado pelo fabricante pode ter influenciado na redução excessiva do abatimento do TA4, pois observou-se que diferentemente de quando adicionou-se a água na betoneira gradativamente nos demais traços, a adição de 60% da água na primeira etapa de produção do traço proporcionou a formação de uma mistura não homogênea, prejudicando a coesão do concreto, o que pode ser nitidamente visualizado no registro fotográfico apresentado anteriormente (Figura 14).

Outra peculiaridade observada durante o procedimento de misturado TA4 foi que após a inserção do aditivo na betoneira, ocorreu uma elevação imediata na temperatura da massa. Deve-se ressaltar que essa condição pode acelerar a perda de água da mistura e acarretar no processo de aceleração da pega do concreto.

Cabe, ainda, colocar que particularmente no TA4 foi possível identificar a formação de pequenas partículas de coloração branca dispersas na mistura após a adição da água, possivelmente devido ao início das reações de cristalização do aditivo (Figura 15). Acredita-se que essas partículas sejam originadas a partir da formação de aglomerações dos cristais logo após a mistura do aditivo com a água, contribuindo para redução no abatimento de tronco de cone.

Figura 15: Partículas brancas identificadas no traço TA4



Fonte: Autor

4.2. Teor de ar incorporado

As leituras do teor de ar incorporado efetuadas no aparelho medidor pressométrico são apresentadas na Tabela 16.

Tabela 16: Teor de ar incorporado nos traços de concreto

Teor de ar incorporado (%)					
TP	TA1	TA2	TA3	TA4	TSA
1,25	3,1	1,6	10,5	1,4	1,5

Analisando os resultados obtidos é possível verificar que em relação ao Traço Piloto, o teor de ar incorporado foi superior para todos os traços dosados com aditivos cristalizantes, bem como para o traço com adição de sílica ativa.

Os traços TA2, TA4 e TSA apresentaram valores próximos ao traço de referência, com menos de 0,4% de diferença. Já o TA1 incorporou mais que o dobro e o TA3 chegou a aumentar em 8 vezes o teor de ar incorporado.

Geyer e Sá (2006) afirmam que concretos convencionais contêm no seu interior, mesmo sem o uso de aditivos incorporadores de ar, 1 a 3% do seu volume em ar aprisionado, devido ao processo de mistura.

Portanto, os resultados indicam que, com exceção do TA3, o emprego dos aditivos cristalizantes testados nos demais traços não influencia significativamente na quantidade de ar incorporado à mistura. Evidentemente, a baixa variabilidade entre os resultados pode estar associada ao grau de adensamento das amostras de ensaio e as condições de mistura do traço.

Na ficha técnica do aditivo cristalizante do TA3 não são colocadas observações de que o aditivo apresente tendência de incorporar maiores quantidades de ar à mistura. Ressalta-se que embora o de uma incorporação de ar elevada, o abatimento sofre uma pequena redução quando comparado com o TP.

4.3. Massa específica aparente

O resultado de massa específica aparente do concreto é calculado pela relação entre a massa do concreto e o volume do recipiente. Na Tabela 17 são apresentados os resultados de massa específica e aparente, além do rendimento e consumo de cimento do traço.

Tabela 17: Resultados de massa específica dos traços

Traço	ρ_{ap} (kg/m ³)	Rendimento (m ³)	Consumo de cimento (kg/m ³)
TP	2387,55	0,066	348,88
TA1	2394,29	0,066	349,86
TA2	2350,51	0,067	343,47
TA3	2414,49	0,067	352,82
TA4	2363,98	0,067	345,44
TSA	2397,66	0,066	326,14

ρ_{ap} (kg/m³): massa específica aparente do concreto

A massa específica de todos os traços variou de 2350,5 a 2414,5 kg/m³, apresentando pouca variação em relação ao traço piloto, que ficou entre uma redução de 1,5% a um aumento de 1,1%. Como os resultados de massa específica foram próximos, resultaram em valores similares de rendimento e consumo de cimento.

De acordo com os critérios de classificação do concreto quanto à massa específica, os concretos dos cinco traços são classificados como normais, pois apresentam valores compreendidos no intervalo entre 2000 kg/m³ e 2800 kg/m³.

Em função da invariabilidade das massas específicas dos concretos, também foi possível concluir que todos os aditivos cristalizantes testados mantiveram o padrão de dosagem do concreto quanto ao rendimento da mistura e consumo de cimento do traço.

4.4. Tempo de início de pega

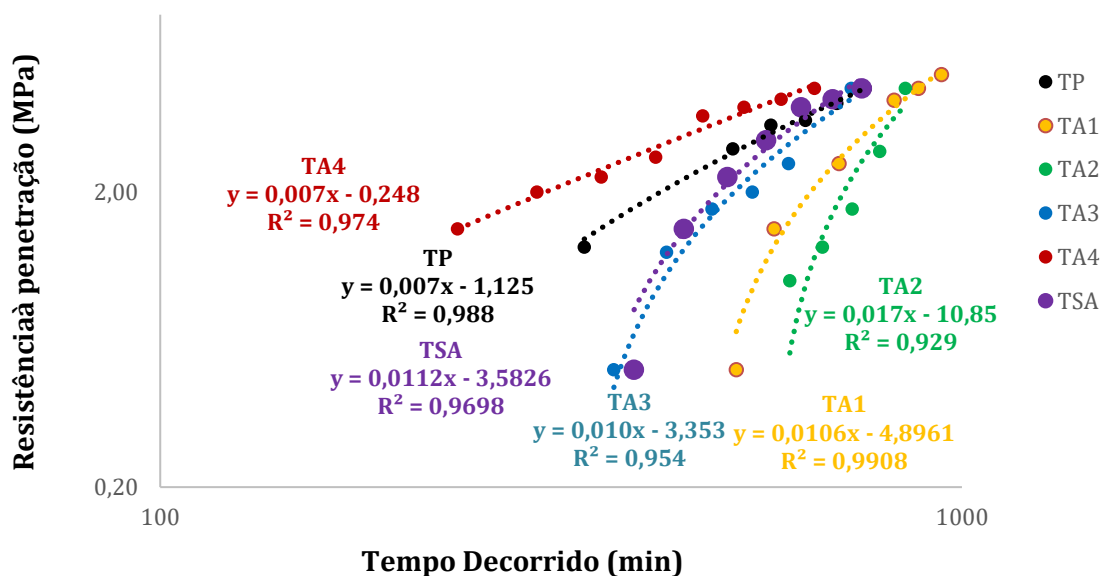
Na Tabela 18 são apresentadas as leituras efetuadas para cada traço no ensaio de determinação do tempo de início de pega. Algumas leituras não foram realizadas em função do horário, sendo indicadas na tabela com traço.

Tabela 18: Leituras de resistência à penetração do ensaio de tempo de pega do concreto

Tempo decorrido (hora)	Tempo decorrido (min)	Leitura de resistência à penetração (MPa)					
		TP	TA1	TA2	TA3	TA4	TSA
04:00:00	240	0,00	0,00	0,00	0,00	1,50	0,00
05:00:00	300	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	0,50
06:00:00	360	1,30	0,00	0,00	0,50	2,25	1,50
07:00:00	420	-	0,00	0,00	1,25	2,63	2,25
08:00:00	480	-	0,00	0,50	1,75	3,63	3,00
09:00:00	540	2,80	0,50	0,00	2,00	-	-
10:00:00	600	3,38	1,50	-	2,50	4,25	3,88
11:00:00	660	3,50	0,00	1,30	-	4,50	4,13
12:00:00	720	4,00	2,50	1,75	4,50	-	4,50
13:00:00	780	4,50	0,00	2,75	-	-	-
14:00:00	840	-	4,10	4,50	-	-	-
15:00:00	900	-	4,50	-	-	-	-

Com as leituras de resistência à penetração efetuadas a cada intervalo de tempo decorrido, determinou-se as curvas gráficas de tendência linear que representam a evolução do tempo de pega para cada traço de concreto (Gráfico 3).

Gráfico 3: Evolução da resistência à penetração em função do tempo



A curva obtida para cada traço descreve uma equação analítica para o cálculo do tempo de início de pega do concreto. A norma estabelece dois critérios para esta condição: a curva deve ser constituída de no mínimo 7 pontos e o coeficiente de correlação de cada equação deve ser igual ou superior à 0,98 de modo que o grau de relação entre as variáveis x e y seja positivo, próximo a 1.

Para tanto, os pontos de correlação que se afastam da tendência linear da curva foram excluídos. No entanto, em função desse ajuste os resultados foram minimamente prejudicados, pois para alguns traços a curva foi obtida com número de pontos inferior ao limite mínimo de 7 exigido pela norma.

De acordo com a norma, o tempo de início de pega é equivalente ao intervalo de tempo decorrido desde a adição de água à betoneira até o momento em que a resistência à penetração da agulha na argamassa é de 3,5 MPa. Traduzindo esse critério na equação, é o tempo (x) para qual o valor de y é igual a 3,5. Logo, substituindo o y das equações das curvas de tendência linear de cada traço por 3,5, determinou-se o tempo decorrido (x) em horas e minutos correspondente ao tempo de início de pega. Esses valores são apresentados na Tabela 19.

Tabela 19: Equações para obtenção do tempo de pega do concreto

TRAÇO	EQUAÇÃO	R ²	X (min)	X (horas)
TP	$y = 0,007x - 1,125$	0,988	625	10:25:00
TA1	$y = 0,010x - 4,896$	0,990	792	13:12:00
TA2	$y = 0,017x - 10,85$	0,929	811	13:30:00
TA3	$y = 0,010x - 3,353$	0,954	665	11:06:00
TA4	$y = 0,007x - 0,248$	0,974	507	08:27:00
TSA	$y = 0,0131x - 3,7111$	0,997	550	09:10:00
X: Tempo decorrido desde a adição de água à betoneira				
Y: Equação analítica da curva de resistência à penetração em função do tempo				
R ² : coeficiente de correlação da regressão				

Os resultados apresentados apontam que em relação ao TP, o tempo de início de pega foi superior para todos os traços dosados com aditivos cristalizantes, exceto para o TA4, em que ocorreu aceleração no início das reações. Já no traço com a sílica ativa (TSA) também houve uma pequena redução no tempo de início de pega.

Conforme comentado anteriormente, o efeito de redução do abatimento causado pelo aditivo referente ao TA4 pode ser explicado em virtude da formação de cristais ocorrer rapidamente ainda durante o processo de mistura, o que também justifica o tempo de início de pega mais acelerado.

É válido ressaltar que o aditivo polifuncional usado na dosagem dos traços regula a pega do concreto no sentido de prolongar a manutenção do abatimento, o que justifica o tempo de início de pega lento de todos os traços. Todavia, para efeito comparativo dos traços, essa ação torna-se irrelevante.

Levando em consideração que os traços de concreto foram dosados sob composição e proporções iguais e condições de temperatura semelhantes (entre 20°C e 25°C), a variação entre os tempos de início de pega dos cinco traços pode ser justificada pelos efeitos que os aditivos cristalizantes causaram nas reações de hidratação do cimento, o que resultou em diferentes velocidades das reações de hidratação de cada concreto.

Nota-se, ainda, que os traços que obtiveram menores medidas de abatimento também apresentaram menor tempo de início de pega. Essa analogia entre os dois resultados está relacionada à taxa de consumo da água de amassamento em função do tempo. Isto é, a velocidade das reações de hidratação que envolvem os compostos do cimento e as reações dos aditivos cristalizantes é responsável por regular a perda de abatimento da mistura e o tempo de pega do traço.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Cumprindo os objetivos específicos propostos para o desenvolvimento deste estudo, pôde-se concluir que, de modo geral, os diferentes aditivos cristalizantes testados influenciaram as propriedades dos concretos no estado fresco.

Os resultados obtidos neste estudo permitiriam concluir que os aditivos cristalizantes testados causaram efeitos distintos nas propriedades do concreto no estado fresco. De modo geral verificou-se que o abatimento e o tempo de início de pega foram os parâmetros mais influenciados.

Nota-se, ainda, que há uma proporcionalidade entre os dois parâmetros, pois os traços que obtiveram menores medidas de abatimento também apresentaram menor tempo de início de pega. Essa analogia entre os dois resultados está relacionada à taxa de consumo da água de amassamento em função do tempo. Isto é, a velocidade das reações de hidratação que envolvem os compostos do cimento e as reações dos aditivos cristalizantes é responsável por regular a perda de abatimento da mistura e o tempo de pega do traço. Cabe ressaltar que o aditivo polifuncional usado para a dosagem dos traços retarda o tempo de início de pega do concreto e conseqüentemente prolonga o tempo de trabalhabilidade disponível. Observou-se que a incorporação dos aditivos cristalizantes no concreto intensificou esse efeito, com exceção única do aditivo empregado no TA4, que reduziu o tempo de início de pega do traço

A sílica ativa obteve o resultado mais satisfatório no que diz respeito à não alteração ou pequena alteração das propriedades do concreto no estado fresco.

Em síntese, pode-se concluir que o emprego de aditivos cristalizantes no concreto requer atenções às operações de concretagem em obra, mais especificamente no que diz respeito a efeitos de redução do abatimento que possam resultar no entupimento de tubulações, falhas de concretagem e dificuldades de adensamento. Definitivamente, torna-se fundamental viabilizar o emprego de aditivo cristalizante no concreto por meio de estudos de dosagem prática que permitam ao engenheiro prever a necessidade de soluções específicas no sentido de compensar efeitos negativos causados pelos aditivos e evitar complicações no planejamento da obra.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Avaliar o desempenho de aditivos cristalizantes na permeabilidade de concretos submetidos à penetração de água sob pressão;
- Verificar se os aditivos cristalizantes contribuem para a durabilidade do concreto minimizando os riscos de carbonatação e penetração de cloretos;
- Estudar a viabilidade prática do sistema de cristalização como solução técnica para o reparo de fissuras por meio do mecanismo de auto-cicatrização;
- Desenvolver um estudo comparativo de concretos com aditivos cristalizantes variando a dosagem dos traços para os demais tipos de cimento comercializados no Brasil;
- Comparar o desempenho de concretos dosados com adição de sílica ativa e cristalizante.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C1231: Standard Practice for Use of Unbonded Caps in Determination of Compressive Strength of Hardened Cylindrical Concrete Specimens**. Philadelphia, PA, 2012. 5 p.

ARAÚJO, R. C. L.; RODRIGUES, E. H. V.; FREITAS, E. G. A.; **Materiais de Construção**. Rio de Janeiro, Editora Universidade Rural, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Manual de Revestimentos de Argamassa**. 2002. Disponível em: <<http://www.comunidadeconstrucao.com.br>>. Acesso em: 9 nov. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5736: Cimento Portland Pozolânico**. Rio de Janeiro, 1991. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014. 238 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação** Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, 1997. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953: Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência**. Rio de Janeiro, 2015. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9776: Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman**. Rio de Janeiro, 1987. 6 p

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade**. Rio de Janeiro, 2012. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9833: Concreto fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico**. Rio de Janeiro, 2008. 7 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9935: Agregados – Terminologia**. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11579: Cimento Portland — Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200)**. Rio de Janeiro, 2013. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 9: Concreto e argamassa - Determinação dos tempos de pega por meio de resistência à penetração.** Rio de Janeiro, 2003. 6 p

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 43: Cimento Portland - Determinação da pasta de consistência normal.** Rio de Janeiro, 2003. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 46: Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem.** Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 47: Concreto - Determinação do teor de ar em concreto fresco - Método pressométrico.** Rio de Janeiro, 2002. 23 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 65: Cimento Portland - Determinação do tempo de pega.** Rio de Janeiro, 2003. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro, 1998. 8 p.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM ISO 3310-1: Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico (ISO 3310-1, IDT).** Rio de Janeiro, 2010.

BAUER, L.a. Falcão. **MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO.** 5. ed. Rio de Janeiro: LTC 2015. 1 v.

CAPPELLESSO, Vanessa Giaretton et al. **Use of crystalline waterproofing to reduce capillary porosity in concrete.** Journal of Building Pathology and Rehabilitation. Suíça, 2016.

COSTA, J. M.; AZZI, S. S.; CAMPOS, E. G.; ARAJÚJO, F.M.; LAJE, E. B. D.; **Análise patologia através do ensaio não destrutivo utilizando resistividade elétrica superficial do Concreto.** Revista CONSTRUINDO, Belo Horizonte, v. 9, Ed. Esp. de Patologia, p. 25 – 35, Jul – dez., 2017.

GEYER, A. L. B.; SÁ, R. R., **Importância do Controle de Qualidade do Concreto no Estado Fresco.** Goiás, jul. 2006. Disponível em <http://www.realmixconcreto.com.br/downloads/Ano2_informativo_internet.pdf> Acesso em 3 abr. 2016.

ISAIA, Geraldo C. et al. **CONCRETO: CIÊNCIA E TECNOLOGIA.** São Paulo, IBRACON, 2011. 1 v.

MACANOVSKIS, Artūrs et al. **Mechanical Properties and Self-Healing Effect of Concrete Containing Capillary Hydro Insulation Admixture**. Construction Science, Riga, Letônia, 2016.

MEDEIROS; M. H. F.; ANDRADE, J. J. O.; HELENE; P. **Durabilidade e Vida útil das Estruturas de Concreto**. In: ISAIA, G. C. Concreto: Ciência e Tecnologia. São Paulo: IBRACON, 2011.

MOREIRA, M. M. (2016). **Efeito do aditivo redutor de permeabilidade em concretos com diferentes tipos de cimento Portland – Contribuição aos processos de autocicatrização**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF

NEVILLE, A.M.; BROOKS, J.J. Tecnologia do Concreto. 2. ed. Porto Alegre, Bookman, 2013. Tradução de: Ruy Alberto Cremonini.

OURIVES, C. N.; BILESKY, P. C.; YOKOYAMA, C. M. **Avaliação do Desempenho dos Sistemas de Impermeabilização por Cristalização Capilar do Concreto**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 50, 2008, Salvador. *Anais...* Salvador, Ed. IBRACON, 2008.

PAZDERKA, J.; HAJKOVÁ, E.; **Crystalline admixtures and their effect on selected properties of concrete**. Journal of Advanced Engineering. Praga, República Checa. 2016.

REGATTIERI, C.E. X.; SILVA, M. G.; HELENE, P. **Influência do tipo de cimento na resistência, na absorção capilar e na difusão de cloretos dos concretos plásticos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIMENTO, 4., 1996, São Paulo. *Anais...* São Paulo: ABCP, 1999.

TAKAGI, E. M.; ALMDEIRA, W. J.; OLIVEIRA, F. S. **Tratamento químico cristalizante para impermeabilização e proteção de estruturas de concreto armado**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 46, 2007, Florianópolis. *Anais Florianópolis*, Ed. IBRACON, 2007.