

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ANÁPOLIS – UNIEVANGÉLICA
CAMPUS CERES
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**CAIO BORBA CRUZ
GÉSSICA DE OLIVEIRA CAMPOS**

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO CONVENCIONAL
IMPERMEABILIZADO PELO MÉTODO DE CRISTALIZAÇÃO**

PUBLICAÇÃO Nº:

**CERES / GO
2020**

**CAIO BORBA CRUZ
GÉSSICA DE OLIVEIRA CAMPOS**

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO CONVENCIONAL
IMPERMEABILIZADO PELO MÉTODO DE CRISTALIZAÇÃO**

PUBLICAÇÃO Nº:

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA.**

ORIENTADOR: VILSON DALLA LIBERA JUNIOR

CERES / GO: 2020

FICHA CATALOGRÁFICA

CRUZ, CAIO BORBA; CAMPOS, GÉSSICA DE OLIVERA.

ESTUDO DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO CONVENCIONAL IMPERMEABILIZADO PELO MÉTODO DE CRISTALIZAÇÃO [Goiás] 2020.

20P, 297 mm (ENC/UniEVANGÉLICA, Bacharel, Engenharia Civil, 2020).

TCC - UniEVANGÉLICA

Curso de Engenharia Civil.

1. Impermeabilização

2. Cristalização

3. Concreto

4. Propriedades mecânicas

I. ENC/UNI

II. Título (Série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CRUZ, C. B. e CAMPOS, G. O. Estudo das propriedades do concreto convencional impermeabilizado pelo método de cristalização. TCC, Curso de Engenharia, UniEVANGÉLICA, Ceres, GO, 20p. 2020.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Caio Borba Cruz e Gêssica de Oliveira Campos

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Estudo das propriedades do concreto convencional impermeabilizado pelo método de cristalização.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2020

É concedida à UniEVANGÉLICA a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Caio Borba Cruz

76680000 – Itapuranga/GO – Brasil

E-mail: caio_borba04@hotmail.com



Gêssica de Oliveira Campos

76300000 – Ceres/GO – Brasil

E-mail: gessika.o.c@hotmail.com

**CAIO BORBA CRUZ
GÉSSICA DE OLIVEIRA CAMPOS**

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO CONVENCIONAL
IMPERMEABILIZADO PELO MÉTODO DE CRISTALIZAÇÃO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL.**

APROVADO POR:

Vilson Dalla Libera Junior

**VILSON DALLA LIBERA JUNIOR, Mestre (Centro Universitário de Anápolis –
UniEVANGÉLICA, Campus Ceres)
(ORIENTADOR)**

Janaína Mônica de Oliveira Sousa

**JANAINE MONICA OLIVEIRA, Mestre (Centro Universitário de Anápolis –
UniEVANGÉLICA, Campus Ceres)
(EXAMINADOR INTERNO)**

Luiz Tomaz de Aquino Neto

**LUIZ TOMAZ DE AQUINO NETO, Especialista (Centro Universitário de Anápolis –
UniEVANGÉLICA, Campus Ceres)
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: CERES/GO, 09 de DEZEMBRO de 2020.

ESTUDO DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO CONVENCIONAL IMPERMEABILIZADO PELO MÉTODO DE CRISTALIZAÇÃO

Caio Borba Cruz¹
Géssica de Oliveira Campos²
Wilson Dalla Libera Junior³

RESUMO

Visando solucionar os problemas relacionados à água, os métodos de impermeabilização das estruturas se tornam extremamente eficazes para reduzir ou anular patologias como umidade, infiltração e vazamentos em reservatórios. Neste contexto, o objetivo do estudo foi apresentar o método de impermeabilização por cristalização, estudar as propriedades do concreto convencional com o mesmo, avaliando suas propriedades mecânicas e comparando suas propriedades físicas, verificando a eficiência do aditivo impermeabilizante. Para cada traço de concreto estudado foram feitos 8 corpos de prova, que foram destinados para os experimentos de absorção d'água, absorção de água por capilaridade, resistência à compressão e tração por compressão diametral. Foi possível notar que o traço sem a presença do aditivo cristalizante ocorreu uma absorção de água elevada, quando comparado com os demais traços com o aditivo. Em relação as propriedades mecânicas, conforme foi aumentado a quantidade do aditivo cristalizante no traço do concreto, a resistência a compressão também foi aumentada, havendo um aumento de até 17,29% de resistência no concreto. O ensaio de capilaridade indicou que os traços CAC 0,8 e CAC 0,4 se estabilizaram ao atingir as 48 e 72 horas do ensaio. Isso ocorreu devido a reação do aditivo cristalizante, onde, ao entrar em contato com a água e com o hidróxido de cálcio, formou cristais insolúveis, selando e protegendo o concreto contra a penetração da água e outros líquidos. De modo geral, a aplicação do aditivo no concreto possui eficiência considerável, tanto para a resistência mecânica, quanto em relação a impermeabilidade da estrutura. Porém, em relação às dosagens do aditivo, é necessário que a mesma seja reavaliada entre 0,8% e 0,4%, pois mesmo em quantidades inferiores, ainda apresentou um resultado positivo.

Palavras-chave: Impermeabilização, Cristalização, Concreto, Propriedades mecânicas.

¹ Discente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Anápolis (UniEVANGÉLICA) – Campus Ceres. E-mail: caio_borba04@hotmail.com

² Discente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Anápolis (UniEVANGÉLICA) – Campus Ceres. E-mail: gessika.o.c@hotmail.com

³ Mestre em Integridade de Materiais da Engenharia (UnB), Professor do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Anápolis (UniEVANGÉLICA) – Campus Ceres. E-mail: wilson.dalla@gmail.com

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	5
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1	Características e durabilidade do concreto.....	6
2.2	Permeabilidade do concreto e redução da porosidade capilar	6
2.3	Impermeabilizantes	7
<i>2.3.1</i>	<i>Impermeabilizantes convencionais.....</i>	<i>8</i>
<i>2.3.2</i>	<i>Impermeabilizante por cristalização</i>	<i>9</i>
3	MATERIAL E MÉTODOS	10
3.1	Materiais.....	10
<i>3.1.1</i>	<i>Cimento e água.....</i>	<i>10</i>
<i>3.1.2</i>	<i>Agregados.....</i>	<i>10</i>
<i>3.1.3</i>	<i>Aditivo.....</i>	<i>10</i>
3.2	Programa experimental	11
<i>3.2.1</i>	<i>Dosagem e produção do concreto</i>	<i>11</i>
<i>3.2.2</i>	<i>Ensaio mecânicos.....</i>	<i>12</i>
<i>3.2.3</i>	<i>Absorção de água total e por capilaridade</i>	<i>12</i>
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	13
4.1	Abatimento do concreto	13
4.2	Resistência mecânica	14
4.3	Absorção de água total e por capilaridade.....	15
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	18
	REFERÊNCIAS	19

1 INTRODUÇÃO

Com o passar do tempo ocorre a deterioração das estruturas de concreto, visto que as mesmas possuem uma vida finita. Para alcançarem sua vida útil, as estruturas devem ser bem projetadas e submetidas a manutenções preventivas. Existem diversos fatores que geram deteriorações nas estruturas de concreto, sendo a água uma das principais responsáveis pela provocação de patologias nas edificações.

Visando solucionar os problemas relacionados à água, os métodos de impermeabilização das estruturas se tornam extremamente eficazes para reduzir ou anular patologias como umidade, infiltração e vazamentos em reservatórios. Entretanto, devido à má aplicação e a escolha incorreta do produto impermeabilizante, o processo de impermeabilização pode perder sua efetividade, podendo acarretar em prejuízos de caráter econômico, funcional, de desempenho, estéticos e estruturais, tendo potencial de gerar risco a segurança e a saúde dos usuários (SOUZA, 2008).

Quando se trata de prolongar a vida útil de uma estrutura de concreto, a impermeabilização é um processo de extrema importância, pois é o sistema responsável por selar ou vedar os materiais porosos e suas falhas, os quais resultam em umidade interna na edificação, aparecimento de patologias, oxidação de armaduras, entre outros (ARAÚJO & SAVIATTO, 2018). Neste cenário, diversos sistemas e técnicas vem sendo desenvolvidas para amenizar as agressões que ocasionam problemas de deterioração da edificação pela água na estrutura de concreto (SOARES, 2014).

A impermeabilização é definida por duas classes, sendo elas: rígidas e flexíveis. A impermeabilização rígida é indicada para estruturas que não sofrem deformações e que ficam em contato direto com o solo, como piscinas, reservatórios enterrados e elementos de fundações. São classificadas como impermeabilizantes rígidos: Aditivo hidrófugo, cristalizantes, argamassa polimérica e resina Epóxi. Os impermeabilizantes flexíveis são adequados para estruturas sujeitas a movimentação, como laje de cobertura, piscinas não enterradas e reservatórios elevados. Entre os impermeabilizantes flexíveis pode-se destacar membranas de polímero modificado com cimento, membranas asfálticas, membrana polimérica, manta asfáltica e manta de PVC (ARAÚJO & SAVIATTO, 2018).

A impermeabilização por cristalização, a qual é aplicada diretamente na massa do concreto, é considerada um sistema de proteção poroso. Neste sistema, o aditivo impermeabilizante é um composto químico a base de silicatos ativos que ao entrar em contato com o cimento já hidratado ou no momento da hidratação formam cristais que entopem os poros da estrutura, impedindo assim a penetração da água sob alta pressão e com efeito permanente. No caso de novas fissuras com dimensão de até 0,4 mm, forma uma nova cristalização e conseqüente uma barreira impermeabilizante (OLIVEIRA *et. al.*, 2019).

Por apresentar um alto desempenho e elevar a durabilidade do concreto o impermeabilizante por cristalização destaca-se também pelo sua auto cicatrização, por resistir a pressões hidrostáticas e substâncias químicas agressivas e permite que o concreto respire. Neste contexto, o objetivo do estudo foi apresentar o método de impermeabilização por cristalização, estudar as propriedades do concreto convencional com o mesmo, avaliando suas propriedades mecânicas e comparando suas propriedades físicas, verificando a eficiência do aditivo impermeabilizante.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Características e durabilidade do concreto

O concreto é bastante empregado hoje em vários tipos de construções, sendo muito utilizado pelas suas vantagens, dentre elas a flexibilidade, simplicidade de execução, economia de execução, incombustibilidade e a maior resistência a choques e vibrações. Se destaca também pelas suas propriedades que são as resistências a ruptura e a deformabilidade seja ela sob a ações e variações das condições ambientais ou as ações de cargas externas (GUTFREIND; AURICH, 2014). A durabilidade do concreto está relacionada a sua qualidade e capacidade de atender aos requisitos pelo qual foi projetado, entretanto, como qualquer material, ele possui uma durabilidade finita. Portanto, mesmo possuindo características e propriedades que suportam situações diversas de usos e aplicações; com o passar do tempo o concreto irá sofrer certos desgastes e variações que ocorrem em sua microestrutura, como as descritas na Tabela 1 (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Tabela 1 – Classe de agressividade ambiental do concreto.

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

Fonte: Adaptado de NBR 6118 (ABNT, 2003).

A durabilidade do concreto está ligada diretamente à sua capacidade de mitigação e eliminação de manifestações patológicas, pois quando utilizado em ambientes variados fica exposto a diversos agentes nocivos devido às características físicas, químicas e mecânicas, onde, dentre estas, a água é o maior influenciador negativamente na durabilidade do concreto e podendo comprometer o mesmo. Para o aumento da durabilidade, no melhor cenário deve haver poucos poros no concreto, pois eles são os que mais auxiliam na entrada de agentes degradantes. Diante disto, para garantir um concreto durável, aumentando sua vida útil, deve-se garantir um concreto com alta impermeabilidade (CAPPELLESSO et al., 2016).

2.2 Permeabilidade do concreto e redução da porosidade capilar

A permeabilidade do concreto é muito importante, pois influencia diretamente na sua durabilidade através dos poros. Os poros do concreto surgem durante a hidratação da pasta de cimento e formam uma estrutura composta por pequenos buracos que acabam sendo os responsáveis pelo transporte de água, gases e outras substâncias corrosivas para a parte interna

da estrutura, podendo iniciar um processo de corrosão nas armaduras (FORNASIER, 1995). Os poros podem variar de milímetros a nanômetros, sendo classificados como poros gel, poros capilares e macroporos, conforme apresenta a Tabela 4.

Tabela 2 – Classificação e características dos poros nas pastas de cimento hidratado.

Tipo	Diâmetro	Descrição	Função da água		Propriedades afetadas (pasta)
Ar Incorporado	1,0 a 0,1 mm	Seção transversal esférica	Livre: volumes	Conduzir	Resistência, durabilidade
	100 a 0,05 µm	Capilares grandes	Livre: volumes	Conduzir	Resistência, permeabilidade
Poros Capilares	50 a 10 nm	Capilares médios	Gera forças de tensão superficial	moderadas de tensão	Resistência, permeabilidade e retração UR elevada
	10 a 2,5 nm	Capilares pequenos (Gel)	Elevada força de tensão superficial		Retração em UR = 50%
Poros Gel	2,5 a 0,5 nm	Microporos	Fortemente absorvidas		Retração fluência

Fonte: Adaptado de Fornasier (1995).

Os poros capilares tem uma importância fundamental no estudo da durabilidade do concreto, pois possibilitam a passagem de fluidos por sua seção, sendo distribuídos aleatoriamente pela pasta de cimento endurecida, onde, o número e tamanho destes poros diminui com a evolução do processo de hidratação (ARAUJO; SAVIATTO, 2018). A alta quantidade de porosidade no concreto é algo negativo para a sua durabilidade. Uma das formas de reduzir esta porosidade é a redução da relação água/cimento ou o uso de sílica ativa, pozolana, produtos impermeabilizantes na mistura e/ou superfície do concreto, garantindo a redução da permeabilidade e o aumento da sua resistência mecânica (CAPPELLESSO et al., 2016).

2.3 Impermeabilizantes

Os impermeabilizantes são de extrema importância na construção civil, pois a água infiltrada no concreto pode deteriorar e afetar a estrutura como na armadura e alvenaria deixando o ambiente mórbido pela a umidade. Essa umidade que pode trazer problemas graves tanto para a edificação, quanto para o desconforto e a saúde dos usuários tornando assim as soluções difíceis (BARROSO et al., 2015). Portanto os impermeabilizantes têm por finalidade proteger as estruturas, impedindo a penetração de fluidos líquidos e vapores, mantendo a construção segura. Os impermeabilizantes criam uma barreira quando aplicados de forma superficial ou adicionados na mistura do concreto, diminuindo os poros e a permeabilidade do concreto e o tornando durável (CAPPELLESSO et al., 2016).

Na construção civil há dois tipos de categorias para impermeabilizantes, nos quais são classificados de acordo com a possibilidade de a estrutura construtiva sofrer algum tipo de fissuração. Os impermeabilizantes rígidos se diferenciam no seu local de aplicação, como denominado na NBR 9575 (ABNT, 2010), no qual não funcionam em conjunto com os elementos estruturais, ou seja, não podem ser aplicados em superfícies sujeitas a grandes variações de temperaturas e que podem sofrer fissurações. A argamassa impermeável (aditivo hidrófugo), cristalizantes, argamassa polimérica e resina epóxi são os tipos de impermeabilizantes rígidos (ARAUJO; SAVIATTO, 2018).

Em contrapartida, os impermeabilizantes flexíveis representam o conjunto de produtos aplicáveis nas partes construtivas que se adequam nas estruturas sujeitas a fissuração e a movimentação, sendo ideal para locais que possuem variações de temperatura, como varandas, terraços, coberturas, piscinas, lajes e etc. A membrana de polímero modificada com cimento, membrana asfáltica, membrana acrílica, membrana polimérica, manta asfáltica e manta de PVC são os tipos de impermeabilizantes flexíveis (RIGHI, 2009).

2.3.1 Impermeabilizantes convencionais

Os impermeabilizantes convencionais mais comuns, são as argamassas impermeáveis (aditivo hidrófugo), argamassas poliméricas, classificados como impermeabilizantes rígidos; os categorizados como impermeabilizantes flexíveis são os mais populares dentre os impermeabilizantes convencionais, sendo produtos à base de asfalto, os quais podem ser moldados no local ou pré-fabricados, como é com a manta asfáltica (Figura 1a) e a membrana de emulsão asfáltica (Figura 1b) (BARBOSA, 2018).

Figura 1 – Impermeabilização por manta asfáltica (a) e impermeabilização por emulsão asfáltica (b).



Fonte: Adaptado de Master House (a) e Pereira (2013) (b).

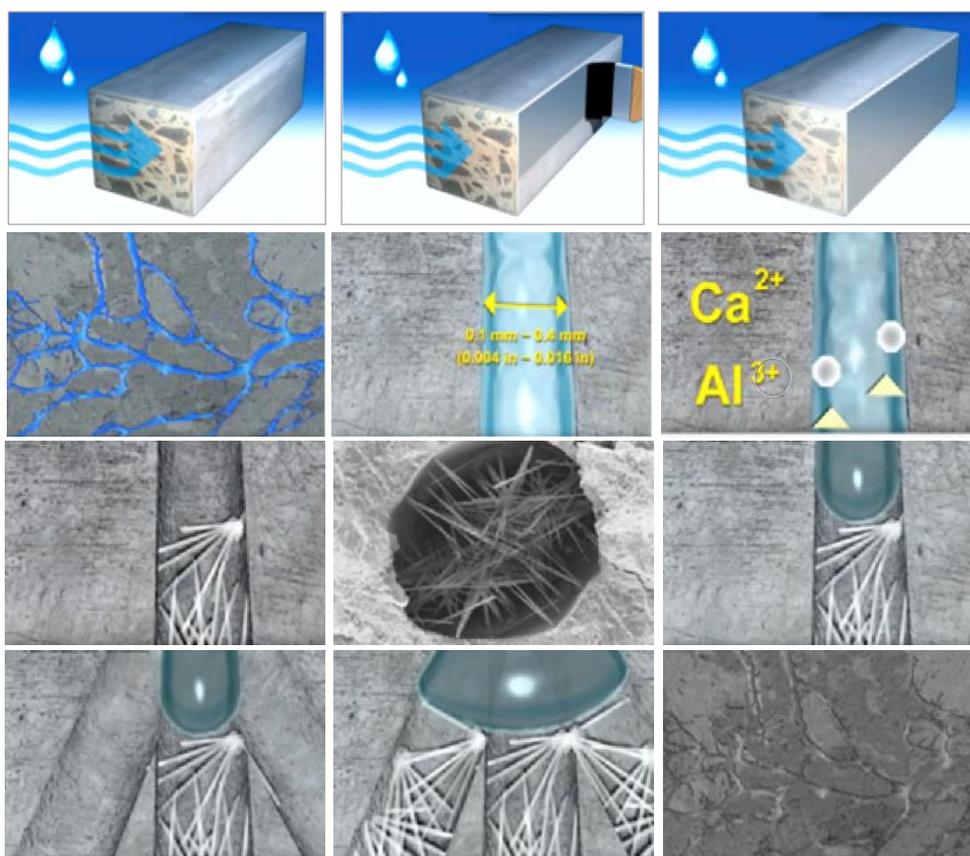
A membrana de emulsão asfáltica é aplicada em forma de pintura a frio, com o produto na temperatura ambiente. Na manta asfáltica, é aplicada de forma a quente, na qual necessita da utilização de equipamentos, como o maçarico, demonstrado na Figura 1, para derreter o produto e fixá-lo na estrutura. Os materiais utilizados para este tipo de membrana podem variar de emulsão asfáltica, asfalto oxidado ou asfalto modificado com adição de polímero (ARAUJO; SAVIATTO, 2018).

2.3.2 Impermeabilizante por cristalização

Os impermeabilizantes por cristalização são do grupo de impermeabilizantes rígidos e são recomendados para estruturas em contato com solo e que não sofrem deformação e nem movimentação do elemento construtivo como: piscinas, reservatórios enterrados, fundações, tuneis e em estruturas de contenção (IBI, 2018).

O impermeabilizante por cristalização é um aditivo incrementado ao traço do concreto no momento da sua produção, ele consiste de compostos químicos ativos, sílica, areia de quartzo e cimento Portland. Este aditivo reage quando em contato com a água e com o hidróxido de cálcio, gerando cristais não solúveis na estrutura capilar, selando e protegendo o concreto permanentemente contra a penetração de água e outros líquidos, as etapas de cristalização estão ilustradas na Figura 2 (BARBOSA, 2018).

Figura 2 – Etapas do impermeabilizante por cristalização.



Fonte: Adaptado de Reis e Reis.

O concreto irá cristalizar, formando uma barreira contra a infiltração, também permitindo que o concreto respire, deixando que o vapor da água circule, mas impedindo a umidade. Além da impermeabilização, irá combater agentes agressivos que possam comprometer a estrutura, como demonstrado na Tabela 1, dentre estas, existem outras vantagens, que incluem: resistência a pressão hidrostática, estrutura resistente e durável, podendo selar fissura de até 0,5 mm, não é tóxico e flexibiliza o planejamento da obra (PENETRON, 2013).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Materiais

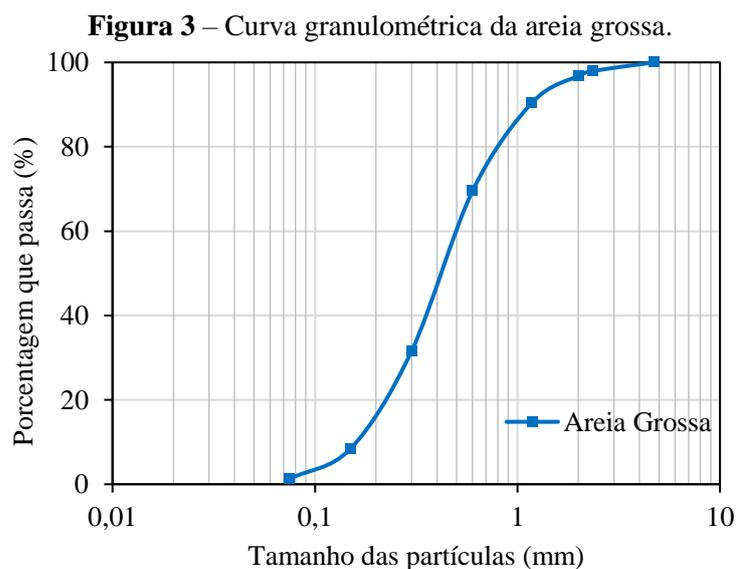
3.1.1 Cimento e água

O cimento utilizado foi o Portland composto por filer do tipo CP II-F-40, constituído por 90% a 94% de clínquer, gesso e de 6% a 10% de material carbonático ou filer. O cimento apresenta resistência de 40 MPA aos 28 dias e se destaca pelo maior grau de finura, que proporciona maior resistência em todas as idades.

A água utilizada na dosagem do concreto foi proveniente do abastecimento público da cidade de Ceres que é fornecida pela companhia de saneamento de Goiás S/A - Saneago.

3.1.2 Agregados

Os agregados foram caracterizados através da análise granulométrica, conforme apresentado na Figura 3, utilizando peneiras de acordo com a norma NBR NM 248 (ABNT, 2003). Os ensaios foram realizados no laboratório de Engenharia Civil da UniEVANGÉLICA - Campus Ceres.



Fonte: Próprio autor (2020).

O agregado miúdo utilizado foi a areia grossa, com granulometria de 0,2 mm a 0,6 mm, cujas partículas possuem um módulo de finura e massa específica da areia a serem determinados. Os agregados graúdos usados na dosagem foram a brita 0 e brita 1, as quais possuem a granulometria de 4,8 mm a 9,5 mm para a brita 0, e 9,5 mm a 19 mm para a brita 1, definidos pela NBR 7211 (ABNT, 2005).

3.1.3 Aditivo

Foi utilizado neste estudo o aditivo impermeabilizante cristalizante Penetron Admix, que aplicado ao concreto apresenta características que visam reduzir a permeabilidade total. O

aditivo é constituído por cimento Portland, areia de sílica fina tratada e compostos químicos ativos conforme mostra a tabela 3. O aditivo é fornecido em embalagens de sacos e baldes com 18 kg.

Tabela 3 - Composição química do aditivo impermeabilizante.

Composição química	%
Cimento Portland	65 a 80
Hidróxido de cálcio e magnésio	1,5 a 6
Oxido e hidróxido de magnésio e cálcio	1,5 a 6
Hidróxido de cálcio	1 a 2
Outros	5 a 30

Fonte: Adaptado de Penetron Admix.

De acordo com o fabricante do produto o consumo do aditivo deve ser em média 0,8% em relação a massa de cimento da mistura e deve ser acrescentado no concreto no momento da sua produção. Dependendo do tipo da operação da usina e do equipamento, a sequência e os procedimentos de adição podem variar.

3.2 Programa experimental

Para atingir os objetivos propostos neste artigo, foi desenvolvido um programa experimental que permitiu a análise do comportamento do concreto quando submetido a diferentes tratamentos, como esforços de compressão e absorção de água, mantendo as mesmas proporções. Na dosagem foi utilizado o aditivo de impermeabilização cristalizante para o concreto testado, havendo a comparação com um concreto de referência com a aplicação da impermeabilização convencional.

3.2.1 Dosagem e produção do concreto

As proporções de materiais empregados foram baseadas em um traço de concreto de referência geralmente usado em edifícios fabricados na região de Goiás, onde apresenta um fck de 25 Mpa aos 28 dias de cura. As proporções dos materiais utilizados são descritas na Tabela 4.

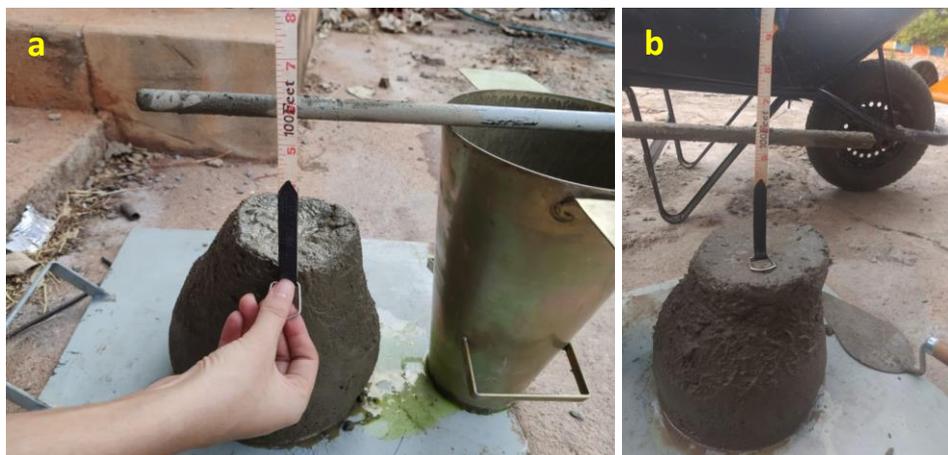
Tabela 4 – Proporções dos materiais em massa.

Materiais	Proporções
Cimento	1
Areia Natural	1,36
Brita n° 0	1,08
Brita n° 1	1,26
Aditivo Polifuncional	0,0085%
Aditivo Cristalizante	0,1%; 0,4%; 0,8%

Fonte: Próprio autor (2020).

O concreto foi produzido em equipamento betoneira disponível no Laboratório de Materiais do curso de Engenharia Civil da UniEVANGÉLICA - Campus Ceres. Após produzido o concreto, foi realizado o ensaio de *slump test*, como demonstrado na Figura 4, para determinação da consistência, conforme exigido pela NBR NM 67 (ABNT, 1998).

Figura 4 – Ensaio de abatimento do concreto (*Slump test*).



Fonte: Próprio autor (2020).

A moldagem das amostras foi realizada de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2015) e utilizando moldes metálicos com 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura. 24 horas após moldagem, os corpos de prova foram submersos na água, onde foram retirados, pesados e posteriormente submersos na água novamente, durante o prazo de 7 em 7 dias, até completar 28 dias, finalizando assim o tempo de cura. Para cada traço de concreto estudado foram feitos 8 corpos de prova, que foram destinados para os experimentos de absorção d'água, absorção de água por capilaridade, resistência à compressão e tração por compressão diametral.

3.2.2 Ensaio mecânicos

O teste de resistência a compressão foi feito para determinar a capacidade do concreto de suportar esforços seguindo as recomendações da NBR 5739 (ABNT, 1993). O ensaio de tração por compressão diametral foi realizado seguindo a NBR 7222 (ABNT, 2011) a qual recomenda que o corpo de prova seja ensaiado deitado no meio dos pratos da prensa. Ambos ensaios foram realizados em uma prensa manual digital modelo 100T (I-3001-C) da marca Contenco disponível no Laboratório de Materiais do curso de Engenharia Civil da UniEVANGÉLICA – Campus Ceres. Nos ensaios foram analisados a carga de ruptura e o tipo de ruptura de quatro corpos de provas cilíndricos para cada traço de concreto.

3.2.3 Absorção de água total e por capilaridade

O ensaio de absorção total foi realizado para determinar a absorção de água, a massa específica, a densidade da amostra seca, a densidade da amostra saturada, o índice de vazios dos corpos de provas de acordo com as recomendações da NBR 9778 (ABNT, 2005). No ensaio, quatro corpos de prova foram imersos em água para realização da cura após o período de cura

inicial seca de 24 horas. Em seguida, os corpos de prova foram retirados da imersão para se medir a massa saturada, este procedimento foi repetido até que se complete os 28 dias de cura. As medidas foram tabeladas e posteriormente calculadas as porcentagens de absorção de água no concreto.

O ensaio de absorção de água por capilaridade (Figura 3) foi realizado para determinar a absorção de água, através da ascensão capilar do concreto endurecido dos corpos de provas de acordo com as recomendações da NBR 9779 (ABNT, 1995).

Figura 5 – Ensaio de absorção de água por capilaridade (a) e a determinação da massa (b).



Fonte: Próprio autor (2020).

Após o período de cura do concreto de 28 dias, dois corpos de prova de cada traço foram colocados na estufa com uma com temperatura constante de $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ durante 24 horas. Após a secagem em estufa, os corpos de prova foram pesados e sua massa inicial foi medida. Em seguida os corpos de prova foram resfriados até atingir a temperatura ambiente. Posteriormente, os corpos de prova foram posicionados sobre um suporte em um recipiente com o nível d'água constante de 5 ± 1 mm acima de sua face inferior conforme apresentado na Figura 3a. Durante o ensaio, a massa dos corpos de prova foi determinada com 3h, 6h, 24h, 48h e 72h, medidas a partir do contato dos corpos de prova com a água. Após este processo, os corpos de prova foram rompidos por compressão diametral, de acordo com a NBR 7222 (ABNT 2011), para que anotasse a distribuição d'água em seu interior e sua resistência mecânica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Abatimento do concreto

Os resultados obtidos pelo ensaio de abatimento do concreto em estado fresco, apresentados na tabela 5, utilizando as recomendações da norma NBR NM 67 (ABNT, 1998), foram realizados para medir a consistência e verificar a trabalhabilidade do concreto para que o mesmo esteja apto a ser utilizado.

Tabela 5 – Abatimento do concreto (*Slump Test*).

Traço	Descrição	Slump (mm)
CC	Concreto convencional	120
CAC 0,8	Concreto com 0,8% de aditivo cristalizante	60
CAC 0,4	Concreto com 0,4% de aditivo cristalizante	80
CAC 0,1	Concreto com 0,1% de aditivo cristalizante	100

Fonte: Próprio autor (2020).

Foi possível observar na tabela 5 que o traço do concreto convencional CC ficou menos denso em relação aos traços de concreto com a presença do aditivo cristalizante. Conforme foi aumentado a quantidade do aditivo ele diminuiu a fluidez, aumentando a coesão característica do traço, interferindo diretamente no *slump test* (OLIVEIRA *et. al.*, 2019). Porém os resultados se mantiveram conforme a norma NBR NM 67 (ABNT, 1998) recomenda.

4.2 Resistência mecânica

Os ensaios de resistência mecânica foram realizados no laboratório de construção civil da UniEVANGÉLICA - Campus Ceres, os corpos de prova foram rompidos após atingirem uma idade de 28 dias, conforme orientado pela norma NBR 5738 (ABNT, 2015). Na tabela 6 estão os resultados dos ensaios de resistência a compressão, que foram rompidos verticalmente, e o ensaio de resistência a tração por compressão diametral. Para os resultados apresentados na tabela, foi utilizado uma média dos valores da resistência de dois corpos de prova para cada traço analisado.

Tabela 6 – Resultados dos Ensaio de Resistencia Mecânica.

Traço	Resistência a compressão (MPa)	Resistência a tração (MPa)
CC	24,92	9,66
CAC 0,8	29,23	13,75
CAC 0,4	25,85	10,93
CAC 0,1	18,41	10,05

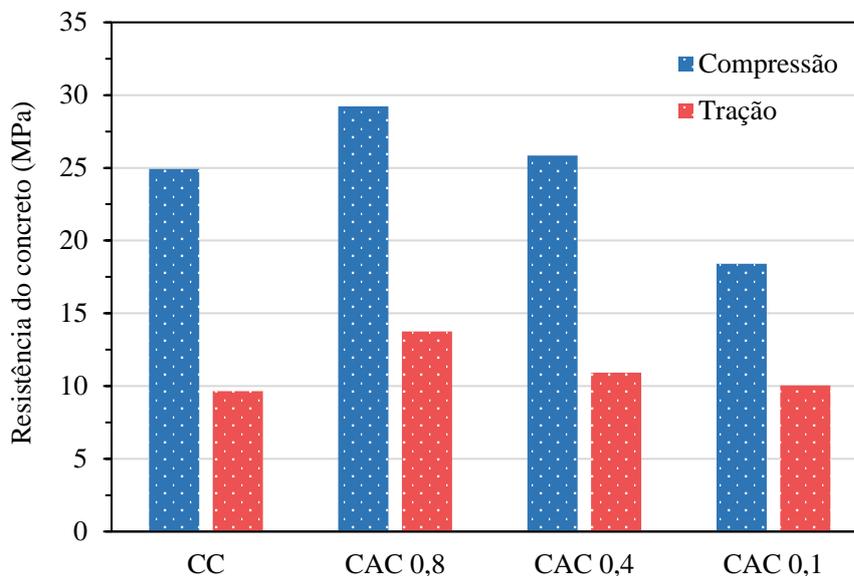
Fonte: Próprio autor (2020).

Nestes ensaios foi possível comprovar a eficácia da adição do aditivo impermeabilizante por cristalização, exceto no traço CAC 0,1, onde no ensaio a compressão ele obteve uma resistência inferior que o traço CC, no entanto, no ensaio de resistência a tração do traço CAC 0,1 apresentou uma resistência superior à do traço CC, sendo algo positivo. Os demais traços que utilizaram do aditivo cristalizante, demonstraram um aumento significativo na resistência mecânica, principalmente no traço CAC 0,8, tanto a resistência a compressão quanto a tração, quando comparados com os corpos de prova de concreto convencional CC, sem a presença do aditivo cristalizante, conforme demonstrado na tabela 6.

Através da análise da Figura 6, nota-se de forma mais clara que conforme foi aumentado a quantidade do aditivo cristalizante no traço do concreto, surtiu um efeito positivo na resistência mecânica dos corpos de prova, havendo um aumento de até 17,29% de resistência a

compressão, enquanto no ensaio de resistência a tração houve um aumento de 42,35%, ambos do traço CC para o CAC 0,8, isto ocorre, pois de acordo com o Instituto Brasileiro de Impermeabilização (2018), os impermeabilizantes rígidos, que incluem o aditivo cristalizante, possui como característica a fácil aplicada, ótima aderência e alta resistência mecânica.

Figura 6 – Ensaio de resistência mecânica do concreto.



Fonte: Próprio autor (2020).

O aumento na resistência mecânica dos traços com o aditivo cristalizante, notados na Figura 6, foram de acordo com o que o próprio fabricante do produto garantia, que consistia em um aumento de no mínimo 10% em relação ao traço sem o aditivo (PENETRON, 2013).

4.3 Absorção de água total e por capilaridade

Os resultados que foram obtidos através do ensaio de absorção de água total, realizados conforme a NBR 9778 (ABNT, 2005), estão apresentados na tabela 7, mostrando em porcentagem a quantidade de água absorvida por cada traço.

Tabela 7 – Resultados do ensaio de absorção de água total.

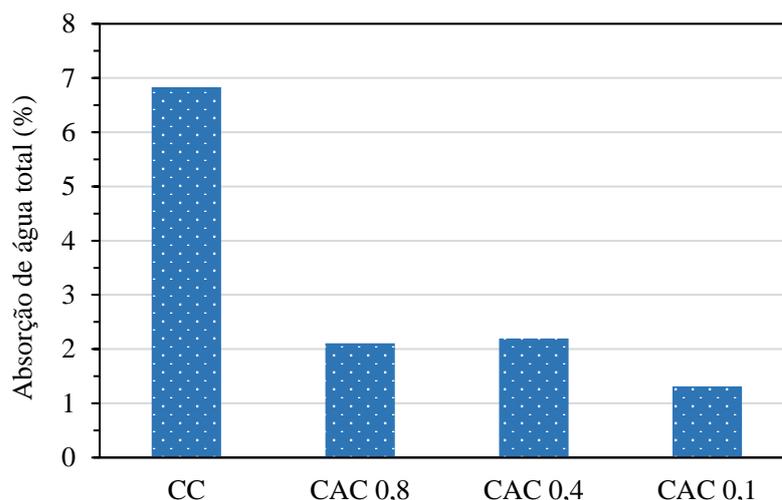
Traço	Absorção de água total
CC	6,83%
CAC 0,8	2,11%
CAC 0,4	2,195%
CAC 0,1	1,315%

Fonte: Próprio autor (2020).

Através do ensaio de absorção de água total, demonstrado seus resultados na tabela 7, foi possível notar que o traço sem a presença do aditivo cristalizante CC ocorreu uma absorção de água discrepante, quando comparado com os demais traços com o aditivo impermeabilizante.

A disparidade entre os traços com a presença do aditivo cristalizante, em relação ao concreto convencional, fica de forma mais explícita quando observado na Figura 7, em que o CAC 0,8 e CAC 0,4 apresentaram resultados semelhantes e absorveram aproximadamente três vezes menos que o traço convencional e o traço CAC 0,1, que obteve uma absorção de água consideravelmente inferior que os traços anteriores, sendo este, um resultado positivo para o uso do aditivo impermeabilizante por cristalização.

Figura 7 – Ensaio de Absorção de Água Total.



Fonte: Próprio autor (2020).

Os resultados obtidos sobre a absorção de água por capilaridade e apresentados na tabela 8, foram realizados utilizando como base a norma NBR 9779 (ABNT, 1995). Estes resultados estão representados pela média dos valores encontrados por dois corpos de prova para cada traço.

Tabela 8 – Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade.

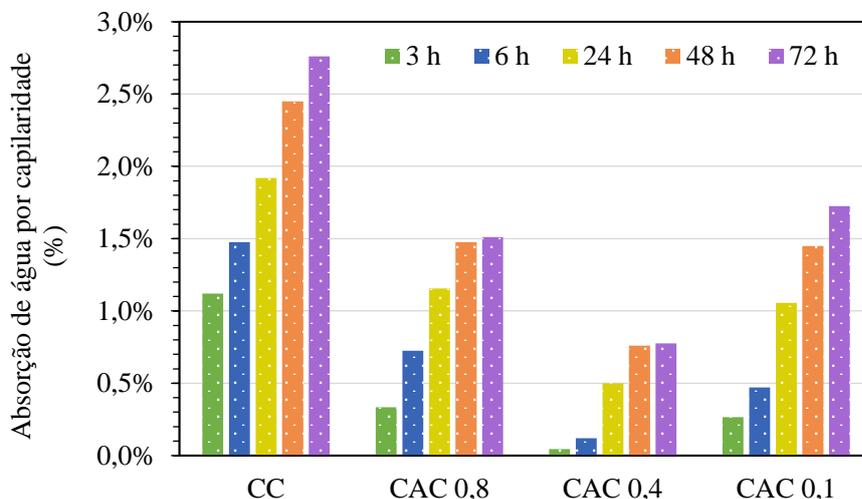
Traço	Absorção de água por capilaridade (%)					Resistência a tração (MPa)
	3 h	6 h	24 h	48 h	72 h	
CC	1,12%	1,48%	1,92%	2,45%	2,76%	8,19
CAC 0,8	0,34%	0,73%	1,16%	1,48%	1,51%	8,89
CAC 0,4	0,05%	0,12%	0,50%	0,76%	0,78%	10,09
CAC 0,1	0,27%	0,47%	1,06%	1,45%	1,73%	8,80

Fonte: Próprio autor (2020).

Analisando a tabela 8, pode-se notar que o traço CC iniciou as 3 primeiras horas já absorvendo bastante água, em relação aos traços restantes, finalizando com aproximadamente o dobro de absorção d'água, como observado na Figura 8, também apresentando uma resistência a tração inferior, devido à falta de impermeabilidade, pois a permeabilidade interfere diretamente na durabilidade e resistência da estrutura (ARAUJO & SAVIATTO, 2018). Esta permeabilidade ocorre, pois através do fator água/cimento, uma quantidade elevada d'água

presente na estrutura será evaporada, formando diversos poros vazios por todo o concreto, que irão permitir a infiltração d'água (GOMES et. al., 2003).

Figura 8 – Ensaio de absorção de água por capilaridade.



Fonte: Próprio autor (2020).

Ao analisar a Figura 8, nota-se que o traço CAC 0,8 e CAC 0,4 se estabilizaram ao atingir as 48 e 72 horas do ensaio. Isso ocorreu devido a presença do aditivo cristalizante, onde, ao entrar em contato com a água e com o hidróxido de cálcio o aditivo reage, formando os cristais insolúveis, selando e protegendo o concreto contra a penetração da água e outros líquidos. No traço convencional a absorção de água continua crescente, portanto, o traço CC irá continuar absorvendo mais água até que ele também se estabilize (BARBOSA, 2018). Logo, no traço CAC 0,1 mesmo tendo uma presença inferior do aditivo cristalizante no traço, conseguiu atingir uma absorção de até 10% a menos que o traço CC e uma resistência a tração superior que o mesmo, porém inferior aos demais traços.

Considerando todos os traços, fica claro na Figura 8 que o CAC 0,4 teve um destaque no ensaio de absorção de água por capilaridade, tendo uma absorção d'água consideravelmente inferior e a resistência a tração superior que os demais traços. Na Figura 9, mostra o interior dos corpos de prova de cada traço, após serem rompidos ao finalizar o ensaio de capilaridade. Na figura estão os traços CC (a), CAC 0,8 (b), CAC 0,4 (c), CAC 0,1 (d), respectivamente.

Figura 9 – Corpos de prova após ruptura do ensaio de capilaridade.



Fonte: Próprio autor (2020).

Analisado a Figura 9a, observa-se que o corpo de prova CC absorveu uma quantidade considerável de água durante as 72 horas do ensaio de capilaridade, sendo possível visualizar que a água atingiu mais da metade do corpo de prova. Enquanto os corpos de prova restantes, com a presença do aditivo cristalizante, finalizaram o ensaio de capilaridade com uma quantidade de água, visualmente, presente apenas na base dos corpos de prova, ficando impossibilitada de infiltrar mais profundamente na estrutura, por conta da formação dos cristais insolúveis, que impediram o avanço da água.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo realizado indicou que o método de impermeabilização por cristalização é eficiente quando utilizado na dosagem correta. A análise da consistência dos concretos indicou que conforme foi aumentado a quantidade do aditivo, a fluidez foi diminuída e a coesão característica do traço aumentada, interferindo diretamente no *slump*.

Em relação a resistência, tanto a compressão quanto a tração diametral os traços com a presença do aditivo impermeabilizante por cristalização, apresentaram resultados positivos que variaram de até 17,29% para resistência a compressão e até 42,35% para resistência a tração diametral em comparativo com o traço convencional, sendo o CAC 0,8 o traço com melhor desempenho mecânica, indicando que o aditivo impermeabilizante por cristalização aumenta a resistência mecânica do concreto. Analisando os resultados dos ensaios de absorção de água total e capilaridade, notou-se que o traço CAC 0,4 se destacou em ambos os ensaios, pois absorveu uma quantidade d'água inferior aos outros traços, tendo uma eficiência superior, pois o aditivo agiu como esperado. Com isto, observa-se que mesmo o fabricante do produto, indicando a dosagem de 0,8% de aditivo no traço do concreto, ao utilizar metade desta quantidade, ainda houve uma resposta positiva, concluindo que o mesmo possui eficácia, inclusive em quantidades inferiores.

Portanto, a aplicação do aditivo no concreto possui eficiência considerável, tanto para a resistência mecânica, quanto em relação a impermeabilidade da estrutura. Porém, em relação às dosagens do aditivo, é necessário que a mesma seja reavaliada entre 0,8% e 0,4%, pois mesmo em quantidades inferiores, ainda apresentou um resultado positivo.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, M. D; SAVIATTO, M. S. C. **Estudo da influência de aditivo impermeabilizante em concreto**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil. Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10787**: Concreto endurecido – Determinação da penetração de água sob pressão. Rio de Janeiro, 2011.

_____**ABNT NBR 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

_____**ABNT NBR 52**: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa aparente. Rio de Janeiro, 2009.

_____**ABNT NBR 53**: Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

_____**ABNT NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

_____**ABNT NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1993.

_____**ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

_____**ABNT NBR 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

_____**ABNT NBR 7211**: Concreto e argamassa - Determinação da resistência a tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2009.

_____**ABNT NBR 7222**: Concreto e argamassa - Determinação da resistência a tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.

_____**ABNT NBR 9575**: Impermeabilização – Seleção e projeto. Rio de Janeiro, 2005.

_____**ABNT NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecido - Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2005.

BARBOSA, R. M. E. **Patologia da impermeabilização de edificações: aspectos técnicos e metodológicos**. 2018. Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018.

BARROSO, G. F; MENESES, F. M. C, et al., **Sistemas de impermeabilizações (ênfase em manta asfáltica)**, Revista de Iniciação Científica da Universidade Vale do Rio Verde, Três Corações, v. 5, n. 1, p. 42-57, 2015.

CAPPELLESSO, V. G; PETRY, N. S. et al., **Use of crystalline waterproofing to reduce capillary porosity in concrete.** 2016. *J Build Rehabil.* Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s41024-016-0012-7>. Acesso em 21 set. 2019.

FORNASIER, R. S. **Porosidade e permeabilidade do concreto de alto desempenho, com microssilica.** 1995. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1995.

GOMES, A. M. et al. **Permeabilidade Do Concreto: Um estudo para a avaliação “in situ” usando instrumentos portáteis e técnicas tradicionais.** 2003. Disponível em: <http://livrozilla.com/doc/592471/permeabilidade-do-concreto--um-estudo-para-aavalia%C3%A7%C3%A3o>> Acesso em: nov. 2020.

GUTFREIND, H; AURICH, M. **Sistemas estruturais II. Propriedades e características dos materiais concreto e aço.** Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Faculdade de Engenharia. 2014. Disponível em: https://www.politecnica.pucrs.br/professores/giugliani/ARQUITETURA_-_Sistemas_Estruturais_II/01_Propriedade_e_Caracteristica_dos_Materais.pdf. Acesso em 11 maio 2020.

IBI. **Impermeabilização Rígida,** ed. Pini. Disponível em: <http://ibibrasil.org.br/wp-content/uploads/2018/01/Impermeabilizac%CC%A7a%CC%83o-ri%CC%81gida.pdf>. Acesso em: 25 mai. 2020.

MASTER HOUSE. **Saiba como impermeabilizar a sua casa.** Disponível em: <https://www.masterhousesolucoes.com.br/saiba-como-impermeabilizar-a-sua-casa/>. Acesso em: 27 maio 2020.

MEHTA, P. K; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014. cap. 5, p. 125.

OLIVEIRA, L. N; BRITO, C. R, et al., **Concrete curing analysis for high durability of structural concrete.** 2019. Revista de Engenharia e Tecnologia para aplicações industriais. Edição 17. Vol. 05. 2019.

PENETRON, Ltda. **PENETRON ADMIX: Ficha Técnica.** 2013 Disponível em: http://www.penetron.com.br/downloads/fichas/ficha_tecnica_penetron_admix.pdf. Acesso em: 19 set. 2019.

PEREIRA, C. **Emulsão Asfáltica – Passo a passo da aplicação.** Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/emulsao-asfaltica/>. Acesso em: 27 maio 2020.

REIS e REIS. **RR barrier cristal - Impermeabilizante cristalizante para concreto.** Disponível em: <https://www.reisereis.com.br/produto/rr-barrier-cristal-impermeabilizante-cristalizante-para-concreto>. Acesso em: 27 maio 2020.

RIGHI, G. V. **Estudos dos sistemas de impermeabilização: patologias, prevenções e correções - análise de casos.** 2009. Dissertação (Mestrado em engenharia civil, área de concentração em construção civil). Universidade federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2009.

SOARES, F. F. **A Importância do Projeto de Impermeabilização em Construção Civil.** 2014. Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2014.