Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções
CBPAT2016

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

USO DE IMPERMEABILIZANTE POR CRISTALIZAÇÃO PARA O AUMENTO DA DURABILIDADE DO CONCRETO

V.G. CAPPELLESSO
Estudante
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Rio Grande do Sul; Brasil
vanessa@cappellesso.com.br

N. S. PETRY
Pesquisadora
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Rio Grande do Sul; Brasil
nataliapetry@yahoo.com.br

D.C.C. DAL MOLIN
Professora e Pesquisadora
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Rio Grande do Sul; Brasil
dmolin@ufrgs.br

A.B. MASUERO
Professora e Pesquisadora
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Rio Grande do Sul; Brasil
angela.masuero@ufrgs.br

RESUMO

A água está presente na maioria dos casos de deterioração do concreto. A baixa permeabilidade deste material contribui para o aumento da durabilidade. O intuito desta pesquisa é estudar a influência do uso de produto impermeabilizante por cristalização, tanto como tratamento superficial quanto como adição, na absorção de água em concretos. O desempenho destes será comparado com concretos com e sem adição de sílica ativa. Os ensaios desenvolvidos para avaliar o desempenho deste material foram: absorção total - NBR 9778 (ABNT, 2009), penetração de água sob pressão (30kPa), e complementarmente aos ensaios de permeabilidade foi realizado o ensaio de resistência à compressão – NBR 5739 (ABNT, 2007). Os resultados mostram que a adição de sílica ativa é mais eficiente que o impermeabilizante por cristalização estudado, pois contribuiu com a resistência à compressão e reduziu a absorção e a penetração de água.
Palavras-chave: permeabilidade, durabilidade, impermeabilizante.

ABSTRACT

Water is present in most cases of concrete deterioration. The low permeability of the same contributes to increase of durability of this material. The purpose of this research is to study the influence of the use crystalline waterproofing product, as surface treatment and as addition, in the absorption of concrete. The performance of these will be compared to concrete with and without silica. The tests carried out to evaluate the performance of this material were: total absorption - NBR 9778 (ABNT, 2009), water penetration under pressure (30kPa), and compared to permeability tests were also performed compressive strength test - NBR 5739 (ABNT, 2007). The results show that the addition of silica is more efficient that the crystalline waterproofing studied, as it contributed to the compressive strength and also helped in reducing absorption and penetration.
Keywords: permeability, durability, waterproofing.

1. INTRODUÇÃO

A durabilidade das estruturas de concreto tem ganhado enfoque nos últimos anos. A partir da segunda metade do século XX houve um aumento nos danos causados pela deterioração das construções; os reparos dessas obras de concreto têm se intensificado nos dias de hoje e a preocupação com o aumento da durabilidade também [1]. Problemas relacionados com essa questão tendem a se agravar, visto que muitas edificações contruídas nas décadas passadas estão completando mais de 40 anos de vida, o que gera gastos com manutenções e reparos, resultado de maior preocupação com definições de projeto que aumentem a durabilidade das estruturas [2].

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

Devido às características físicas, químicas e mecânicas, o concreto ao ser utilizado em diversos ambientes fica exposto a vários agentes deletérios, sendo que estes podem comprometer a durabilidade [3]. A avaliação da durabilidade está relacionada com o desempenho esperado do produto, alguns fatores são preponderantes para que haja boa compreensão do mesmo, ou seja, conhecer a composição do material e o seu comportamento, assim, alterações causadas pela interação do produto com agentes agressivos externos permite avaliar os danos ao longo do tempo [4].

Inteirar-se sobre os mecanismos de transporte de fluidos no concreto é importante para entender as diversas formas de deterioração que ocorrem nessas estruturas. A água é o fator principal que influencia negativamente na durabilidade do concreto, e a taxa de deterioração é intensificada pela facilidade com que a mesma penetra neste material [5]. Diante disso, garantir um concreto com baixa permeabilidade contribui para o aumento da durabilidade do mesmo aumentando assim sua vida útil.

Existem quatro mecanismos de transporte de água: a permeabilidade, a difusão gasosa, a difusão e migração iônica e a capilaridade, todas agem conforme o tamanho dos poros que variam de 10^{-9}m até 10^{-2}m [6] como pode ser visto na Figura 1 ilustrada abaixo. A rede de poros é um emaranhado de canais e capilares, que na maioria das vezes não se comunicam entre si, e permitem que o concreto apresente impermeabilidade aos líquidos e gases [7].

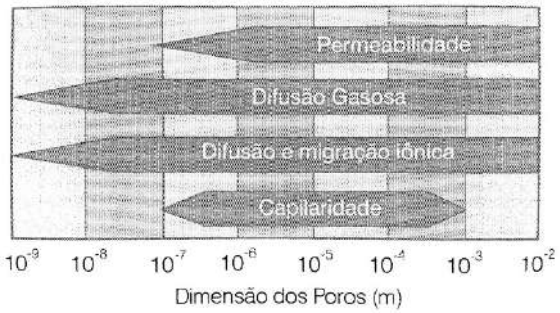

Figura 1: Mecanismo predominante de transporte de massa em função das dimensões do poros [6]

Impedir a entrada de fluídos no concreto é essencial para garantir a durabilidade do mesmo, pode-se baixar a porosidade diminuindo a relação água/cimento, utilizando pozolanas ou produtos impermeabilizantes na mistura, ou aplicando produtos impermeabilizantes na superfície do concreto tornando-o impermeável.

Os impermeabilizantes têm como função impedir a passagem de água ou fluídos sob a forma líquida ou vapor, dessa forma proteger as estruturas. A impermeabilização cria uma barreira quando é aplicada como tratamento superficial fechando os poros superfíciais com o objetivo de impedir a entrada de água por qualquer mecanismo de transporte. Alguns impermeabilizantes também podem ser usados como adição na mistura, tendo por finalidade diminuir a permeabilidade do concreto tornando-o menos poroso e mais resistente a agentes agressivos.

Produtos impermeabilizantes são usados em quase a totalidade das obras, para garantir a estanqueidade e a impermeabilidade em estruturas como fundações, subsolos, áreas molhadas e expostas a intempéries, lajes, piscinas, entre outros, proporcionando aumento da vida útil das contruções, pois retarda ou até mesmo mitiga processos de deterioração, consequência do aumento da durabilidade.

O intuito deste trabalho é analisar o uso de um impermeabilizante por cristalização como tratamento superficial e como adição, comparando-o com um concreto com e sem adição de sílica ativa. Os ensaios de absorção total - NBR 9778 (ABNT, 2009), penetração de água sob pressão (30kPa) com medição da área molhada, e o ensaio de resistência à compressão – NBR 5739 (ABNT, 2007), foram realizados com o objetivo de verificar a permeabilidade de cada tipo de concreto.

2. MATERIAIS E PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1 Materiais

2.1.1 Aglomerante

Foi utilizado o Cimento Portland IV 32, cimento pozolânico de classe 32. Concretos confeccionados com esse aglomerante apresentam uma maior vida útil quando comparados aos demais tipos de cimento mantendo uma mesma relação a/c. A existência de pozolanas na sua composição provoca a reação pozolânica que é lenta e contínua, com formação de produtos resistentes pelo consumo de hidróxido de cálcio, o qual acarreta na diminuição da porosidade dos concretos [8]. As Tabelas 1, 2 e 3 apresentam as características do cimento empregado no trabalho.

Tabela 1 – Composição química do cimento

Características avaliadas (%)	CP IV	Limites normativos
Óxido de Magnésio (MgO)	4,70	≤ 6,5
Trióxido de Enxofre (SO_3)	1,80	≤ 4,0
Perda ao fogo (PF)	2,60	≤ 4,5
Resíduo Insolúvel	40,70	-

Tabela 2 – Caracterização física do cimento

Características avaliadas	CP IV	Limites normativos
Finura #200	0,40	≤ 8,0
Finura #325	2,00	-
Massa específica (g/cm³)	2,59	-
Início de pega (h:min)	5:55	≥ 1
Fim de pega (h:min)	8:15	≤ 12
Área específica (cm²/g)	4900	-

Tabela 3 – Resistência à compressão do cimento (MPa)

Idade	CP IV	Limites normativos
3	17,7	≥ 10,0
7	22,8	≥ 20,0
28	36,2	≥ 32,0

2.1.2 Agregados

Os agregados foram caracterizados de acordo com a granulometria pela NBR NM 248 (ABNT, 2003) – Agregados: Determinação da composição granulométrica, e para a determinação da massa específica foi utilizado como base a NBR NM 52 (ABNT, 2009) - Agregado miúdo: Determinação da massa específica e massa específica aparente; e a NBR NM 53 (ABNT, 2009) – Agregado graúdo: Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água.

Agregado Miúdo – Areia: As partículas possuem módulo de finura igual a 3,28. A massa específica da areia apresentou o valor de ρ =2,58g/cm³. Na Tabela 4 pode ser vista a porcentagem retida em cada peneira da série normal.

Tabela 4 – Porcentagem retida nas peneiras da série normal para o agregado miúdo

Peneira (mm)	Porcentagem retida (%)	
	Individual	Acumulada
4,75	2	2
2,36	5	7
1,18	9	16
0,6	17	33
0,3	41	73
0,15	24	97
Fundo	3	100

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

Agregado graúdo – Brita: O agregado graúdo utilizado é de origem basáltica e foi utilizado em duas granulometrias diferentes: brita 0 e brita 1. Na Tabela 5 pode ser vista a porcentagem retida em cada peneira da série normal e da série intermediária para agregados graúdos, e em seguida na Tabela 6 está descrito as características encontradas para os agregados graúdos utilizados.

Tabela 5 – Porcentagem retida nas peneiras para os agregados graúdos

Peneira (mm)	Porcentagem retida (%) – Brita 0		Porcentagem retida (%) – Brita 1	
	Individual	Acumulada	Individual	Acumulada
25	0,0	0,0	0,0	0,0
19	0,0	0,0	20,9	20,9
12,5	0,8	0,8	76,1	96,9
9,5	13,6	14,4	3,0	99,9
6,3	47,2	61,6	0,1	100,0
Fundo	38,4	100,0	0,0	100,0

Tabela 6 – Caracterização dos agregados graúdos

Caracterização	Brita 0	Brita 1
Dimensão máxima característica (DMC) - mm	12,5	25
Massa específica do agregado seco (d) – g/cm³	2,95	2,91
Massa específica do agregado saturado superficie seca (ds) – g/cm³	2,88	2,87
Massa específica aparente (da) – g/cm³	2,83	2,85
Absorção de água (A) - %	1,43	0,66

2.1.3 Água

A água utilizada nesse estudo para a moldagem dos corpos-de-prova é proveniente da rede pública de abastecimento da cidade de Porto Alegre.

2.1.4 Adições

As adições utilizadas foram a sílica ativa e o impermeabilizante por cristalização. Ambas tem o intuito de diminuir a permeabilidade do concreto, dessa forma auxilia no aumento da durabilidade do mesmo. A sílica confere aos concretos propriedades específicas, tais como: baixa permeabilidade, baixo calor de hidratação, aumento nas resistências mecânicas, resistência ao ataque de sulfatos, acréscimo da durabilidade, minimização da reação álcali-agregado, entre outras. Sendo esta um tipo especial de pozolana quimicamente composta com SiO_2 (> 86%), principalmente por fase vítrea e amorfa, podendo também ser encontrados compostos cristalinos como carbeto de silício e cristobalita. A massa específica (g/cm³) da sílica ativa utilizada neste estudo é 2,20, e na Tabela 7 pode-se ver a composição química da mesma.

Tabela 7 – Composição química da Sílica Ativa

Características avaliadas (%)	CP IV
Al_2O_3	0,20
SiO_2	92,36
Fe_2O_3	0,14
CO_2	5,06
MgO	0,24
SO_3	0,15
K_2O	0,86
MnO	0,03
P_2O_5	0,11
CaO	0,77
Na_2O	0,06

O impermeabilizante por cristalização (IC) é composto por cimento Portland (40% a 70%), areia de quartzo (5% a 10%) e compostos químicos ativos (10% a 30%) não revelados, com massa específica igual a 2,92 g/cm³, e pH em solução entre 10-13. Os compostos químicos reagem com a umidade do concreto fresco e com os produtos da hidratação do cimento os quais resultam em uma estrutura cristalina insolúvel nos poros e capilares do concreto. O intuito desse material é selar permanentemente o concreto contra a penetração de água e quaisquer outros líquidos, além de contribuir com a proteção contra agentes agressivos da atmosfera devido a sua baixa permeabilidade. Esse produto é usado em estruturas como reservatórios, estações de tratamento de água e efluentes, túneis, fundações, entre outras obras que necessitem de concretos impermeáveis.

2.1.5 Aditivos

Os aditivos utilizados na mistura foram designados de acordo com o traço utilizado, traço este usado em obras convencionais que não precisam de resistência elevada nas primeiras idades, e o mesmo com proporção de dois aditivos, sendo um aditivo plastificante polifuncional redutor de água (Aditivo 1) e outro aditivo superplastificante (Aditivo 2).

Ambos os aditivos trazem benefícios ao concreto endurecido como reduzir a água de amassamento mantendo a consistência, aumento da fluidez, facilitando o adensamento e o lançamento, além de aumentar a coesão do concreto. Já para o concreto endurecido, por necessitar de menos água na mistura o mesmo proporciona maior resistência mecânica, reduz a permeabilidade, retrações e fissuras de origem plástica, aumentando assim a durabilidade.

2.1.6 Tratamento superficial

O tratamento superficial foi realizado com o mesmo impermeabilizante por cristalização utilizado como adição, no entanto, esse é destinado a execução de tratamento superficial. O objetivo desse produto é impermeabilizar o concreto. Este é composto por cimento Portland (10% a 50%), areia de quartzo (10% a 40%) e compostos químicos ativos (30% a 60%). O mesmo precisa somente ser misturado com água na proporção 5:2,5 (impermeabilizante por cristalização:água) para reagir e ser aplicado na superfície de concreto, sendo esta proporção usada para aplicação manual, com o intuito de preencher os poros e fissuras e prevenir a entrada de água, até mesmo sob pressão, e garantir a passagem de vapor d'água. O seu uso é indicado para estruturas que necessitem de maior durabilidade e estejam sujeitas a agentes agressivos, como: reservatórios de água, barragens, estações de tratamento de água e efluentes, estacionamentos, fundações, túneis, etc. Visto que o produto pode ser aplicado tanto na face positiva quanto negativa do concreto.

Neste trabalho o tratamento superficial foi feito no concreto sem adições a fim de testar unicamente o desempenho do impermeabilizante por cristalização aplicado como pintura, em duas demãos do produto, conforme instrução de uso, sendo a segunda demão passada quando a primeira demão ainda não estava seca. Além disso, o fabricante afirma que o produto desenvolve o mesmo desempenho se esse for lixado ou não; portanto, foram ensaiados corpos-de-prova com o tratamento superficial sendo lixado, além dos pintados sem lixar. Na Figura 2: pode se ver os corpos-de-prova com o tratamento superficial, sendo os ilustrados atrás com o processo de lixamento desenvolvido.



Figura 2: Aspecto visual dos corpos-de-prova com aplicação de produto impermeabilizante como tratamento superficial. (a) corpos-de-prova após processo de lixamento; (b) corpos-de-prova com aplicação do impermeabilizante por cristalização como tratamento superficial

2.2 Programa experimental

Para se alcançar os objetivos propostos neste trabalho foi desenvolvido um programa experimental que possibilitou a análise do comportamento dos concretos submetidos a diferentes tratamentos, mantendo o mesmo traço. Na Figura 3

pode ser visto o fluxograma utilizado para realização deste trabalho. A partir do traço empregado para todos os tipos de concretos ensaiados foram desenvolvidos quatro tratamentos diferentes sendo estes comparados entre si e também comparados com um concreto referência, o qual não possui adições e nem tratamento superficial. Os outros quatro tipos são: concreto com tratamento superficial de impermeabilizante por cristalização aplicado como pintura, concreto com tratamento superficial de impermeabilizante por cristalização aplicado como pintura sendo este lixado após cura úmida de cinco dias, concreto com adição de impermeabilizante por cristalização e concreto com adição de sílica ativa.



Figura 3: Representação esquemática da matriz experimental realizada

2.2.1 Produção dos concretos

O traço empregado no trabalho é usualmente utilizado em obras realizadas na região de Porto Alegre, as quais não necessitam de altas resistências iniciais e tem como estimativa obter f_{ck} de 40 MPa. O mesmo está descrito na Tabela 8, a qual apresenta as proporções de cada material utilizado.

Tabela 8 – Proporcionamento dos materiais

Materiais	Traço
Cimento	1
Areia	1,5
Brita 0	1,17
Brita 1	1,17
Água	0,41
Aditivo 1	0,6%
Aditivo 2	0,24%
Adição de impermeabilizante*	0,8%
Adição de Sílica Ativa*	10%

Obs: *As adições de impermeabilizante e sílica ativa não foram utilizadas simultaneamente.

A moldagem dos corpos de prova foi realizada de acordo com a norma NBR 5738 (ABNT, 2003). Após a mistura dos materiais, buscou-se a consistência especificada de 200±30 mm, através da realização do ensaio de abatimento pelo tronco de cone, como determina a NBR NM 67 (ABNT, 1998), parâmetro este mantido fixo.

Foram confeccionados vinte e seis corpos-de-prova para o concreto referência, sendo onze destes sem tratamento superficial (sete para resistência à compressão e quatro para os ensaios de absorção) e quinze destes utilizados com tratamento superficial (sete para o ensaio de resistência à compressão e oito para os ensaios de absorção, destes oito, quatro passaram pelo processo de lixamento). Além destes foram moldados mais onze corpos-de-prova com adição do impermeabilizante por cristalização (sete para o ensaio de resistência à compressão e quatro para os ensaios de absorção). Por fim moldaram-se mais onze corpos-de-prova com adição de sílica ativa (sete para o ensaio de resistência à compressão e quatro para os ensaios de absorção). Todos em moldes cilíndricos com dimensões de 100mm de diâmetro por 200mm de altura.

Após a moldagem, os corpos-de-prova ficaram acondicionados em temperatura ambiente nas primeiras 24 horas. Posteriormente foram desmoldados e armazenados em câmara úmida sob temperatura de 23±2ºC e umidade maior que 95%, onde permaneceram até as datas dos ensaios.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

2.2.2 Resistência à compressão

De modo a determinar a capacidade de suportar esforços, foi realizado o ensaio de resistência à compressão simples, preconizado pela NBR 5739 (ABNT, 2007).

2.2.3 Absorção total

O ensaio foi realizado conforme recomendações da NBR 9778 (ABNT, 2005), sendo que a partir de sua realização foi possível determinar a absorção, índice de vazios, massa específica da amostra seca, massa específica da amostra saturada e massa específica real.

2.2.4 Penetração de água sob pressão

A NBR 10787 (ABNT, 2011) recomenda um ensaio para determinação da penetração de água sob pressão, no entanto, este ensaio exige equipamentos específicos para sua realização, e pela falta destes no laboratório foi desenvolvido uma adaptação para avaliar a penetração de água sob pressão de acordo com a infraestrutura disponível.

Foram ensaiados quatro corpos-de-prova de cada tipo de concreto, sendo estes aderidos individualmente a um tubo de PVC com 0,1 metros de diâmetro e 3 metros de comprimento, para isso os tubos tiveram uma das extremidades aquecida para que os corpos-de-prova pudessem ser inseridos no seu interior e em seguida foi passado selante na interface (concreto e tubo de PVC) para a vedação (Figura 4 (a,b)).

Em seguida, os tubos de PVC foram preenchidos com água (Figura 4 (c)) até o nível pré-estabelecido, desta forma foi exercida sobre a face superior dos corpos-de-prova uma pressão concentrada de 30KPa. Essa pressão foi mantida constante durante o período de uma semana, sendo que todos os dias era verificado o nível da água e caso necessário, reposto a água até o nivel demarcado, mantendo desta maneira a altura da coluna de água e a pressão constantes.

Depois de uma semana, os tubos foram esvaziados e os corpos-de-prova rompidos por tração diametral e, em seguida foi realizado o resgistro fotográfico de todas as amostras, as fotos foram obtidas com a mesma distância, para posteriormente serem quantificadas as áreas molhadas e secas (Figura 4 (e)). A quantificação foi realizada através da utilização do *software* AutoCAD.



(a) (b) (c) (d) (e)

Figura 4: Desenvolvimento do ensaio de penetração de água sob pressão (a) detalhe da união do corpo-de-prova com o tubo de PVC para colocação de água; (b) vista geral dos corpos-de-prova para ensaio; (c) preenchimento da coluna d'água; (d) corpos-de-prova rompidos por tração diametral; (e) vista da face interna de um corpo-de-prova após realização do ensaio

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Resistência à compressão

Os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova são apresentados na Tabela 9. As médias foram adquiridas através da ruptura de sete corpos de prova na idade 28 dias.

Tabela 9 – Resistência à compressão aos 28 dias dos concretos confeccionados com diferentes tratamentos.

Tratamentos utilizados	Resistência média (MPa)	DP (MPa)	CV (%)
Referência	41,551	1,433	3,448
Pintura com impermeabilizante	42,861	1,305	3,044
Adição de impermeabilizante	47,521	2,854	6,006
Adição de Sílica Ativa	56,646	2,198	3,880

DP : Desvio padrão; CV: Coeficiente de variação.

Para a análise da significância das variáveis controláveis, os tratamentos, foi realizada uma Análise de Variância (ANOVA) com fatorial cruzada a partir do *software* Statistica 7. Os resultados são apresentados nas Tabela 10, para o ensaio de resistência à compressão aos 28 dias.

Tabela 10 – Análise de variância (ANOVA) – Resistência à compressão aos 28 dias

Efeitos	SQ	GL	SQF	Teste F	p	Sig.
Intercept	64241,663	1	64241,663	15678,055	0,000000	-
Tratamento	1010,521	3	336,840	82,205	0,000000	Sim
Error	102,439	25	4,098			-

SQ: Soma quadrática; GL: graus de liberdade (n-1); SQF: média quadrática; Teste F(calc): valor calculado de F; p: nível de significância; Se p < 5% = efeito significativo.

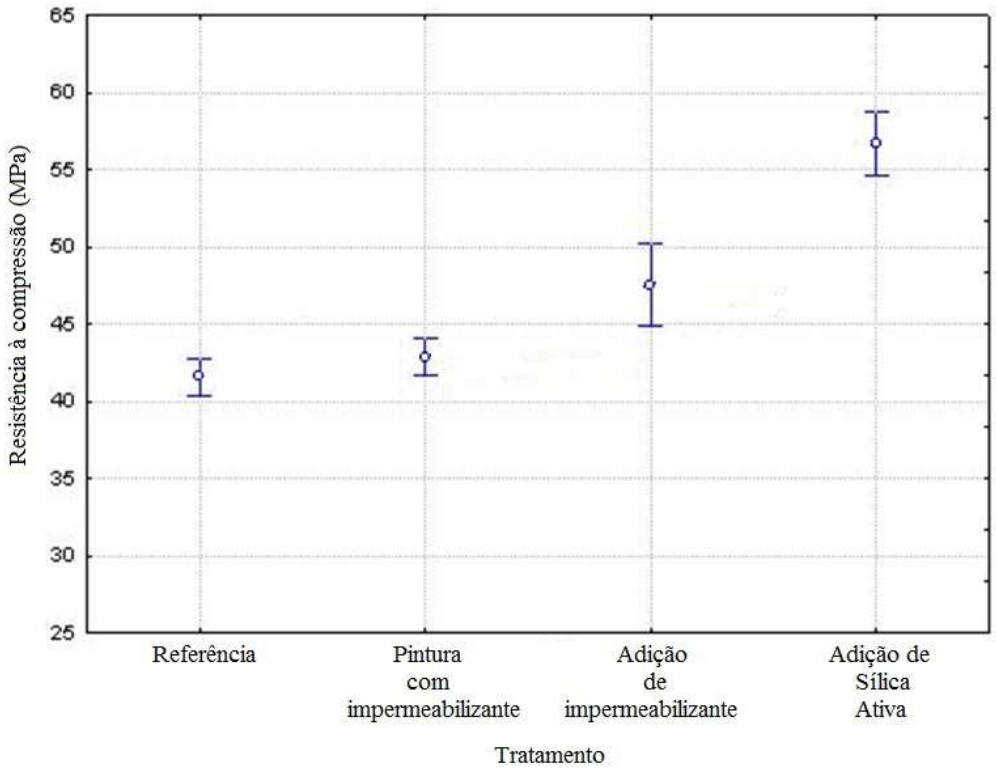

Figura 5: Resistência à compressão simples aos 28 dias dos concretos com diferentes tratamentos superficiais

Analisando a Figura 5, observa-se que a utilização do impermeabilizante como tratamento superficial aplicado como pintura praticamente não altera a resistência à compressão, quando comparado com o concreto de referência. Este

comportamento era esperado uma vez que a influência do produto impermeabilizante neste caso é apenas superficial. Já quando o impermeabilizante é utilizado como adição ao concreto este aumentou a resistência em 16%, este comportamento está associado à colmatação dos poros do concreto pelo produto impermeabilizante. Em contra partida a adição de sílica ativa se mostrou a mais eficiente, apresentando um acréscimo de 28% à resistência à compressão quando comparado à referência.

Analisando estatisticamento através do teste F de Fisher, pode-se dizer que a utilização do impermeabilizante por cristalização aplicado como pintura não é significativo se comparado com o concreto de referência, entretanto a utilização do mesmo como adição na matriz e a adição de sílica ativa são significativas.

3.1. Absorção Total

3.1.1 Absorção de água e Índice de Vazios

Os resultados obtidos no ensaio de absorção total dos corpos de prova são apresentados na Tabela 11. As médias foram adquiridas através do ensaio de quatro corpos de prova na idade 28 dias.

Tabela 11 – Absorção de água e Índice de vazios dos concretos com difentes tratamentos superciais

Tratamentos utilizados	Absorção			Ìndice de vazios		
	Média	DP	CV	Média	DP	CV
Referência	5,960	0,236	3,962	13,303	0,471	3,540
Pintura com impermeabilizante	5,323	0,140	2,623	12,005	0,259	2,161
Pintura com impermeabilizante e lixado	5,363	0,396	7,385	12,042	0,728	6,044
Adição de impermeabilizante	6,141	0,428	6,969	14,037	0,893	6,365
Adição de Sílica Ativa	4,992	0,292	5,849	11,291	0,612	5,422

DP : Desvio padrão (%); CV: Coeficiente de variação (%).

Para a análise da significância das variáveis controláveis, os tratamentos, foi realizada uma Análise de Variância (ANOVA) com fatorial cruzada a partir do *software* Statistica 7. Os resultados são apresentados nas Tabela 12, para o ensaio de absorção de água aos 28 dias.

Tabela 12 – Análise de variância (ANOVA) – Absorção de água

Efeitos	SQ	GL	SQF	Teste F	p	Sig.
Intercept	617,341	1	617,341	6166,670	0,000000	-
Tratamento	3,659	4	0,915	9,139	0,000602	Sim
Error	1,502	15	0,100			-

SQ: Soma quadrática; GL: graus de liberdade (n-1); SQF: média quadrática; Teste F(calc): valor calculado de F; p: nível de significância; Se $p < 5\%$ = efeito significativo.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

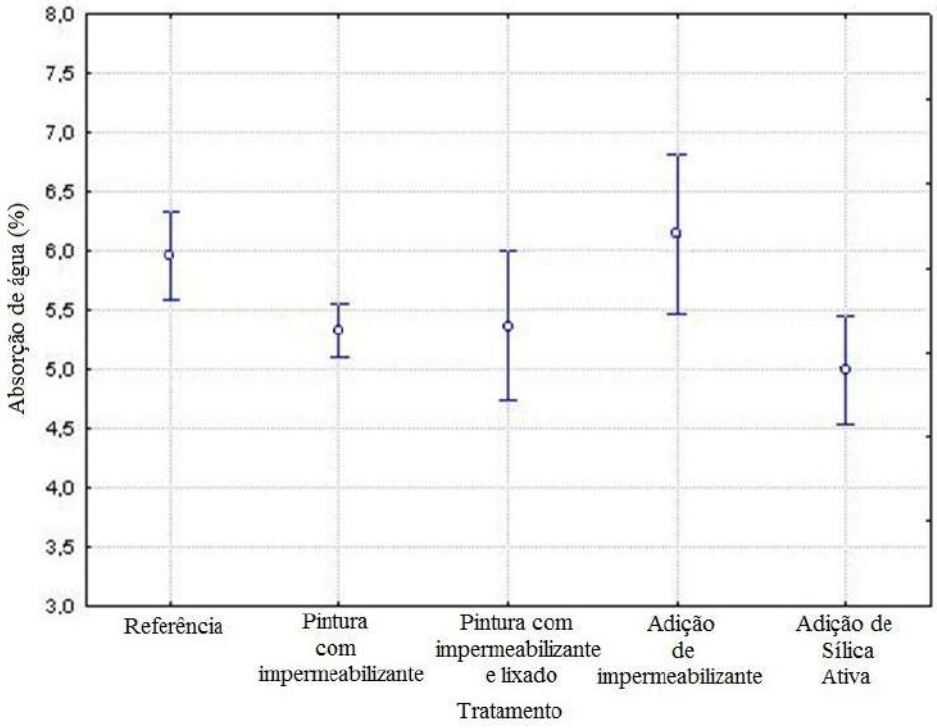

Figura 6: Absorção de água aos 28 dias dos concretos com diferentes tratamentos superficiais

Analisando a Figura 6, observa-se que a utilização do IC através da pintura reduz a absorção de água tanto para as amostras que sofreram o processo de lixamento quando para as que não foram submetidas a este processo. A adição do IC no concreto aumentou a absorção de água se comparado com o concreto de referência. Este fato pode estar ligado a uma mudança de dimensão dos poros capilares do concreto. Já a adição de sílica atíva se mostrou mais eficiente que os outros métodos, visto que apresentou a maior redução na absorção de água. A partir da realização do teste F de Fisher é possivel verificar que apenas as amostras que utilizaram o IC como pintura e sofreram o lixamento não foram consideradas significativas, as demais todas são significativas se comparadas com o concreto de referência.

Assim, como para absorção de água foi feita a análise da significância das variáveis controláveis, os tratamentos, foi realizada uma Análise de Variância (ANOVA) com fatorial cruzada a partir do *software* Statistica 7. Os resultados são apresentados na Tabela 13, para o índice de vazios.

Tabela 13 – Análise de variância (ANOVA) – Índice de vazios

Efeitos	SQ	GL	SQF	Teste F	p	Sig.
Intercept	3142,956	1	3142,956	7890,085	0,000000	-
Tratamento	19,666	4	4,917	12,343	0,000122	Sim
Error	5,975	15	0,398	-	-	-

SQ: Soma quadrática; GL: graus de liberdade (n-1); SQF: média quadrática; Teste F(calc): valor calculado de F; p: nível de significância; Se p < 5% = efeito significativo.

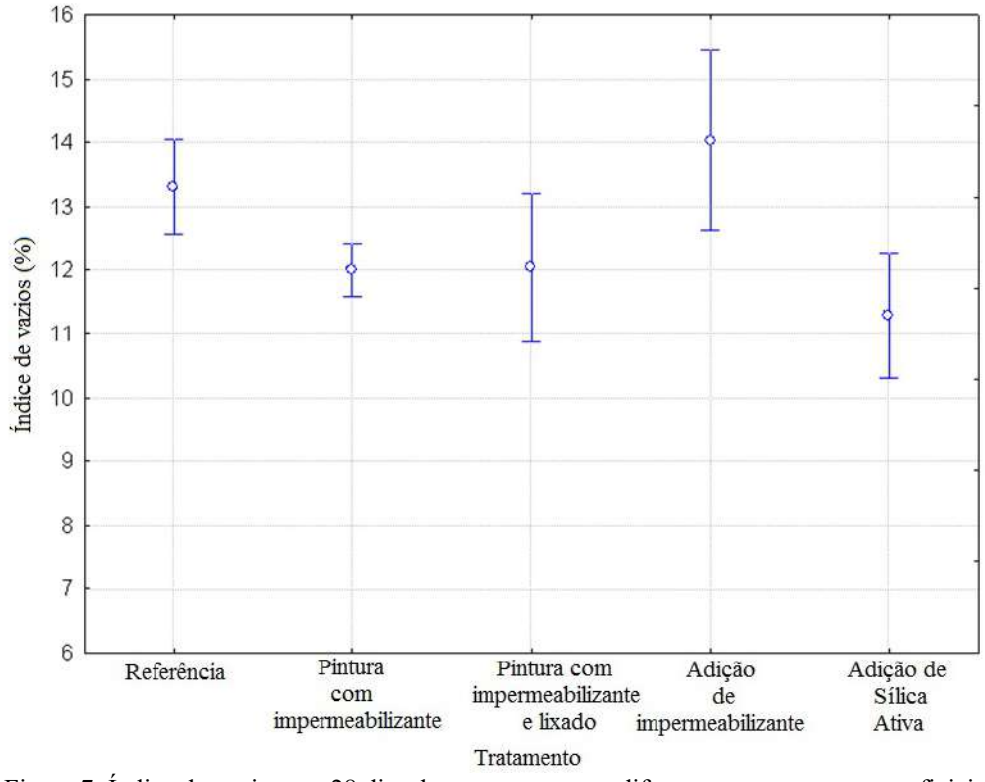

Figura 7: Índice de vazios aos 28 dias dos concretos com diferentes tratamentos superficiais

Analisando a Figura 7 observa-se que o índice de vazios apresenta o mesmo comportamento que a absorção de água, portanto as análises também são as mesmas.

3.1.2 Massas Específicas

Com ensaio de absorção total também é possível calcular as massas específicas, sendo a massa específica da amostra seca (ρs), massa específica da amostra saturada (ρsat) e massa específica real (ρr). No entanto, analisando a Tabela 14 percebe que essas não tiveram diferenças significativas.

Tabela 14 – Massas específicas (g/cm³)

Tratamentos utilizados	Médias Massas específicas (g/cm³)		
	Amostra seca (ρs)	Amostra saturada (ρsat)	Real (ρr)
Referência	2,233	2,366	2,575
Pintura com impermeabilizante	2,256	2,376	2,563
Pintura com impermeabilizante e lixado	2,247	2,368	2,555
Adição de impermeabilizante	2,286	2,427	2,660
Adição de Sílica Ativa	2,262	2,375	2,550

3.2 Penetração de água sob pressão

Através da realização deste ensaio é possivel analisar a permeabilidade dos concretos. Na Tabela 15 constam as médias das áreas molhadas dos quatro corpos-de-prova ensaiados para cada tipo de concreto estudado.

Tabela 15 – Média da área molhada de penetração de água sob pressão

Tratamentos utilizados	Penetração de água sob pressão		
	Média Área Molhada (%)	DP (%)	CV (%)
Referência	57,496	9,166	15,941
Pintura com impermeabilizante	100,000	0,000	0,000
Pintura com impermeabilizante e lixado	53,045	3,899	7,350
Adição de impermeabilizante	63,844	1,502	2,352
Adição de Sílica Ativa	51,904	2,960	5,703

DP : Desvio padrão; CV: Coeficiente de variação.

Analisando a Tabela 15 precebe-se que o concreto no qual recebeu o tratamento superficial do impermeabilizante como pintura não permitiu a passagem do vapor de água, retendo o líquido em todo corpo-de-prova, isso não era o esperado, visto que a função do impermeabilizante por cristalização é impedir a penetração de água e permitir a passagem de vapor. No entanto, o concreto que recebeu o tratamento superficial do impermeabilizante como pintura e após passou por processo de lixamento manual, permitiu a evaporação do vapor de água absorvida durante o ensaio. Logo o lixamento é benéfico, pois permite a permeabilidade ao vapor.

Quando analisado a utilização do impermeabilizante por cristalização como adição, o mesmo também permitiu a evaporação do vapor de água assim como a adição de silica ativa, no entanto, essa se mostrou mais eficiente. Visto que, se analisarmos somente a utilização do impermeabilizante por cristalização entre suas variações de utilizações, observa-se que a aplicação por meio de pintura é mais eficiente que a adição, desde que a pintura recebe processo de lixamento.

4. CONCLUSÕES

De acordo com o estudo que analisou a permeabilidade do concreto por meio dos métodos experimentais absorção total - NBR 9778 (ABNT, 2009), penetração de água sob pressão (30kPa), e em paralelo o ensaio de resistência à compressão – NBR 5739 (ABNT, 2007), constatou-se que a adição de sílica ativa foi a solução que apresentou melhor desempenho, aumentando a resistência à compressão, reduzindo a absorção de água e o índice de vazios. Visto que, o impermeabilizante por cristalização para o ensaio de resistência à compressão se mostrou eficiente quando utilizado como adição na mistura do concreto, mas não influenciou na resistência quando aplicado como tratamento supercial. O produto impermeabilizante por cristalização quando analisado em relação aos ensaios de absorção e penetração de água, mostra-se melhor que o concreto referência, tanto como adição quanto como tratamento superficial, ambos contribuem para a diminuição da permeabilidade, e notou-se que o processo de lixamento é benéfico para o desempenho do produto impermeabilizante quando empregado superficialmente no concreto. Para tanto, o produto impermeabilizante por cristalização na maioria dos casos teve melhor desempenho que o concreto referência, mas quando este é comparado com a sílica ativa para os materiais e o traço estudado, verifica-se que o uso de sílica ativa como adição foi a melhor solução frente ao aumento da durabilidade do concreto.

5. AGRADECIMENTOS

Queremos agradecer a empresa Queiroz Galvão pela doação dos materiais utilizados nesse trabalho e ao Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação (NORIE) por disponibilizar o Laboratório de Materiais e Tecnologia do Ambiente Construido (LAMTAC) para a realização da pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

[1] Andrade, T. - *Tópicos sobre Durabilidade do Concreto.* Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. 1. ed. São Paulo: IBRACON, 2005. cap. 25, p. 753-92.
[2] Ribeiro, D.V. *et al.* - *Corrosão em Estruturas de Concreto Armado: Teoria, Controle e Métodos de análise*. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. cap. 3, p. 38.
[3] Andrade, J. J. O. - *Durabilidade de Estruturas de Concreto Armado: Análise das Manifestações Patológicas nas Estruturas no Estado de Pernambuco.* Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1997. p. 148.
[4] John, V.M. - *Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição para metologia de pesquisa e desenvolvimento.* Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Civil. São Paulo, 2000. p. 113.
[5] Mehta, P.K.; Monteiro, P.J.M. - *Concreto: estrutura, propriedades e materiais*. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014. cap. 5, p. 125.
[6] Aïtcin, P.C. – *The durability characteristics of high performance concrete: a review.* Cement and Concrete Composites, 2003. v. 25, n. 4-5. p. 409-420.
[7] Andrade, C. - *Manual para Diagnóstico de Obras Deterioradas por Corrosão de Armaduras.* São Paulo: PINI, 1992. p.103.
[8] Neville, A. - *Propriedades do Concreto.* Ed. PINI, 2. ed. São Paulo, 1997. p.828.