

DEGRADAÇÃO DO CONCRETO: ANÁLISE DA EFICÁCIA DE AGENTES PREVENTIVOS

SILVA, Jhuly Ene Pires da¹

NASCIMENTO, Pedro Victor Canêdo²

OLIVEIRA, Ana Paula de³

Resumo

O concreto é o segundo material mais consumido pela construção civil no mundo, devido, principalmente, à sua grande fluidez inicial, no estado fresco e alta resistência mecânica em estado endurecido. Apesar da ampla utilização do material, o número de colapsos envolvendo a durabilidade de estruturas de concreto armado ainda é recorrente. Em contrapartida, no Brasil, ainda não há uma normatização específica para avaliação da vida útil e durabilidade do concreto. Em sua maioria as manifestações patológicas presentes nas estruturas de concreto armado, estão ligadas à agressividade do meio de inserção e as vulnerabilidades do material diante desse, sendo os gastos com reparos corretivos altamente críticos e onerosos. Tendo em vista essas preocupações, o presente trabalho tem o objetivo de comparar o desempenho dos agentes preventivos sílica ativa e nanossílica, bloqueadores de poros e resina acrílica epóxi, em termos de durabilidade, no que se refere às manifestações patológicas que usualmente acometem as estruturas de concreto armado, a saber: corrosão da armadura por ataque de cloretos, carbonatação e desgaste por abrasão. Para isso, foi realizada uma revisão da literatura. Foram selecionadas pesquisas de diferentes autores que abordaram, em específico, os ensaios de: Abrasão Los Angeles, carbonatação acelerada, difusão de cloretos e resistividade elétrica, para concretos elaborados com e sem os agentes preventivos selecionados. As pesquisas foram selecionadas, lidas, e os resultados comparados e analisados. Ao final, a partir dos resultados, pôde-se verificar a eficácia dos métodos preventivos adotados, para os agentes agressivos selecionados, classificando a ação conjunta de dois agentes avaliados como a prevenção mais efetiva e viável, de modo a prolongar a vida útil das estruturas e minimizar os custos de retrabalho em reparos.

Palavras-chave: Concreto. Durabilidade. Sílica ativa. Nanossílica. Bloqueadores de Poros. Resina epóxi.

Abstract

Concrete is the second most consumed material by civil construction in the world, mainly due to its great initial fluidity in the fresh state and high mechanical resistance in the hardened state. Despite the wide use of the material, the number of collapses involving the durability of reinforced concrete structures is still recurrent. On the other hand, in Brazil, there is still no specific standard for assessing the useful life and durability of concrete. Most of the pathological manifestations present in reinforced concrete structures are linked to the aggressiveness of the insertion medium and the material's vulnerabilities in the face of it, with

1Curso de Engenharia Civil, FacMais - Faculdade de Inhumas, Brasil.

2Curso de Engenharia Civil, FacMais - Faculdade de Inhumas, Brasil.

3Coordenação do Curso de Engenharia Civil, FacMais - Faculdade de Inhumas, Brasil. Email: anaoliveirapereira@facmais.edu.br.

expenditure on corrective repairs being highly critical and costly. In view of these concerns, the present work aims to compare the performance of the preventive agents silica fume and nanosilica, pore blockers and epoxy acrylic resin, in terms of durability, with regard to the pathological manifestations that usually affect the structures of reinforced concrete, namely: reinforcement corrosion due to chloride attack, carbonation and abrasion wear. For this, a literature review was carried out. Research by different authors was selected and specifically addressed the following tests: Abrasion Los Angeles, accelerated carbonation, chloride diffusion and electrical resistivity, for concretes prepared with and without the selected preventive agents. Surveys were selected, read, and the results compared and analyzed. In the end, based on the results, it was possible to verify the best preventive method adopted for the selected aggressive agents, classifying the joint action of two agents evaluated as the most effective and viable prevention, in order to prolong the useful life of the structures and minimize rework costs on repairs.

Keywords: Concrete. Durability. Silica fume. Nanosilica. Pore Blockers. Epoxy resin.

1. Introdução e objetivos

Conforme Mehta e Monteiro (2008), o concreto é um material acessível e amplamente utilizado no Brasil e no mundo, destacando-se por diversas características como sua versatilidade, plasticidade e resistência. Apesar da ampla utilização do material, o surgimento de manifestações patológicas como a corrosão das armaduras por carbonatação ou ataque de cloretos e o desgaste por abrasão ainda é recorrente, e pode levar as estruturas ao colapso estrutural.

Conforme a NBR ABNT 6118 (2014), o grau de agressividade ao qual a estrutura está inserida impacta diretamente em sua durabilidade. Como o ambiente não pode ser alterado, a melhor opção, para aumento da durabilidade da estrutura, é a implementação de fatores que dificultam o contato de agentes deletérios com o interior do concreto armado.

De acordo com Ollivier e Torrenti (2014), em sua literatura, o concreto possui uma estrutura heterogênea complexa formada basicamente pela pasta (água e cimento) e agregados (areia e brita), podendo ainda conter adições e aditivos químicos. Além disso, ele possui três fases: líquida, gasosa e sólida. A fase sólida é constituída de vazios que podem estar abertos, fechados ou abertos interconectados.

No que se refere à durabilidade do concreto, os vazios abertos e interconectados são preocupantes, uma vez que interferem na estanqueidade do material. Eles formam um caminho aberto e livre para a entrada de agentes deletérios, como os íons cloro e CO_2 , sendo conduzidos do exterior, até o alcance da armadura (CASCUDO, 2000). Além disso, de forma complementar, a elevada porosidade e consequentemente menor aderência na zona de transição, interface das grandes partículas de agregado com a pasta de cimento, expõe outro

fator de vulnerabilidade. Em regiões de alta solicitação, o atrito seco provocado pelo peso, arraste ou impacto de materiais provocará o desgaste por abrasão (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Sabe-se que o tratamento corretivo de manifestações patológicas tende a ser crítico e oneroso, assemelhando-se, segundo Medeiros, Andrade e Helene (2011) aos custos de novas construções em países desenvolvidos. Além disso, a realização incorreta ou tardia, tanto do diagnóstico, quanto do reparo, pode levar a estrutura ao colapso. Dessa forma, recomenda-se que métodos preventivos sejam utilizados (MARQUES, 2015).

Diante do exposto, existem alguns fatores que dificultam a degradação das estruturas de concreto, aumentando assim a sua durabilidade. Estes estão relacionados a alteração da microestrutura do material e a utilização de agentes protetivos superficiais externos. No que se refere à microestrutura do concreto, ela pode ser melhorada por meio do uso de adições minerais pozolânicas, como a sílica ativa (SA) e a nanosílica (NS). Elas atuam densificando a microestrutura, reduzindo poros interconectados por meio do efeito físico de preenchimento dos poros e químico, referente ao aumento da quantidade de silicato de cálcio hidratado, dentro da matriz cimentícia (OLIVEIRA, 2019).

No que se refere aos agentes preventivos externos, as tintas acrílicas à base de resina epóxi e os bloqueadores de poros atuam de modo a formar uma película protetora menos porosa na superfície do material. Os bloqueadores de poros minimizam a permeabilidade de agentes deletérios, como o CO₂ e os íons cloretos, já a resina epóxi atua também reduzindo a porosidade e, além disso, como uma camada de sacrifício mais resistente em relação ao desgaste físico por abrasão.

Dessa forma, objetivou-se com esta pesquisa avaliar o desempenho dos agentes preventivos adições (SA) e (NS), bloqueadores de poros e resina acrílica epóxi, em termos de durabilidade, no que se refere às manifestações patológicas a saber: corrosão da armadura por ataque de íons cloro, carbonatação e desgaste por abrasão. Para isso, foi realizada a avaliação por meio da revisão de literatura, com os estudos de comparação e análise do desempenho dos materiais citados, conforme os resultados dos autores, no que tange aos ensaios de abrasão Los Angeles, carbonatação acelerada, difusão de cloretos e resistividade elétrica.

Para o alcance dos objetivos foi realizada busca exploratória dos artigos priorizando os classificados para área de conhecimento, definida pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), com Quális A1 para engenharia 1 e publicados entre os anos de 2015 e 2021, nacionais e internacionais em línguas portuguesa e inglesa, buscando

sempre a leitura de pesquisas mais atuais sobre o tema. Posteriormente, foi realizada uma filtragem para seleção das pesquisas que foram, de fato, lidas integralmente aos objetivos propostos. Essa filtragem levou em conta, exclusivamente, os critérios detalhados anteriormente, sendo ainda levada em consideração a não duplicidade de pesquisas. A quantidade final de pesquisas selecionadas para leitura foi definida de acordo com o escopo apresentado e tempo total disponível para a finalização do trabalho.

Após a leitura crítica, os resultados obtidos foram expressos em termos de porcentagens de incremento ou redução, que foram calculadas a partir da comparação entre o concreto convencional, sem a utilização de adições, bloqueadores de poros ou resina epóxi e o concreto contendo os agentes preventivos ou profiláticos. Para a análise dos dados e das porcentagens de incremento ou redução foram utilizados softwares para criação de planilhas. Sendo por fim, possível estabelecer qual método preventivo apresenta melhor desempenho, em termos de durabilidade, corroborando, assim, com o aumento da vida útil das estruturas estudadas, submetidas a condições degradantes.

Nos gráficos e tabelas apresentados foram utilizados algumas siglas para síntese das informações e melhor compreensão. Posto isso, onde houver a representação C seguida por número, estará indicada pelo número a relação entre a quantidade de água e ligante utilizados multiplicada por 0,01. Se a sigla anterior for seguida por um traço, para o concreto convencional haverá a sigla (Ref.), enquanto, para os concretos com adições haverá um número indicando os teores de adições (%). Para os agentes preventivos serão utilizadas as seguintes representações: SA, NS, RE, H e BP, indicando sílica ativa, nanossílica, resina epóxi, hidrofugante e bloqueadores de poros respectivamente.

2. Revisão de literatura

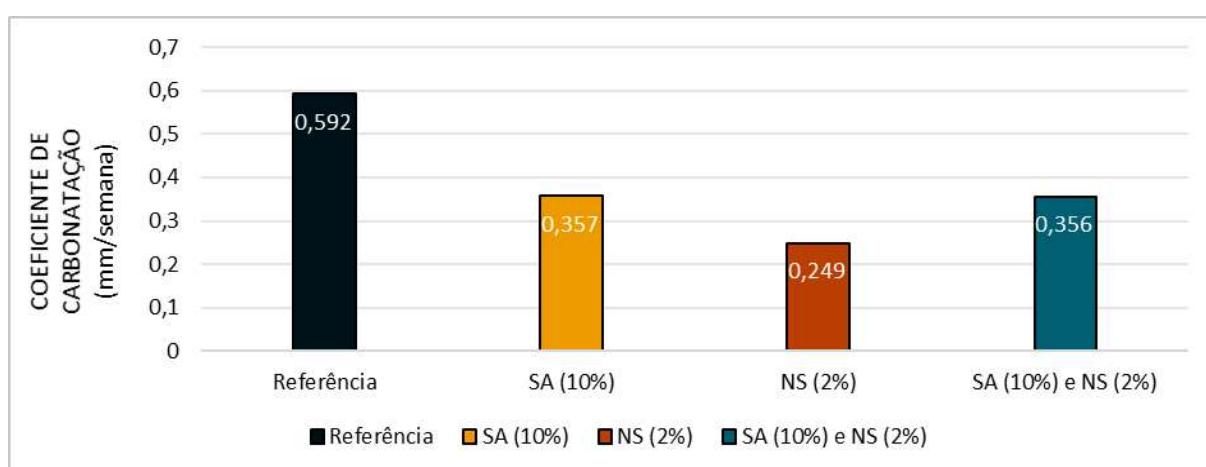
Neste item são apresentados e comparados os resultados encontrados pelos diferentes autores, referentes aos ensaios de carbonatação acelerada, resistividade elétrica, difusão de cloretos e abrasão, realizados em concretos fabricados com os agentes preventivos a saber: (SA), (NS), resina epóxi e bloqueadores de poros. Tal análise busca uma melhor avaliação do desempenho destes agentes em relação a durabilidade de concretos, sujeitos a ambientes agressivos, objetivo desta pesquisa, frente a formas de degradação do concreto.

2.1. Análise quanto à frente de carbonatação

2.1.1. Sílica Ativa e Nanossílica

Souza (2021) realizou o ensaio de carbonatação acelerada para traços de concreto elaborados com adição de SA (10%) e NS (2%), e relação entre água e ligante (a/lig) 0,4. Para melhor comparação dos resultados, a autora os converteu em coeficientes de carbonatação, de modo a possibilitar uma melhor análise comparativa entre os resultados. A Figura 1 a seguir apresenta os coeficientes obtidos referentes ao ensaio de carbonatação acelerada.

Figura 1: Análise da variação do coeficiente de carbonatação em relação à adição e substituição de sílica ativa.

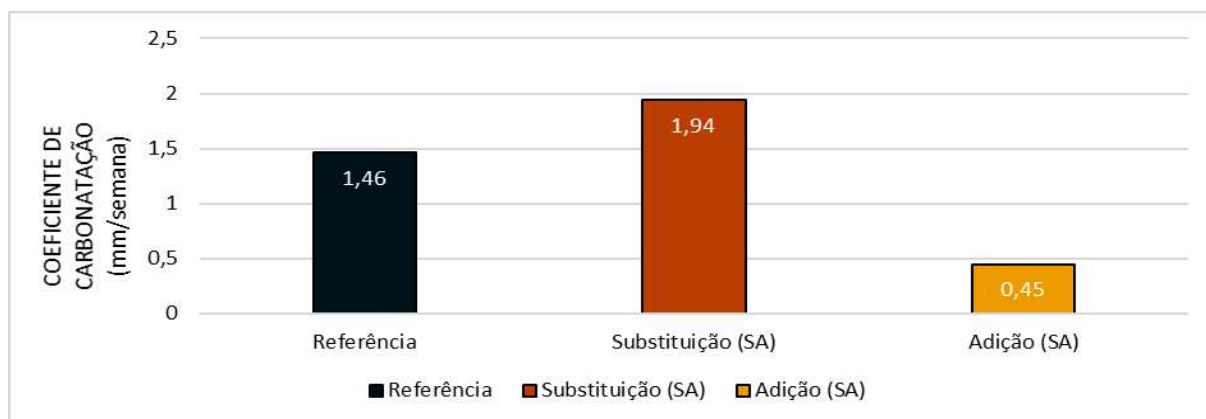


Fonte: Souza, 2021. Adaptado.

A Figura 1 evidencia a redução significativa verificada nos coeficientes de carbonatação dos concretos fabricados com adições, especialmente aquele fabricado com NS. Em comparação à referência, pode-se observar uma redução de 57,94% para concretos com NS, 39,86% para aqueles com NS e SA e para aqueles fabricados apenas com sílica ativa 39,70%. O concreto de referência apresentou o maior coeficiente de carbonatação.

A pesquisa apresentada por Hoppe, Medeiro e Raisdorfer (2017), obteve resultados diferentes para concretos convencionais e fabricados com adição de SA (10%). Foi verificado pelo autor a substituição parcial de SA no cimento portland e a adição com mesmo teor de SA, como forma de avaliar o desempenho em cada caso, os resultados podem ser verificados na figura 2, a seguir.

Figura 2: Análise da variação do coeficiente de carbonatação em relação à adição e substituição de sílica ativa.



Fonte: Hoppe, Medeiro e Raisdorfer, 2017. Adaptado.

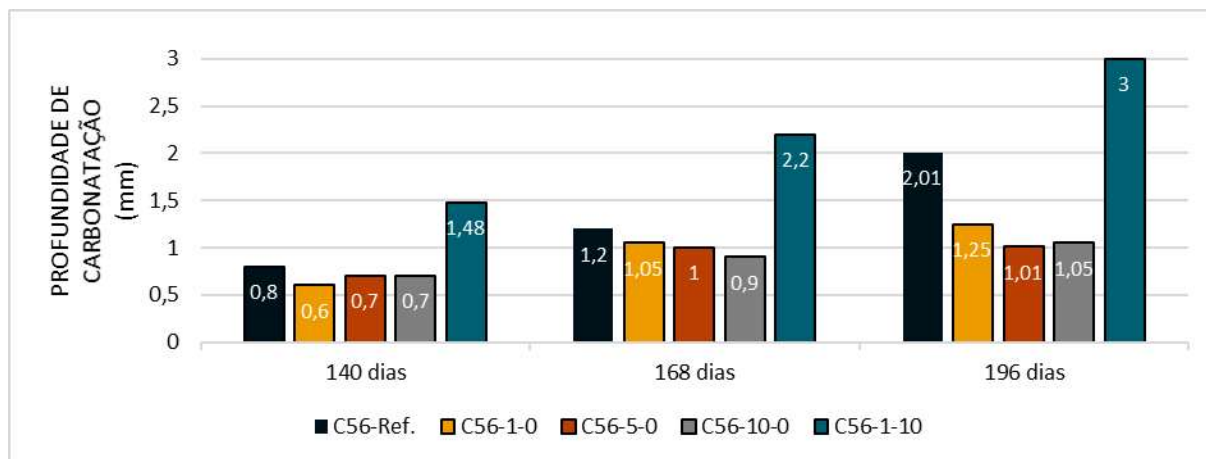
Na figura 2 pode ser observado, que a substituição de SA (10%) gerou uma ampliação de 32% na velocidade da carbonatação. Isso devido às adições pozolânicas reagirem com o hidróxido de cálcio (CH) presente no concreto diminuindo a alcalinidade do meio.

Por outro lado, ao se adicionar SA (10%) no concreto, não substituindo pelo cimento, promoveu uma redução na velocidade de carbonatação de 69%. Sendo assim, o autor cita que o uso da adição pozolânica promoveu um acréscimo na reserva de alcalina, modificando o traço do concreto e gerando uma maior quantidade de aglomerantes na composição final do concreto, se comparada com o traço da substituição. Dessa forma, alterando a zona de transição e a microestrutura da matriz cimentante e promovendo menor velocidade de carbonatação no concreto.

Santos (2019), realizou o ensaio de carbonatação acelerada para concretos fabricados com a dição NS, em composição binária (nos teores de 1%, 5% e 10%) e em composições ternárias de NS (1%) e SA (10%), todas com relação a/lig 0,56. Os ensaios foram realizados nas idades de 140, 168 e 196 dias.

Os resultados obtidos pelo autor mostram que o traço com composição ternária de SA (10%) e NS (1%) apresentou a maior frente a carbonatação, em todas as idades avaliadas (Figura 3). Em média de 1 milímetro de avanço da carbonatação, quando comparado ao concreto referência (sem adições) (SANTOS, 2019).

Figura 3: Profundidade de carbonatação com relação a/agl. Igual a 0,56.

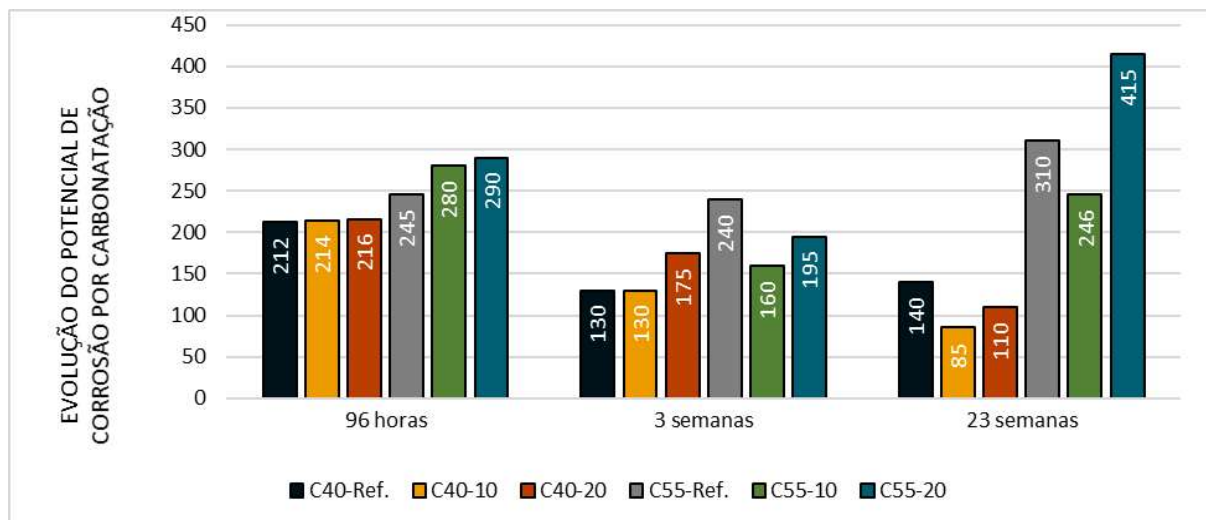


Fonte: Santos, 2019. Adaptado.

A Figura 3, evidencia um acréscimo significativo na carbonatação dos concretos com adições ternárias (C56-1-10), sendo o maior percentual na idade de 140 dias, onde constatou-se um aumento 85% na profundidade da carbonatação, em comparação ao concreto referência (C56-Ref). Sendo o resultado que obteve a maior taxa de avanço frente a carbonatação. Em comparação à referência, pode-se observar reduções em todas as idades para os concretos apenas com adição de SA (C56-10-0, C56-1-0 e C56-5-0). Sendo, na idade de 196 dias, identificadas as reduções de 37,81% para o concreto com SA (1%), 47,76% para os fabricados apenas com SA (10%) e 49,75% para aqueles com SA (5%). Nesse último obteve-se o melhor resultado na redução da frente de carbonatação.

Vieira (2003), realizou o ensaio de carbonatação acelerada para verificar a corrosão das armaduras para concretos elaborados com a/lig de 0,40 e 0,55 e adição de SA nos teores de 0%, 10% e 20%, para cada relação a/lig. Os resultados obtidos por meio dos ensaios, comprovaram uma relação diretamente proporcional entre o aumento dá a/lig e da frente a carbonatação.

Figura 4: Evolução do potencial de corrosão por carbonatação.



Fonte: Vieira, 2003. Adaptado.

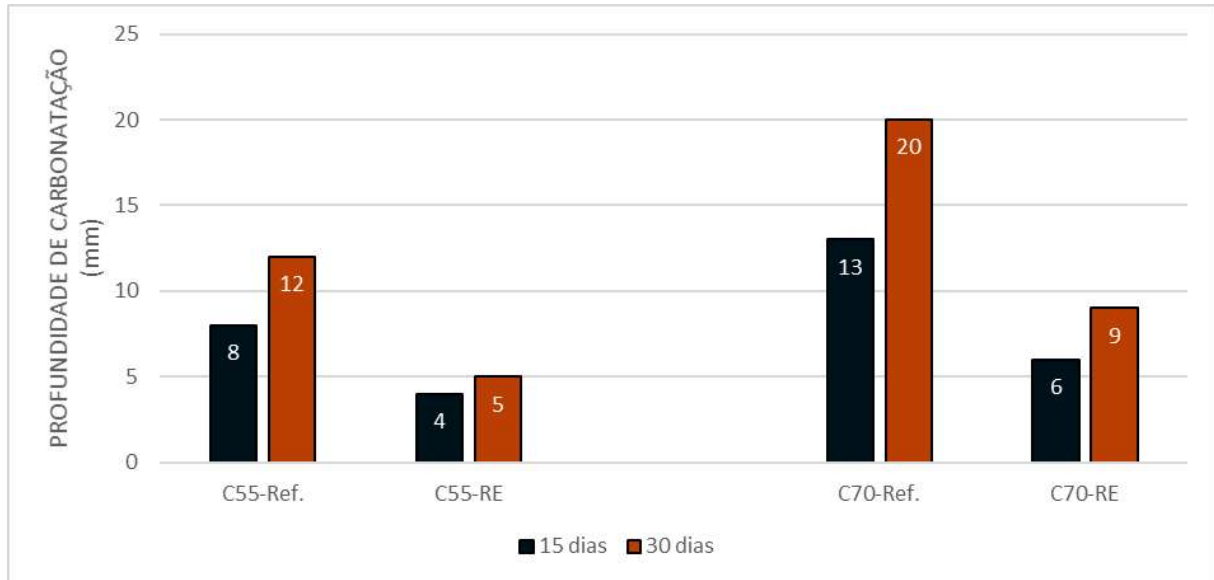
A Figura 4 acima, evidencia um acréscimo significativo na carbonatação dos concretos com adições de SA (20%), apresentando aumento do potencial de corrosão por carbonatação em, pelo menos, duas idades, dentro das três avaliações para cada relação a/lig. Porém o resultado mais crítico apresentou um aumento de 33,87% no potencial de corrosão por carbonatação, após 23 semanas, quando em comparação ao concreto referência, ambos com a/lig. 0,55. Sendo o resultado que obteve a maior taxa de avanço da carbonatação. Para esta mesma relação a/lig, concretos fabricados com SA (10%), apresentaram uma redução de 20,65% na frente de carbonatação. Por outro lado, para os concretos com relação a/lig 0,40, em comparação à referência, pode-se observar uma redução de 39,29% para o concreto com SA (10%) evidenciando a melhor redução do potencial de corrosão por carbonatação, também em 23 semanas. Para aqueles com SA (20%), também nessa idade, foi verificada uma redução de 21,43%.

2.1.2. Epóxi

Carvalho (2015), realizou o ensaio de carbonatação acelerada para concretos com tratamento superficial de resina epóxi nas ligações a/lig 0,55 e 0,70, em idades de 15 e 30 dias. Os resultados dos ensaios podem ser visualizados na Figura 5, a seguir. Para isso, foram utilizadas siglas para cada traço de concreto avaliado, onde na primeira parcela da sigla se refere às relações a/lig apresentadas 0,55 e 0,70 (C55 e C70). E posteriormente ao traço, para

o concreto referência tem-se a sigla (Ref.), enquanto para os concretos com tratamento superficial à o nome do agente preventivo aplicado, nesse caso a resina epóxi tem-se a sigla (RE).

Figura 5: Profundidade de carbonatação (mm) com a utilização da resina epóxi.

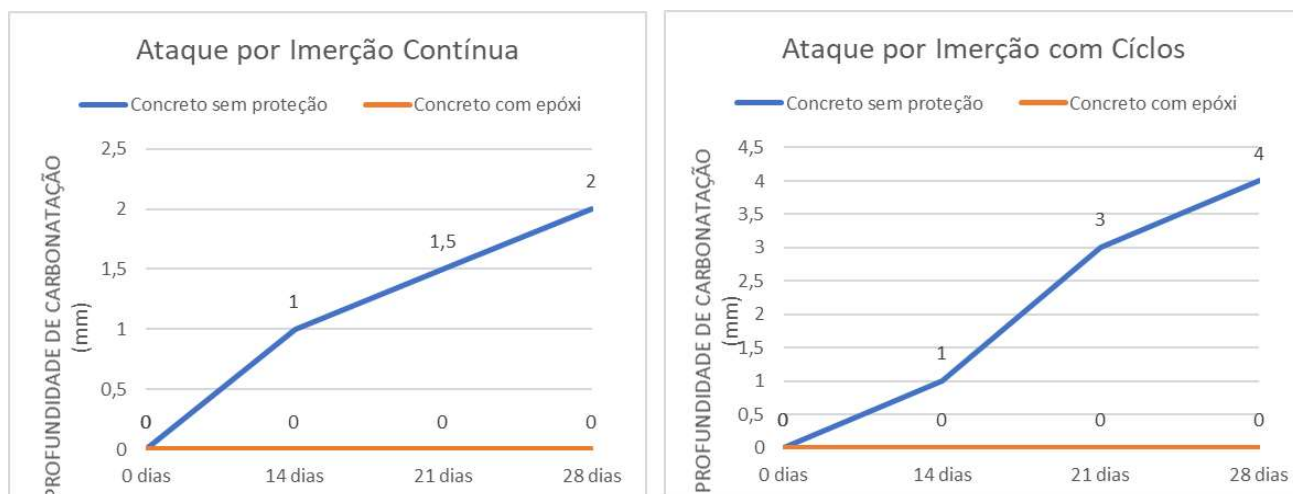


Fonte: Carvalho, 2015. Adaptado.

A Figura 5 acima, evidenciou que a utilização da resina epóxi em ambas as a/lig apresentou significativa redução da frente de carbonatação do concreto. Sendo quantificada para o concreto elaborado na a/lig. 0,50 um decréscimo de 50% e 58,33%, aos 15 e 30 dias de cura, respectivamente. Enquanto para as mesmas idades, na a/lig 0,70, houve uma redução de 53,85% e 55%, ambas comparadas ao concreto referência, sem tratamento superficial com resina epóxi.

Condé (2016), realizou o ensaio de carbonatação acelerada em concreto com tratamento superficial de resina epóxi, em relação a um concreto referência. Os corpos de prova foram colocados na solução de ácido clorídrico a 5,0% através de duas situações: em imersão contínua ou em ciclos de secagem e molhagem do corpo de prova. Os ensaios foram realizados aos 14, 21 e 24 dias, após o ataque químico com ácido, em nenhum deles foi identificada frente de carbonatação nos concretos com epóxi, conforme a Figura 6 a seguir.

Figura 6: Profundidade de carbonatação (mm) com a utilização da resina epóxi.



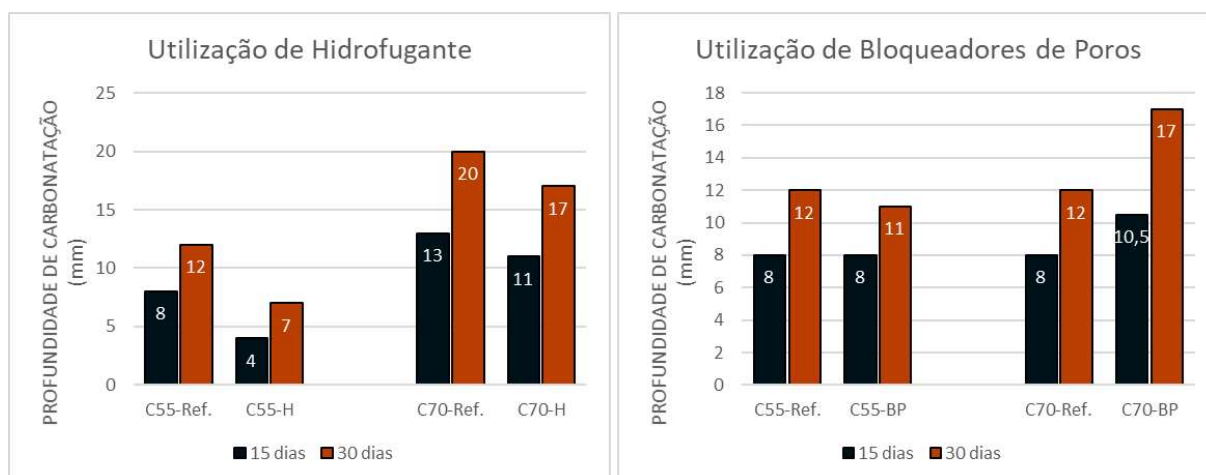
Fonte: Condé, 2016. Adaptado.

A Figura 6 constata que nos dois ensaios houve uma redução de 100% na profundidade de carbonatação, para concretos com tratamento superficial à base de resina epóxi, não apresentando nenhuma frente de carbonatação, se comparada com o concreto referência nas idades averiguadas.

2.1.3. Bloqueadores de Poros e Hidrofugantes

Carvalho (2015), realizou o ensaio de carbonatação acelerada em concretos elaborados com a/lig 0,55 e 0,70, nas idades de 15 e 30 dias. Neste ensaio foi utilizado um concreto de referência sem tratamento superficial, para comparação com um concreto com tratamento de base acrílica e uma camada de hidrofugante (silano/siloxano). Além desses, também foram apresentados resultados quando a utilização de bloqueadores de poros em concretos com a/lig. 0,55 e 0,70, como ilustra a Figura 7.

Figura 7: Profundidade de carbonatação (mm), com a utilização de Hidrofugantes e Bloqueadores de Poros.



Fonte: Carvalho, 2015. Adaptado.

A Figura 7 evidencia que houve uma redução pouco significativa na profundidade de carbonatação dos concretos fabricados com tratamento superficial por bloqueadores de poros, tendo ainda ocorrido acréscimo da profundidade de carbonatação de 31,25% e de 41,67%, aos 15 e 30 dias respectivamente, em relação ao concreto sem tratamento, ambos com a/lig 0,70. Por outro lado, para a relação a/lig 0,55, a frente de carbonatação manteve-se constante aos 15 dias e houve uma redução de 8,33% aos 30 dias, em relação com concreto referência.

Em comparação à referência, pode-se observar uma redução de 15% para concretos com tratamento superficial por hidrofugantes na relação a/lig de 0,70 aos 30 dias de idade, e de 41,67% na relação a/lig de 0,55 para mesma idade. A atuação dos bloqueadores de poros na relação a/lig 0,55 apresentou, conforme descrito, uma redução comparativa pouco considerável de 8,33% aos 30 dias.

2.1.4. Análise global dos resultados verificados quanto à frente de carbonatação

Os resultados foram comparados de acordo com o percentual de incremento ou redução obtido em cada ensaio em relação ao agente preventivo utilizado. A Figura 8, a seguir, apresenta os autores citados correlacionando os traços utilizados e resumindo os resultados em positivos (redução da frente de carbonatação) ou negativos (aumento da frente de carbonatação) para os ensaios de carbonatação acelerada. Ressalta-se que, para os autores Santos (2019) e Vieira (2003) foram apresentados apenas os maiores percentuais obtidos, de modo a minimizar o número de informações e dados para se tornar mais claro o entendimento.

Nas Figura 8 e 9 foram utilizadas siglas para cada traço de concreto avaliado, que representam os agentes preventivos utilizados. Posteriormente essas siglas foram enumeradas, sendo o número uma referência do autor e dos ensaios realizados (sub-números, quando maior que 1).

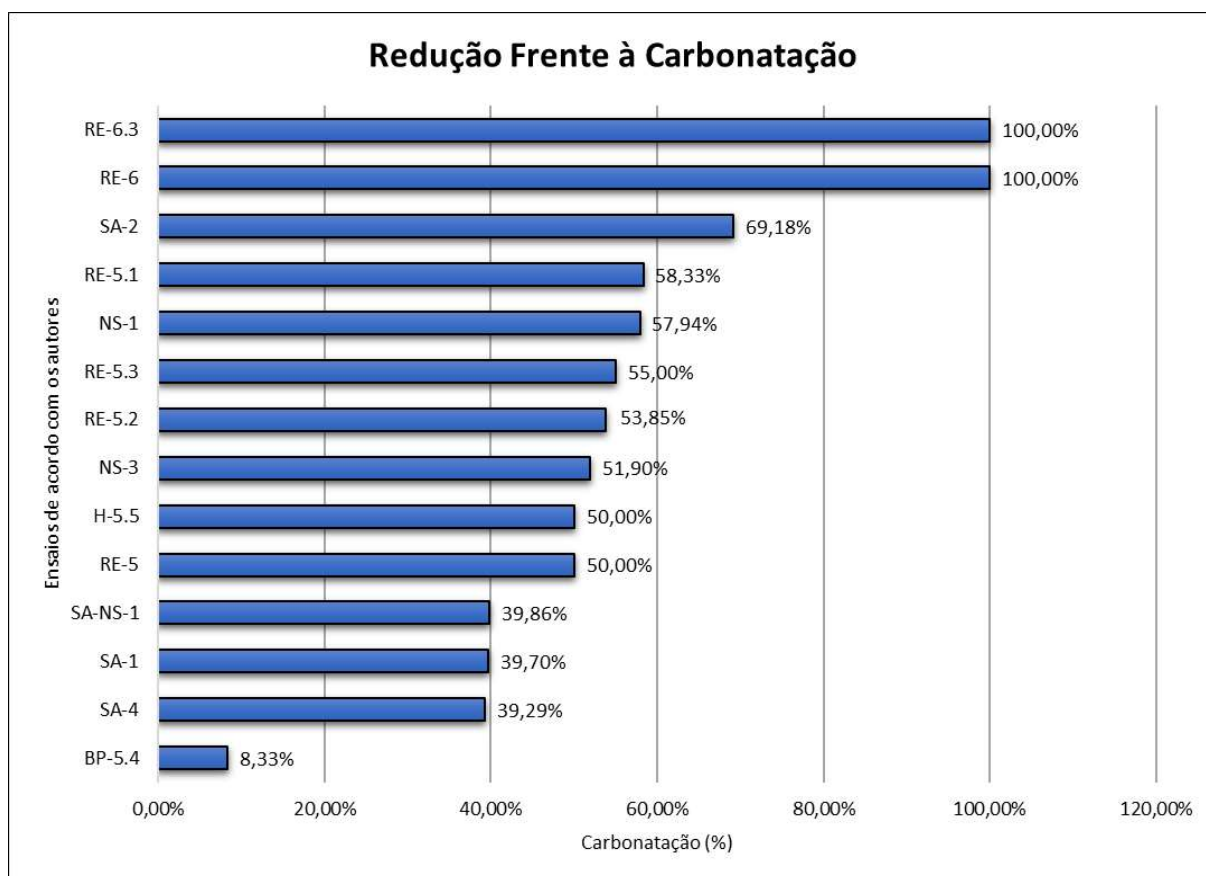
Figura 8: Quadro comparativo frente aos ensaios de carbonatação acelerada.

REDUÇÃO FRENTE À CARBONATAÇÃO ACELERADA						
Representação Gráfica	Autor	a/lig	Agente Preventivo Utilizado	Especificações	Redução frente a Carbonatação	%
SA-1	Souza (2021)	0,40	Sílica Ativa	SA (10%)	Redução	39,70%
NS-1	Souza (2021)	0,40	Nanossílica	NS (2%)	Redução	57,94%
SA-NS-1	Souza (2021)	0,40	Sílica Ativa e Nanossílica	SA (10%) e NS (2%)	Redução	39,86%
SA-2	Hoppe, Medeiro e Ralsdorfer (2017)	0,45	Sílica Ativa	SA (10%)	Redução	69,18%
NS-3	Santos (2019)	0,56	Nanossílica	NS (5%)	Redução	51,90%
SA-4	Vieira (2003)	0,40	Sílica Ativa	SA (20%)	Redução	39,29%
RE-5	Carvalho (2015)	0,55	Tratamento Superficial	Resina Epóxi - 15 dias	Redução	50,00%
RE-5.1	Carvalho (2015)	0,55	Tratamento Superficial	Resina Epóxi - 30 dias	Redução	58,33%
RE-5.2	Carvalho (2015)	0,70	Tratamento Superficial	Resina Epóxi - 15 dias	Redução	53,85%
RE-5.3	Carvalho (2015)	0,70	Tratamento Superficial	Resina Epóxi - 30 dias	Redução	55,00%
BP-5.4	Carvalho (2015)	0,55	Tratamento Superficial	Bloqueadores de Poros - 30 dias	Redução	8,33%
H-5.5	Carvalho (2015)	0,55	Tratamento Superficial	Hidrofugante - 15 dias	Redução	50,00%
RE-6	Condé (2016)	0,56	Tratamento Superficial	Resina Epóxi - Imersão Contínua	Redução	100,00%
RE-6.3	Condé (2016)	0,56	Tratamento Superficial	Resina Epóxi - Imersão Ciclos	Redução	100,00%

Fonte: Silva e Canêdo, 2021.

A Figura 8 sintetiza os autores, agentes preventivos e ensaios realizados com os seus respectivos resultados através das percentagens de redução da frente da carbonatação. Dessa forma, visando complementar o entendimento, na Figura 9 a seguir são expostos os resultados percentuais, em ordem decrescente, para obtidos nos ensaios de carbonatação acelerada conforme os dados apresentados para cada autor. Sabe-se que, quanto maior é o percentual de redução da frente de carbonatação do concreto, melhor será o desempenho do agente preventivo utilizado, podendo assim, classificar qual apresentou a melhor eficácia e em qual a/lig.

Figura 9: Gráfico comparativo dos percentuais de redução frente a carbonatação.



Fonte: Silva e Canêdo, 2021.

A Figura 9 evidencia as porcentagens de redução da frente de carbonatação, relacionando os agentes preventivos utilizados e os autores considerados. Dentre os tratamentos superficiais todos apresentaram uma redução da frente de carbonatação, entretanto, a resina epóxi apresentou os melhores resultados de redução, dentro dos períodos analisados. Nota-se que os hidrofugantes e principalmente os bloqueadores de poros apresentaram resultados pouco significativos, sendo um dos piores casos.

Além da resina epóxi, evidenciam-se bons resultados para as adições de SA (10%) e NS (2%). Levando conta as adições, a maior redução foi de 69,18% utilizando adição SA (10%) a uma a/lig. de 0,45, enquanto a segunda melhor performance foi de 57,94% utilizando NS (2%) a uma relação a.lig 0,40. A composição ternária desses dois teores de adições SA (10%) e NS (2%) apresentou redução de 39,86%. Um desempenho cerca de 42,38% menor em relação a composição realizada unicamente com SA e 31,20% menor em relação a composição realizada unicamente com NS.

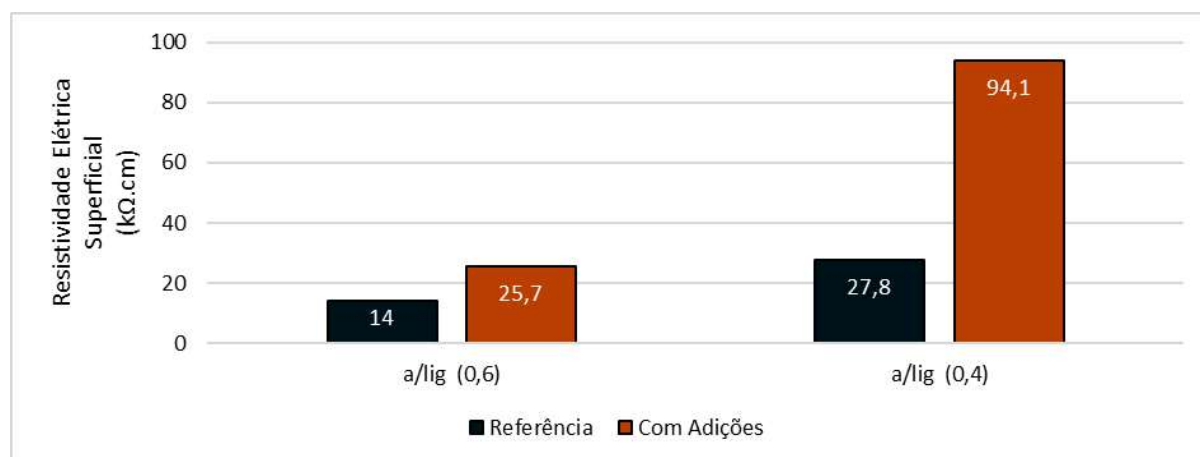
2.2. Análise quanto ao ataque por cloretos

2.2.1. Efeito da Silica Ativa e Nanossilica

Martins (2016) realizou os ensaios de resistividade elétrica superficial, penetrabilidade (C) e difusão de cloretos no estado não estacionário em concretos contendo adições de SA (9%) e NA (1%), com relação a/lig 0,4 e 0,6, aos 91 dias de idade. (Figura 10).

É interessante ressaltar que o aumento da resistividade elétrica implica em maior durabilidade ao concreto, isso porque a mesma está inversamente relacionada à permeabilidade do material frente a íons através da porosidade do mesmo.

Figura 10: Resistividade elétrica superficial média aos 91 dias.

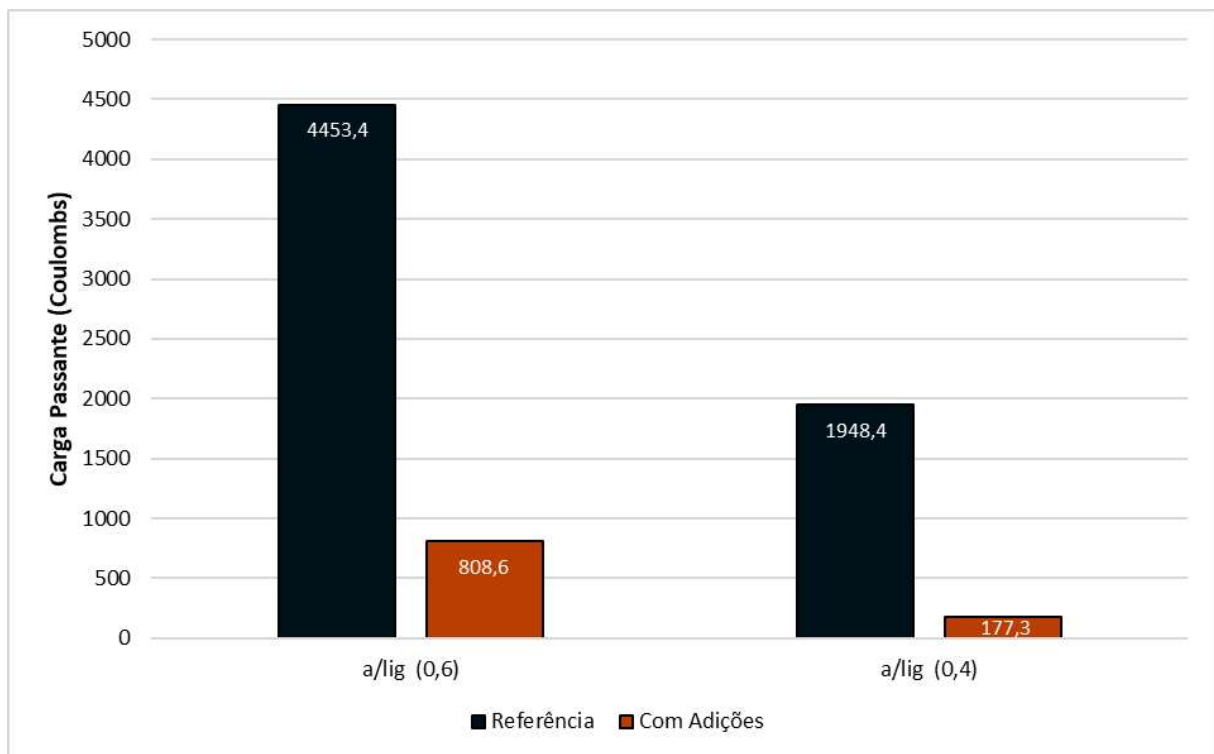


Fonte: Martins (2016). Adaptado.

Conforme apresentado na Figura 10, iniciando pelo ensaio de resistividade elétrica superficial, foi observado que houve aumento médio de 83,57% desta propriedade, para o concreto elaborado com adições de (SA) e (NS) e com relação a/lig 0,6. Este aumento foi de 238,49% para o concreto elaborado com adições e com relação a/lig 0,40, ambos em relação à referência. Além disso, observa-se uma maior resistividade do concreto elaborado com (SA) e (NS) na a/lig 0,4 quando comparada com a/lig 0,6, cerca de 266% (MARTINS, 2016).

A Figura 11 apresenta os resultados referentes ao ensaio de penetrabilidade por cloretos, executado conforme a norma ASTM C 1202 (ASTM, 2012) do mesmo autor. Ressalta-se que, diferentemente do ensaio de resistividade elétrica, os menores coeficientes de penetrabilidade de cloretos evidenciam um melhor desempenho dos concretos avaliados.

Figura 11: Penetrabilidade de cloretos média de concretos estudados aos 91 dias.



Fonte: Martins (2016). Adaptado.

Na Figura 11, pode ser visualizada uma redução de 81,84% na penetrabilidade de cloretos para concreto contendo adições de relação a/lig 0,6, em relação ao concreto referência com mesma relação a/lig e uma redução de 90,90% para o elaborado com relação a/lig 0,4. Além disso, o autor destaca que o concreto com adições e a/lig 0,4 apresentou carga de íons cloro passante aproximada a faixa desprezível normativa (<100 Coulombs), obtendo a maior resistência à penetração de cloretos entre os concretos ensaiados (MARTINS, 2016).

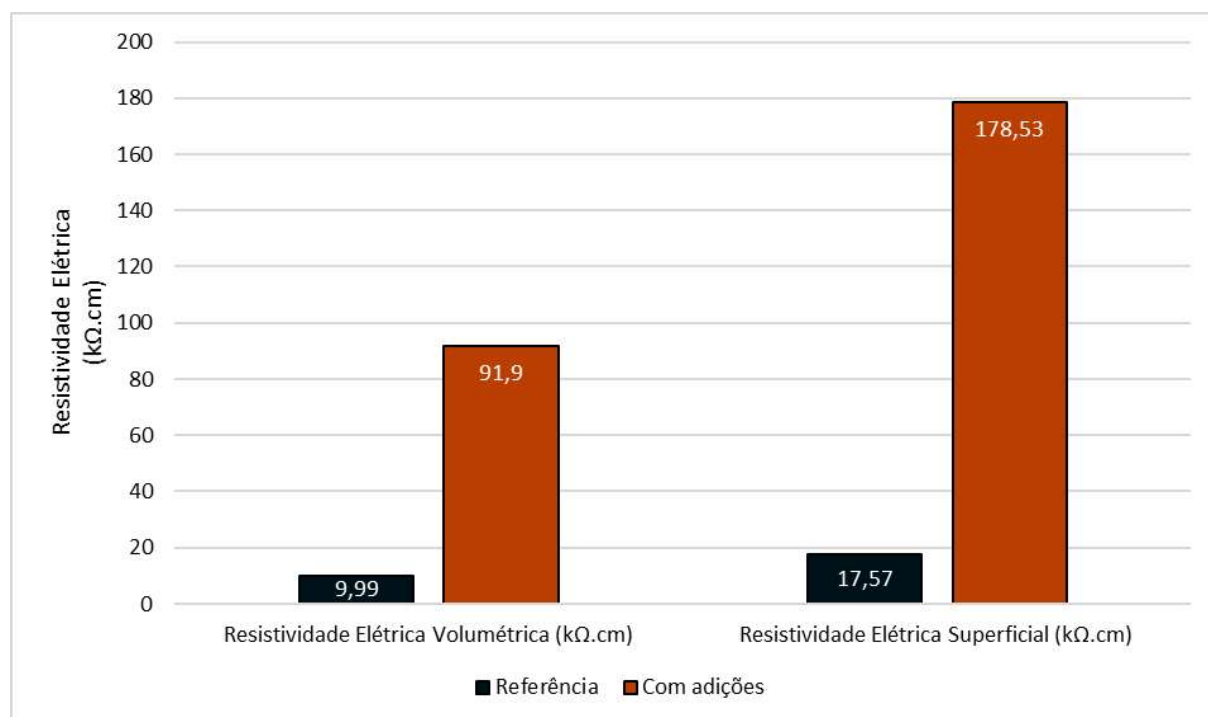
Zanon, Schmalz e Ferreira (2018), realizaram o ensaio de determinação da frente de penetração de cloretos (mm), para concretos elaborados com adições de SA e NS na relação a/lig 0,4, aos 28 dias de idade. Os autores evidenciaram que, após 16 ciclos, o concreto elaborado com adição de SA (10%) e de NS (0,5%) obteve uma redução da penetração de cloretos de 20,00%, em relação ao concreto referência. Enquanto para o concreto elaborado com adição de SA (10%) e de NA (0,7%), obteve-se uma redução de 36,25%, em relação ao concreto referência.

Santos (2019), realizou o ensaio de frente de penetração de cloretos em concretos elaborados com adição de SA (10%) e de NA (1%) nas relações a/lig 0,4 e 0,56. Para a

relação a/lig 0,4 obteve-se resultado positivo com uma redução na penetrabilidade de cloretos de 42,76%. Enquanto para o concreto elaborado com adições na relação a/lig 0,56, a redução foi de 20,63% na penetrabilidade de cloretos.

Souza (2021) avaliou o efeito das adições de SA (10%) e NS (2%) na resistividade elétrica volumétrica e superficial ($k\Omega.cm$) de concretos elaborados com relação a/lig 0,4, aos 63 dias de idade. A autora obteve resultados positivos (Figura 12), atribuindo-os às reações pozolânicas ocorridas após a hidratação do cimento.

Figura 12: Resistividade elétrica superficial e volumétrica.



Fonte: Souza (2021). Adaptado.

Avaliando os resultados obtidos pela autora, representados na Figura 12, observou-se um aumento de 819,92% na resistividade elétrica volumétrica e de 916,11% e na resistividade elétrica superficial do concreto elaborado com adições de (SA) e (NA) em relação à referência sem adições.

Ainda de acordo com Souza (2021), os mesmos traços especificados anteriormente foram avaliados para o ensaio de difusão de cloretos no estado não estacionário. A autora obteve os coeficientes de difusão de cloretos nos valores de 1,01 e 0,11 para os concretos sem adições (referência) e com adição de SA (10%) e NS (2%) em composição ternária, respectivamente. Diante disso, foi identificada redução de 89,11% de migração de cloretos do concreto elaborado com adições, quando comparado ao concreto referência.

2.2.2. Epóxi

Medeiros et al. (2015), realizou o ensaio de penetrabilidade de cloretos (C) em concretos elaborados com tratamento superficial de tinta epóxi, na relação a/lig 0,55 aos 28 dias. O resultado foi positivo sendo observada uma redução de 99,81% em relação ao concreto referência.

Condé (2016), realizou o ensaio de penetração de cloretos (mm), para concretos, na relação a/lig 0,50 com tratamento superficial de tinta epóxi. Os corpos de prova foram avaliados em imersão contínua e em ciclos de molhagem e secagem até os 28 dias e em ambos os casos o concreto elaborado com proteção superficial de tinta epóxi apresentou 100% de redução em relação ao concreto referência.

2.2.3. Efeito dos Bloqueadores de Poros

Crauss (2010), realizou o ensaio acelerado de penetração por cloretos (C) para concretos com tratamento superficial de bloqueadores de poros aplicados em única ou dupla camada. Esses concretos foram elaborados para três diferentes tipos de cimentos: CII F - 32 (relações a/lig 0,48; 0,54 e 0,61), CP IV - 32 (relações a/lig 0,46; 0,51 e 0,58) e CPV - ARI (relação a/lig 0,63). O ensaio foi repetido em variadas idades dos corpos de prova, sendo apresentada neste trabalho a última avaliação na idade de 182 dias.

A Figura 13 a seguir, apresenta os resultados obtidos pela autora e os teores de redução dos concretos com tratamento superficial em relação ao concreto referência (sem tratamento) para os diferentes traços elaborados.

Figura 13: Teores de redução calculados de acordo com a comparação dos resultados obtidos por Crauss (2010) para os traços avaliados.

COMPARAÇÃO DE RESULTADOS				
Cimento Utilizado	a/lig	Tratamento Superficial	Carga Total Passante (Coulombs) 182 dias	Redução da penetrabilidade de cloretos (%)
CP II F - 32	0,48	Bloqueador de Poros - Camada Única	1902	19,81%
CP II F - 32	0,54	Bloqueador de Poros - Camada Única	2931	12,82%
CP II F - 32	0,61	Bloqueador de Poros - Camada Única	3822	6,12%
CP II F - 32	0,48	Bloqueador de Poros - Dupla Camada	1855	21,80%
CP II F - 32	0,54	Bloqueador de Poros - Dupla Camada	2017	40,01%
CP II F - 32	0,61	Bloqueador de Poros - Dupla Camada	3047	25,15%
CP IV - 32	0,46	Bloqueador de Poros - Camada Única	749	16,69%
CP IV - 32	0,51	Bloqueador de Poros - Camada Única	1013	2,22%
CP IV - 32	0,58	Bloqueador de Poros - Camada Única	1328	21,70%
CP IV - 32	0,46	Bloqueador de Poros - Dupla Camada	615	31,59%
CP IV - 32	0,51	Bloqueador de Poros - Dupla Camada	972	6,18%
CP IV - 32	0,58	Bloqueador de Poros - Dupla Camada	1019	39,92%
CP V - ARI	0,63	Bloqueador de Poros - Camada Única	2771	2,70%
CP V - ARI	0,63	Bloqueador de Poros - Dupla Camada	2314	18,75%

Fonte: Silva e Canêdo, 2021.

Dessa forma, conforme a autora, foi evidenciada menor carga passante de cloretos para os concretos elaborados com cimento CP IV - 32, mesmo antes do tratamento superficial. Após o tratamento os resultados obtidos classificam os concretos com risco de penetração de cloretos de baixo a muito baixo segundo a ASTM C 1202 (ASTM, 2012). É interessante ressaltar que o CP IV - 32 é um cimento fabricado com adições minerais cinzas volantes que são excelentes em melhorar a microestrutura, aumentando a durabilidade frente a ambientes agressivos, como relatado anteriormente.

Para os concretos elaborados com os demais cimentos, CII F - 32 e CP V - ARI, identificou-se da mesma forma que no CP IV - 32, redução na carga passante de íons, quando os concretos foram submetidos à dupla camada de tratamento superficial. Quanto ao risco de penetração, o CII F - 32 classifica-se de moderado a baixo risco de penetração e o CP V - ARI com moderado risco. Todos os resultados para os concretos submetidos a tratamento superficial foram positivos (CRAUSS, 2010).

Santor (2011), realizou o ensaio de resistividade elétrica superficial para concretos com tratamento superficial de bloqueadores de poros aplicados em única ou dupla camada. Esses concretos foram elaborados para três diferentes tipos de cimentos: CII F - 32 (relações

a/lig 0,48; 0,54 e 0,61), CP IV - 32 (relações a/lig 0,46; 0,51 e 0,58) e CPV - ARI (relação a/lig 0,63). O ensaio foi repetido em variadas idades dos corpos-de-prova, sendo apresentada neste trabalho a última avaliação na idade de 159 dias.

A Figura 14 a seguir, apresenta os resultados obtidos pela autora e os teores de incremento dos concretos com tratamento superficial em relação ao concreto referência (sem tratamento) para os diferentes traços elaborados.

Figura 14: Teores de redução calculados de acordo com a comparação dos resultados obtidos por Santor (2011) para os traços avaliados.

COMPARAÇÃO DE RESULTADOS				
Cimento Utilizado	a/lig	Tratamento Superficial	Resistividade Elétrica Superficial (k Ω .cm) 159 dias	Aumento da Resistividade Elétrica (%)
CP II F - 32	0,48	Bloqueador de Poros - Camada Única	14558	7,42%
CP IIF - 32	0,54	Bloqueador de Poros - Camada Única	12980	3,57%
CP II F - 32	0,61	Bloqueador de Poros - Camada Única	12811	3,68%
CP IIF - 32	0,48	Bloqueador de Poros - Dupla Camada	15563	14,83%
CP II F - 32	0,54	Bloqueador de Poros - Dupla Camada	14737	17,59%
CP IIF - 32	0,61	Bloqueador de Poros - Dupla Camada	13507	9,32%
CP IV - 32	0,46	Bloqueador de Poros - Camada Única	163181	0,61%
CP IV - 32	0,51	Bloqueador de Poros - Camada Única	152650	0,67%
CP IV - 32	0,58	Bloqueador de Poros - Camada Única	152692	7,83%
CP IV - 32	0,46	Bloqueador de Poros - Dupla Camada	175569	8,25%
CP IV - 32	0,51	Bloqueador de Poros - Dupla Camada	160000	5,52%
CP IV - 32	0,58	Bloqueador de Poros - Dupla Camada	155700	9,95%
CP V - ARI	0,63	Bloqueador de Poros - Camada Única	21563	1,06%
CP V - ARI	0,63	Bloqueador de Poros - Dupla Camada	21664	1,54%

Fonte: Silva e Canêdo, 2021.

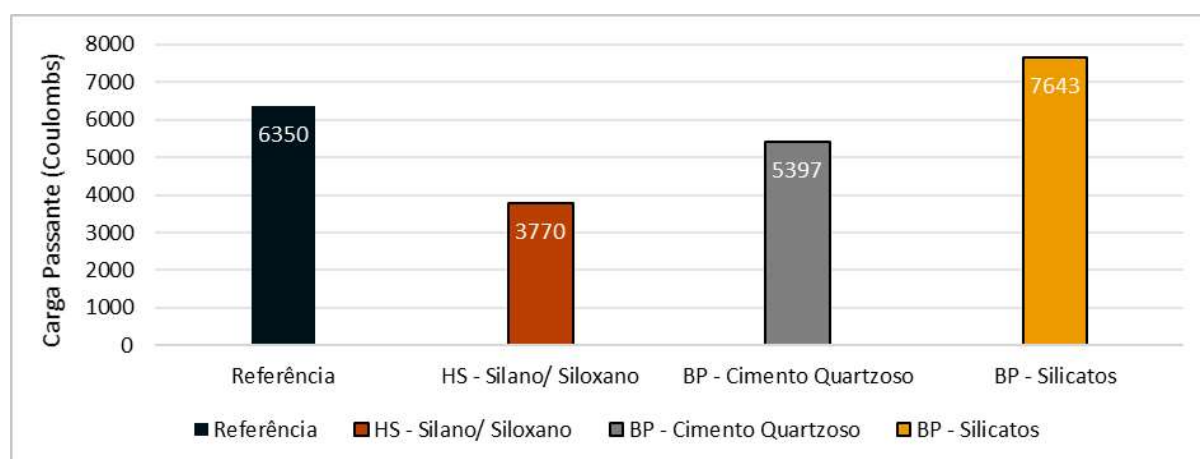
Da mesma forma, conforme o autor, foi evidenciada maior resistividade elétrica superficial para os concretos elaborados com cimento CP IV - 32 mesmos antes do tratamento superficial. Após o tratamento os resultados obtidos classificam os concretos com risco de corrosão desprezível segundo a ASTM C 1202 (ASTM, 2012).

Para os concretos elaborados com os demais cimentos, CII F - 32 e CP V - ARI, identificou-se da mesma forma que no CP IV - 32, aumento na resistividade elétrica quando os concretos foram submetidos à dupla camada de tratamento superficial. Quanto à probabilidade de corrosão, o CII F - 32 classifica-se com baixa probabilidade e o CP V -

ARI de baixa a desprezível probabilidade. Todos os resultados para os concretos submetidos a tratamento superficial foram positivos (SANTOR, 2011).

Medeiros et al. (2015), realizou o ensaio de penetrabilidade de cloretos (C) em concretos elaborados com tratamento superficial de bloqueadores de poros à base de cimento quartzoso, bloqueadores de poros à base de silicatos e hidrofugantes de superfície (silano/siloxano), na relação a/lig 0,55 aos 28 dias. A Figura 15 a seguir, expõe os resultados encontrados pelo autor para cada agente preventivo, sendo que na mesma as siglas (HS e BP), representam hidrofugantes de superfície e bloqueadores de poros respectivamente.

Figura 15: Penetrabilidade de cloretos média de concretos com tratamento superficial com bloqueadores de poros e hidrofugantes de superfície.



Fonte: Medeiros et al. (2015). Adaptado.

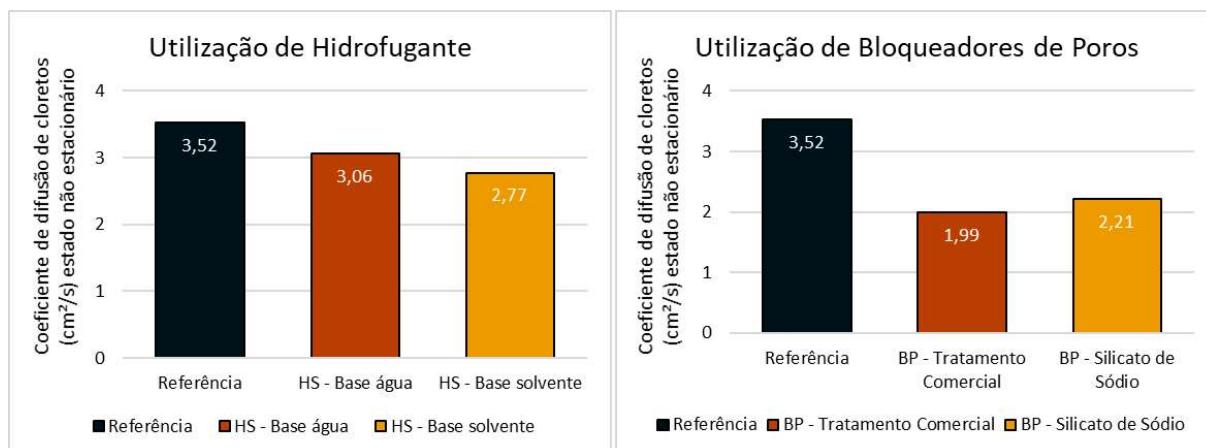
Conforme observado na Figura 15, houve um acréscimo de 20,36% da penetrabilidade de cloretos para o bloqueador de poros à base de silicatos, mostrando-se esse ineficaz na prevenção da corrosão por ataque de cloretos. Por outro lado, foram identificados resultados positivos para o bloqueador de poros de cimento quartzoso, com uma redução de 15,01% e para o hidrofugante de silano/siloxano, redução 40,63%, sendo esse último o que apresentou o melhor resultado em relação ao concreto referência, sem tratamento superficial.

Oliveira e Medeiros (2018) realizaram os ensaios de difusão de cloretos no estado não estacionário. Os ensaios foram realizados para concretos com tratamento superficial com bloqueadores de poros simples de tratamento comercial à base de silicato e de bloqueadores de poros de silicato de sódio líquido.

Além desses, também foram avaliados concretos com tratamento superficial com hidrofugantes de superfície de silano/siloxano à base de água e a base de solvente, ambos na relação a/lig 0,525 aos 91 dias. Os resultados obtidos foram positivos podendo ser observados

na Figura 16 a seguir, que explicita os teores de redução dos concretos elaborados com tratamento superficial em relação ao concreto referência, sem tratamento.

Figura 16: Penetrabilidade de cloretos média de concretos com diferentes tratamentos superficiais.



Fonte: Oliveira e Medeiros (2018). Adaptado.

Na Figura 16, pode-se verificar melhor desempenho dos concretos com tratamento superficial com bloqueadores de poros com tratamento comercial à base de silicatos, apresentando uma redução de 43,47%. Já os bloqueadores de poros de silicato de sódio líquido apresentaram uma redução de 37,22%, ambos em relação ao concreto referência. Do mesmo modo, para os hidrofugantes de superfície os resultados também foram positivos, o hidrofugante a base de água obteve uma redução de 13,07% e o hidrofugante a base de solvente, uma redução de 33,52%, também ambos em relação ao mesmo concreto referência, sem tratamento superficial.

2.2.4. Análise global dos resultados verificados quanto ao ataque por cloretos

Os resultados foram comparados de acordo com o percentual de incremento ou redução obtido em cada ensaio em relação ao agente preventivo utilizado. A Figura 17, a seguir, apresenta os autores citados correlacionando os traços utilizados e resumindo os resultados em positivos ou negativos para os ensaios de penetrabilidade de cloretos. Ressalta-se que, para os autores Crauss (2010), Santor (2011) e Oliveira e Medeiros (2018) foram apresentados apenas os maiores percentuais obtidos para cada cimento e agentes preventivos utilizados. Também não serão expressos aqui os resultados negativos, de modo a minimizar o número de informações e tornar mais claro o entendimento.

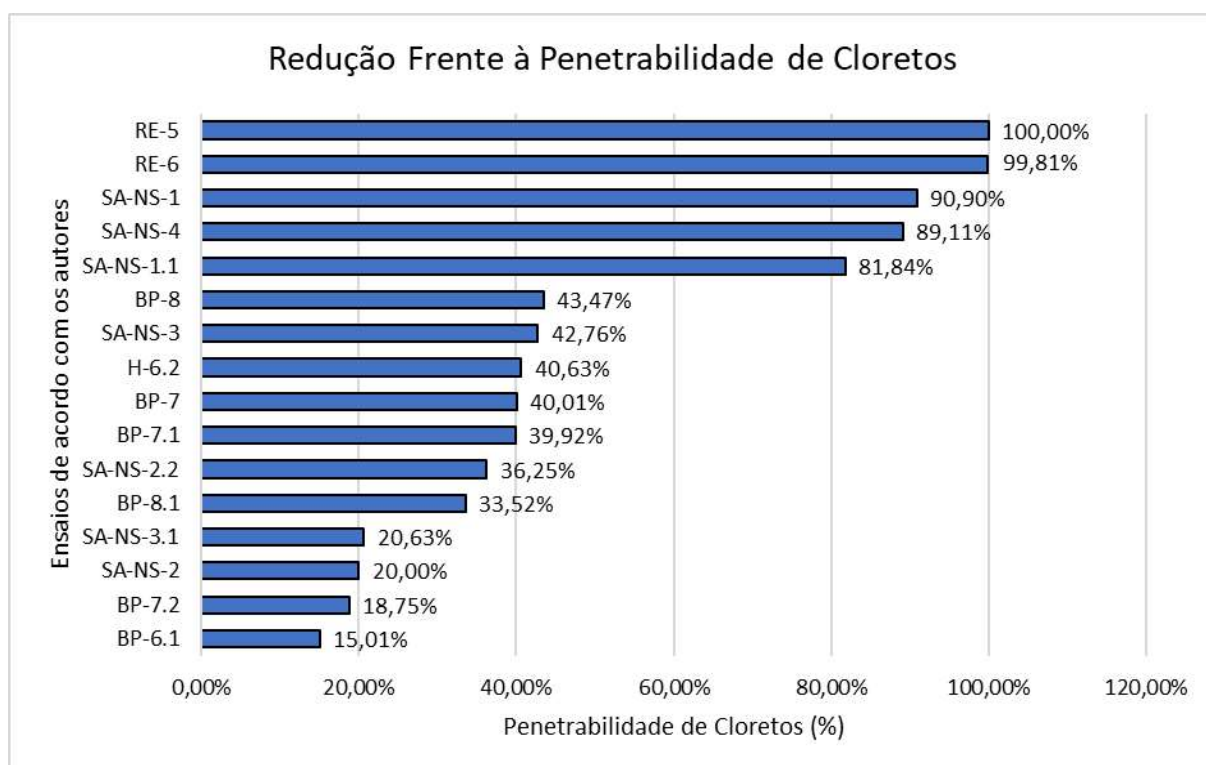
Figura 17: Quadro comparativo dos autores frente aos ensaios de penetrabilidade de cloretos.

REDUÇÃO FRENTE À PENETRABILIDADE DE CLORETOS						
Representação Gráfica	Autor	a/lig	Agente Preventivo Utilizado	Especificações	Redução frente penetrabilidade de cloretos	%
SA-NS-1	Martins (2016)	0,40	Sílica Ativa e Nanossílica	SA (9%) e NS (1%)	Redução	90,90%
SA-NS-1.1	Martins (2016)	0,60	Sílica Ativa e Nanossílica	SA (9%) e NS (1%)	Redução	81,84%
SA-NS-2	Zanon, Schmalz e Ferreira (2018)	0,40	Sílica Ativa e Nanossílica	SA (10%) e NS (0,5%)	Redução	20,00%
SA-NS-2.2	Zanon, Schmalz e Ferreira (2018)	0,40	Sílica Ativa e Nanossílica	SA (10%) e NS (0,7%)	Redução	36,25%
SA-NS-3	Santos (2019)	0,40	Sílica Ativa e Nanossílica	SA (10%) e NS (1%)	Redução	42,76%
SA-NS-3.1	Santos (2019)	0,56	Sílica Ativa e Nanossílica	SA (10%) e NS (1%)	Redução	20,63%
SA-NS-4	Souza (2021)	0,40	Sílica Ativa e Nanossílica	SA (10%) e NS (2%)	Redução	89,11%
RE-5	Condé (2016)	0,50	Resina Époxi	-	Redução	100,00%
RE-6	Medeiros et al (2015)	0,55	Resina Époxi	Verniz epóxi - bi componente com baixa viscosidade	Redução	99,81%
BP-6.1	Medeiros et al (2015)	0,55	Bloqueadores de Poros	bloqueador de poros de cimento quartzoso	Redução	15,01%
H-6.2	Medeiros et al (2015)	0,55	Hidrofugante de Superfície	hidrofugante de silano/siloxano	Redução	40,63%
BP-7	Crauss (2010)	0,54	Bloqueadores de Poros	CP II F - 32 (Camada Dupla)	Redução	40,01%
BP-7.1	Crauss (2010)	0,58	Bloqueadores de Poros	CP IV - 32 (Camada Dupla)	Redução	39,92%
BP-7.2	Crauss (2010)	0,63	Bloqueadores de Poros	CP V - ARI (Camada Dupla)	Redução	18,75%
BP-8	Oliveira e Medeiros (2018)	0,53	Bloqueadores de Poros	Bloqueador de Poros - Tratamento Comercial a base de silicato	Redução	43,47%
BP-8.1	Oliveira e Medeiros (2018)	0,53	Hidrofugante de Superfície	Hidrofugante - Base solvente	Redução	33,52%

Fonte: Silva e Canêdo, 2021.

A Figura 17 sintetiza os autores, agentes preventivos e ensaios realizados com os seus respectivos resultados através das porcentagens de redução da frente de penetrabilidade de cloretos. Dessa forma, visando complementar o entendimento, na Figura 18 a seguir são expostos os resultados percentuais, em ordem decrescente, obtidos nos ensaios de difusão de cloretos conforme os dados apresentados para cada autor, podendo assim, classificar qual apresentou a melhor eficácia e em qual a/lig.

Figura 18: Gráfico comparativo dos percentuais de redução frente a penetrabilidade de cloretos.



Fonte: Silva e Canêdo, 2021.

A Figura 18 evidencia que, dentre os tratamentos superficiais destacados, todos apresentaram uma redução frente a penetrabilidade de cloretos, entretanto, a resina epóxi apresentou os melhores resultados de redução dentro dos períodos analisados, chegando a uma redução de 100% na penetrabilidade de cloretos. Já, dentre os bloqueadores de Poros, o melhor percentual de redução obtido foi de 43,47%, avaliado pelos autores Oliveira e Medeiros (2018). Os demais resultados referentes a esse agente preventivo foram inferiores e menos eficazes, o que ocorreu da mesma forma quando analisam-se os hidrofugantes de superfície.

Além da resina epóxi, evidenciam-se bons resultados para as combinações ternárias de SA e NS, sendo que os três melhores resultados obtidos foram de 90,90%, 89,11% e 81,84%, para os respectivos teores de SA e NS: (9%; 1%) e (10%; 2%) na a/lig 0,4 e (9%; 1%) na a/lig 0,6.

Os resultados foram comparados de acordo com o percentual de incremento ou redução obtido em cada ensaio em relação ao agente preventivo utilizado. A Figura 19, a seguir, apresenta os autores citados correlacionando os traços utilizados e resumindo os resultados em positivos ou negativos para os ensaios de resistividade elétrica. Ressalta-se que, para o autor Santor (2011) foram apresentados apenas os maiores percentuais obtidos

para cada cimento utilizado, de modo a minimizar o número de informações e tornar mais claro o entendimento.

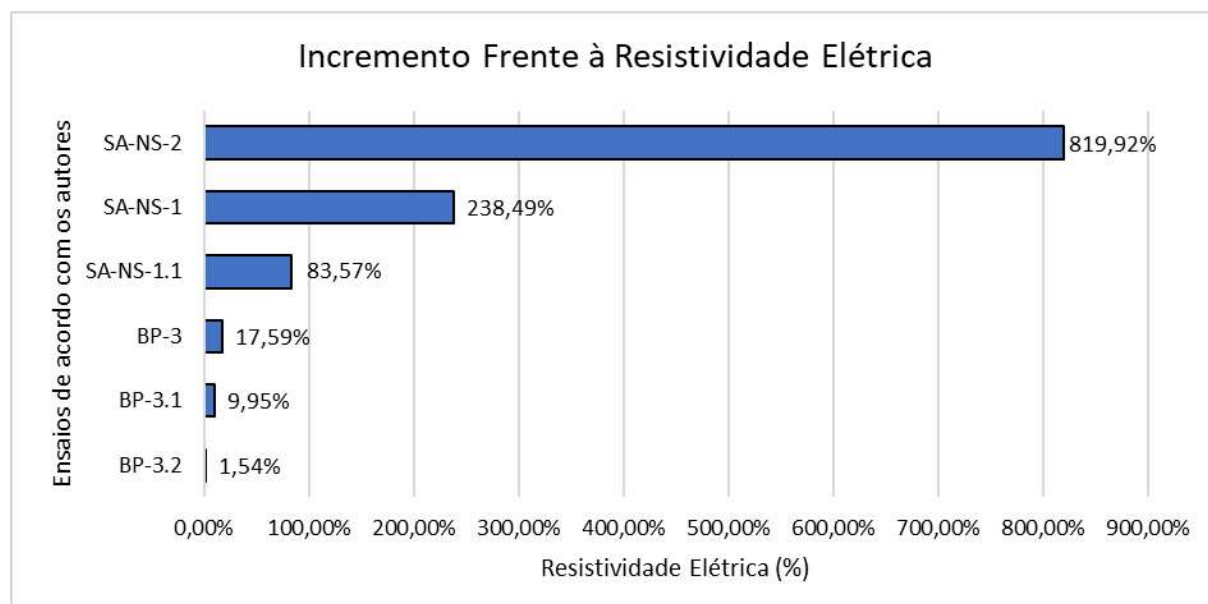
Figura 19: Quadro comparativo dos autores frente aos ensaios de resistividade elétrica.

INCREMENTO DA RESISTIVIDADE ELÉTRICA						
Representação do Autor	Autor	a/lig	Agente Preventivo Utilizado	Especificações	Incremento frente a resistividade elétrica	%
SA-NS-1	Martins (2016)	0,40	Silica Ativa e Nanossilica	SA (9%) e NS (1%)	Incremento	238,49%
SA-NS-1.1	Martins (2016)	0,60	Silica Ativa e Nanossilica	SA (9%) e NS (1%)	Incremento	83,57%
SA-NS-2	Souza (2021)	0,40	Silica Ativa e Nanossilica	SA (10%) e NS (2%)	Incremento	819,92%
BP-3	Santor (2011)	0,54	Tratamento Superficial	CPF - 32 Bloqueadores de Poros (Camada Dupla)	Incremento	17,59%
BP-3.1	Santor (2011)	0,58	Tratamento Superficial	CP IV - 32 (Camada Dupla) Bloqueadores de Poros (Camada Dupla)	Incremento	9,95%
BP-3.2	Santor (2011)	0,63	Tratamento Superficial	CP V - ARI (Camada Dupla) Bloqueadores de Poros (Camada Dupla)	Incremento	1,54%

Fonte: Silva e Canêdo, 2021.

Dessa forma que as demais, visando complementar o entendimento, na Figura 18 a seguir são expostos os resultados percentuais, em ordem decrescente, obtidos nos ensaios de resistividade elétrica conforme os dados apresentados para cada autor, podendo assim, classificar qual apresentou a melhor eficácia e em qual a/lig.

Figura 20: Gráfico comparativo dos percentuais de incremento frente a resistividade elétrica.



Fonte: Silva e Canêdo, 2021.

Na Figura 20, nota-se que as adições de SA e NS obtiveram maior resistividade, sendo que a melhor dosagem analisada foi a de SA (10%) e NS (2%) na a/lig 0,4. Observa-se que o

mesmo teor de adições não foi significativo para a redução da frente de carbonatação no concreto, enquanto obteve excelentes resultados na prevenção da corrosão de armaduras frente ao ataque de cloretos, possivelmente pela ocorrência das reações pozolânicas que reduzem o pH do concreto, podendo deixá-lo vulnerável à carbonatação

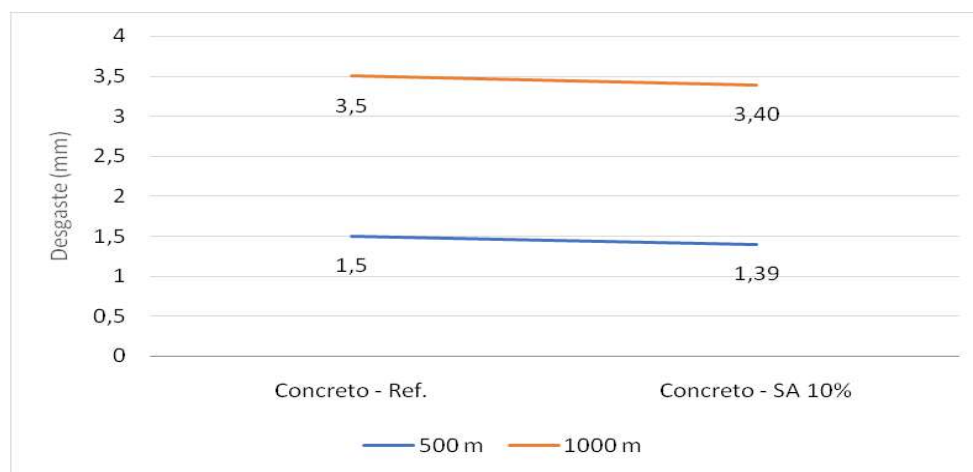
Em relação a utilização de tratamento superficial com bloqueadores de poros, o mesmo não apresentou significativo aumento na resistividade elétrica, mesmo com aplicação de dupla camada do agente preventivo. Não foram encontrados estudos que relacionassem a utilização de tratamento superficial com tinta epóxi e a resistividade elétrica do concreto, por isso os resultados não foram apresentados.

2.3. Análise quanto ao desgaste por abrasão

2.3.1. Sílica Ativa e Nanossílica

Silva (2015) realizou uma avaliação isolada do efeito da sílica ativa para os ensaios de abrasão a 500 e 100 metros de percurso. Conforme a autora, para o ensaio a 500 metros, em concretos fabricados com substituição de SA (10%) foi verificada uma elevação na resistência a abrasão de 7,1 %, em relação ao concreto referência, sem adições. E para o ensaio a 1000 metros, uma elevação de 3,0% em comparação ao concreto referência (Figura 17). A autora ainda relata que existem outros fatores envolvidos para o ganho dessa resistência, como: a relação a/lig, pois quanto maior essa relação mais poros haverá no concreto, o cimento utilizado, a forma de cura executada, entre outros.

Figura 21: Efeito isolado do teor de substituição de sílica ativa na resistência à abrasão do concreto.



Fonte: Silva, 2015. Adaptado.

A Figura 21 acima, evidencia que houve uma redução nos resultados de abrasão para 500 metros quanto para 1000 metros. Em comparação à referência, pode-se observar uma redução de 7,1% aos 500 metros e de 3% aos 1000 metros, com o traço utilizando 10% de SA.

Liu (2007), avaliou individualmente a influência do teor de sílica ativa em concretos elaborados com a/lig 0,38 com adição SA (5%) e a/lig 0,40 com adição de SA (10%), aos 28 dias. E obteve resultados positivos de redução no desgaste por abrasão respectivamente de 10% e 16% em relação ao concreto referência sem adições.

2.3.4. Análise global dos resultados verificados quanto ao desgaste por abrasão

Para ambos os autores foram identificados resultados positivos representando menor desgaste à abrasão para os concretos elaborados com adição de sílica ativa. Sendo que o concreto com a/lig 0,4 e adição de SA (10%) apresentou o melhor desempenho.

Ressalta-se que não foi possível realizar a análise para a utilização de adições de nanosílica e tratamento superficial por epóxi ou bloqueadores de poros. Visto que, não foram encontradas pesquisas, em tempo hábil, que contemplassem tais agentes preventivos frente aos ensaios propostos. Provavelmente devido a utilização de matrizes cimentícias ternárias, principalmente pelo uso de nanossílica, ser um assunto relativamente novo nos campos de estudo. Quanto aos estudos referentes ao desgaste por abrasão em concretos com tratamento superficial, notou-se a predominância de ensaios relacionados às resistências à compressão ou mecânica, certamente ainda, pela baixa disponibilidade de equipamentos para o ensaio de abrasão los angeles nas instituições de ensino do país.

3. Considerações Finais

De acordo com os resultados obtidos nas análises globais, pode-se averiguar, o melhor desempenho dos concretos com utilização de agentes preventivos. Em relação à carbonatação, observou-se um excelente desempenho dos concretos com tratamento superficial com epóxi, sendo que em todos os autores foi verificada uma redução da frente de carbonatação acima de 50%, em comparação aos concretos de referência. Para os bloqueadores de poros e hidrofugantes, a maioria dos resultados foram positivos, entretanto, não foram tão significativos (8,33 e 50% respectivamente). A comparação em relação a adição conjunta de SA e NS não foi possível haja vista que, poucos autores realizaram ensaios contemplando ambas e o avaliado, para SA (10%) e NS (2%), obteve resultado insatisfatório. Entretanto, um dos melhores resultados quanto a prevenção por adições frentes

à carbonatação foi a dosagem individual de NS (2%) com redução de 57,94% da frente de carbonatação, atrás apenas da dosagem individual de SA (10%), apresentando uma redução acima de 69,18%.

Em relação ao ataque de cloretos, o ensaio de difusão por cloretos obteve melhores resultados na utilização de tinta epóxi. Neste, os dois autores apresentados afirmaram que houve pouca ou nenhuma penetrabilidade de cloretos para concretos fabricados com este material. No que tange aos bloqueadores de poros houve menor penetrabilidade de cloretos, mas grande variabilidade de resultados, inclusive, um negativo para os bloqueadores de poros à base de silicatos. Não apresentando assim uma conclusão uniforme no que tange aos resultados positivos.

Em relação às adições de sílica ativa e nanossílica, observa-se que a melhor dosagem analisada é a de SA (9%) e NS (1%). Essa dosagem apresentou bons resultados mesmo com o aumento da a/lig. As diferentes dosagens de adições apresentaram resultados positivos e significativos. Entretanto, resultados inferiores foram obtidos quando aumentada a relação a/lig, ou reduzidos os teores de NS abaixo de 1%. É interessante ressaltar que a dosagem de adições de SA (10%) e NS (2%) que não obteve boa redução frente de carbonatação do concreto, apresentou excelentes resultados na redução da permeabilidade de cloretos (89,11%). Possivelmente pelo aumento das reações pozolânicas.

Para o ensaio de resistividade elétrica os melhores resultados foram obtidos nas adições de sílica ativa e nanossílica. A melhor dosagem observada foi a de SA (10%) e NS (2%) na a/lig 0,4. Em relação a utilização de tratamento superficial com bloqueadores de poros, os resultados foram positivos, porém não tão significativos, mesmo com aplicação de dupla camada do agente preventivo. Não foram encontrados estudos que relacionassem a utilização de tratamento superficial com tinta epóxi e a resistividade elétrica do concreto, por isso para esse agente preventivo as expectativas não foram atendidas.

Os resultados obtidos na análise do abrasão foram significativos para concretos elaborados com adição de SA (10%) na a/lig 0,4. Entretanto, os resultados não foram muito conclusivos, devido a falta de bibliografia contemplando os ensaios de abrasão Los Angeles em concretos com a utilização de adições de SA e NA, bloqueadores de poros e/ou resina epóxi. Assim, não sendo possível realizar maiores comparações entre resultados de vários autores. Portanto, devido a essa escassez de trabalhos neste tópico, as expectativas iniciais não foram atendidas, sendo proposta a sugestão para futuras pesquisas.

Avaliando os resultados obtidos, pode-se afirmar que a resina epóxi possui a capacidade de isolar a camada superficial do concreto impedindo o acesso de agentes deletérios e, portanto, apresentando excelentes resultados na prevenção da degradação do mesmo, sem corroborar com a redução do pH da matriz cimentícia. Contudo, a aplicação da resina epóxi não pode ser realizada uma única vez, visto que, a mesma também sofrerá as ações do meio e com o tempo necessitará de manutenção, o que pode ser viável ou não, a depender do tipo de estrutura e localização da mesma. Diante disso, há a preocupação com a penetração dos agentes deletérios para o interior do concreto dado que, a degradação da camada superficial de resina epóxi, por mais mínima que seja, apresentará uma vulnerabilidade.

Diante do exposto, as composições ternárias de SA e NS apresentam melhor eficácia como agentes preventivos, principalmente referente a degradação das estruturas por ataque de íons Cloro. Em virtude, de atuarem no interior do concreto modificando a sua microestrutura tanto fisicamente, através do preenchimento dos vazios abertos interconectados, quanto quimicamente, atuando na síntese de C-S-H mesmo nas idades mais avançadas, e, portanto, conferindo maior resistência frente as degradações apresentadas.

Todavia, são necessários cuidados. Como observado, os estudos quanto à utilização de composições ternárias de SA e NS ainda são recentes, não existindo consensos ou normativas quanto aos teores ideais para utilização. Ao mesmo tempo que ótimos resultados são evidenciados, alguns não são tão significativos como visto para o ensaio de carbonatação acelerada que obteve melhores resultados na composição binária das adições SA e NS, individualmente. Uma boa alternativa, então, seria mesclar o uso dos dois agentes: adições minerais e camada externa de resina epóxi, de forma a majorar a proteção da estrutura de concreto armado.

4. Referências Bibliográficas

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. 3 ed. Rio de Janeiro, 2014. 256p.

ASTM_____. C1202 - Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration. West Conshohocken: ASTM International: 8 p. 2012.

CARVALHO, J. R. de. AVALIAÇÃO DA DURABILIDADE DE MATERIAL CIMENTÍCIO COM PROTEÇÃO SUPERFICIAL NA MITIGAÇÃO DO AVANÇO DA FRENTE DE CARBONATAÇÃO. 170 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, Recife, 2015.

CASCUDO, O. INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS DO AÇO CARBONO DESTINADO AO USO COMO ARMADURAS PARA CONCRETO ARMADO NO COMPORTAMENTO FRENTE À CORROSÃO. Dissertação (Doutorado) - Universidade de São Paulo, Escola Politécnica. São Paulo, 2000.

CONDÉ, L. F. O. S. ANÁLISE DO DESEMPENHO DE SUPERFÍCIES PROTETORAS EM CONCRETOS SUBMETIDOS A ATAQUES POR CLORETOS. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. Minas Gerais, 2016.

CRAUSS, C. PENETRAÇÃO DE CLORETOS EM CONCRETOS COM DIFERENTES TIPOS DE CIMENTO SUBMETIDOS A TRATAMENTO SUPERFICIAL. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, RS, 2010.

LIU, YIU-WEN. IMPROVING THE ABRASION RESISTANCE OF HYDRAULIC-CONCRETE CONTAINING SURFACE CRACK BY ADDING SILICA FUME. *Construction and Building Materials*. v. 21, n. 5, p. 972-977, may 2007.

MARQUES, V. S. RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS SUBMETIDAS À CORROSÃO DE ARMADURAS: DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS QUE INTERFEREM NO CUSTO. 104 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

MARTINS, A. M. TRANSPORTE DE CLORETOS EM CONCRETOS COM ADIÇÕES MINERAIS E O DESEMPENHO EM RELAÇÃO À CORROSÃO DAS ARMADURAS. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil e

Ambiental (EECA), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, Goiânia, 2016.

MEDEIROS, M. H. F.; ANDRADE, J. J. O.a; HELENE, P. DURABILIDADE E VIDA ÚTIL DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO. CONCRETO: CIÊNCIA E TECNOLOGIA. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2011. Cap. 22, 37 f.

MEDEIROS, M. H. F. de; PEREIRA, E.; FIGURA, A. S.; TISSOT, F. M.; ARTIOLI, K. A., AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE SISTEMAS DE PROTEÇÃO DE SUPERFÍCIE PARA CONCRETO: ABSORÇÃO DE ÁGUA, MIGRAÇÃO DE CLORETOS E ÂNGULO DE CONTATO. Matéria (Rio de Janeiro), Rio de Janeiro, v. 20, n. 1, p. 145-159, mar. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620150001.0015>.

MEDEIROS, M. H. F. de; RAISDORFER, J. W.; HOPPE FILHO, J. INFLUÊNCIA DA SÍLICA ATIVA E DO METACAULIM NA VELOCIDADE DE CARBONATAÇÃO DO CONCRETO: RELAÇÃO COM RESISTÊNCIA, ABSORÇÃO E RELAÇÃO A/C. AMBIENTE CONSTRUÍDO, Porto Alegre, v. 17, n. 4, p. 125-139, out./dez. 2017.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. CONCRETO MICROESTRUTURA, PROPRIEDADES E MATERIAIS. 3ª Ed. Editora Ibracon. São Paulo, 2008 782 p.

OLLIVIER, J. P.; TORRENTI, J. M. A ESTRUTURA POROSA DOS CONCRETOS E AS PROPRIEDADES DE TRANSPORTE. In: OLLIVIER, J. P.; VICHOT, A. DURABILIDADE DO CONCRETO: BASES CIENTÍFICAS PARA A FORMULAÇÃO DE CONCRETOS DURÁVEIS DE ACORDO COM O AMBIENTE. 1. ed. São Paulo: Ibracon, 2014. p. 42-112.

OLIVEIRA, A. P. ESTUDO DE MATRIZES CIMENTÍCIAS TERNÁRIAS CONTENDO SÍLICA ATIVA E NANOSÍLICA. Dissertação (Mestrado em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2019. 144 f.

OLIVEIRA, I. A.; MEDEIROS, M. H. F. ESCOLHA DE PRODUTOS PARA PROTEÇÃO DE SUPERFÍCIE EM CONCRETOS FRENTE À AÇÃO DE ÍONS CLORETOS EM ZONAS MARÍTIMAS: UMA APLICAÇÃO DA ANÁLISE HIERÁRQUICA (AHP). Revista Técnico Científica do CREA - PR, Paraná, Ed. Especial, p. 1-16, 2018. UFPR -

Grupo de Pesquisa em Patologia e Reabilitação das Construções.
<http://dx.doi.org/10.4322/2526-7248.004>.

SANTOR, M. S. INFLUÊNCIA DE MATERIAIS DE PROTEÇÃO SUPERFICIAL NA RESISTIVIDADE ELÉTRICA E ABSORÇÃO CAPILAR DO CONCRETO. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, RS, 2011.

SANTOS, M. O. dos. ESTUDO DE CONCRETOS COM ADIÇÃO DE NANOSÍLICA SUBMETIDOS À AÇÃO COMBINADA DE CLORETOS E CO². 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2019.

SILVA, C. V. da. ESTUDO DA INFLUÊNCIA DAS PROPRIEDADES RELACIONADAS À SUPERFÍCIE E À MATRIZ NA RESISTÊNCIA À ABRASÃO DE CONCRETOS PARA PISOS. 244 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

SOUZA, A. L. R. EFEITOS DA MISTURA DE SÍLICA ATIVA E NANOSSÍLICA NA DURABILIDADE DO CONCRETO. 172 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Tecnologia Universidade de Brasília, Brasília, 2021.

SOUZA, A. L. R. EFEITOS DA MISTURA DE SÍLICA ATIVA E NANOSSÍLICA NA DURABILIDADE DO CONCRETO. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM- 03A/21, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2021. 149 p.

VIEIRA, F. M. P. CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA CORROSÃO DE ARMADURAS EM CONCRETOS COM ADIÇÃO DE SÍLICA ATIVA. 242 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

ZANON, T.; SCHMALZ, R.; FERREIRA, F. G. da S., AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA NANOSÍLICA EM CONCRETOS SUBMETIDOS À AÇÃO DE ÍONS CLORETO. Revista

Alconpat, [S.L.], v. 8, n. 2, p. 138-149, 30 abr. 2018. Revista ALCONPAT.
<http://dx.doi.org/10.21041/ra.v8i2.274>.