



ANÁLISE DE PROTETORES SUPERFICIAIS EM ELEMENTOS DE CONCRETO PRÉ-FABRICADO

SÃO PAULO
2022



LETÍCIA ROSALEN POLACCHINI LORENZ

**ANÁLISE DE PROTETORES SUPERFICIAIS EM ELEMENTOS DE
CONCRETO PRÉ-FABRICADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Pós-graduação em Tecnologia da Pré-fabricação, Pós-Graduação *lato sensu*, do Instituto IDD como requisito parcial para a obtenção do Grau de Especialista.

Orientador: Prof. Msc. Kirke Andrew W. Moreira.

SÃO PAULO
2022

AGRADECIMENTOS

À minha família, por todo suporte dado durante todo o curso.

Aos professores da instituição, por toda ajuda acadêmica fornecida.

RESUMO

É crescente a preocupação com durabilidade de uma estrutura de concreto, principalmente com o aumento de estruturas degradadas, com fissuras, deslocamento e o mais preocupante, corrosões. Uma das alternativas que são viáveis é tratar a superfície do concreto, formando uma película não permeável no concreto, criando assim uma barreira entre o ambiente e a superfície do concreto, trazendo considerável proteção para estes elementos contra agentes agressivos. Com isso, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de analisar a eficácia de sistemas de proteção superficial e como fonte de dados, foi feita uma pesquisa bibliográfica, levantando informações pertinentes ao assunto, visando estimular o estudo e pesquisa nessa área da construção civil que é tão importante. Por meio da literatura abordada, foram analisados três tipos de protetores: hidrofugantes, bloqueadores de poros e formadores de películas e verificou-se que os sistemas devem ser usados como meios de aumentar a durabilidade da estrutura de concreto armado.

Palavras-chave: concreto, durabilidade, manifestações patológicas, proteção superficial.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Evolução conceitual do projeto das estruturas de concreto.	9
Figura 2: Distribuição heterogênea do concreto.....	10
Figura 3: Efeitos dos agentes agressivos e corrosão	11
Figura 4: Efeito da proteção X Período da vida útil mais influenciado.	14
Figura 5: Representação esquemática dos diferentes tipos de Protetores de Superfície do Concreto: (A) Hidrofugantes de Superfície; (B) Bloqueadores de Poros; (C) Formadores de Película.	15
Figura 6: Diferença de interação entre água e superfícies hidrófugas/hidrófilas.	17
Figura 7: Fatores para considerações na seleção de sistema de proteção superficial.	23
Figura 8: Fluxograma para escolha de sistema de proteção.	24
Figura 9: Lei da evolução de custos.	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Relação de tempo estimado de reaplicação de cada produto, em anos.	29
Tabela 2: Investimento necessário para primeira aplicação de cada produto (%).	29
Tabela 3: Investimento em 4 anos de aplicação de cada produto (%).	30
Tabela 4: Relação de economia em relação ao produto B1, em porcentagem...30	
Tabela 5: Relação de economia em relação ao material para recuperação estrutural, em porcentagem.	32

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Recomendações de formas de aplicação.	28
Quadro 2: Relação de proteção contra agentes agressivos.	29

SUMÁRIO

RESUMO	I
LISTA DE FIGURAS	II
LISTA DE TABELAS.....	III
LISTA DE QUADROS	IV
SUMÁRIO.....	V
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. PROBLEMA DE PESQUISA.....	2
1.2. OBJETIVOS.....	2
1.3. HIPÓTESE	2
1.4. JUSTIFICATIVAS	2
1.5. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO.....	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. CONCRETO	5
2.2. CONCRETO PRÉ-FABRICADO E PRÉ-MOLDADO	6
2.3. DURABILIDADE DO CONCRETO	7
2.3.1. Vida útil.....	8
2.4. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS POR ATAQUE DE AGENTES AGRESSIVOS.....	9
2.4.1. Mecanismos de transporte no concreto	12
2.4.2. Carbonatação	13
2.4.3. Íons de cloreto	13
2.5. PROTEÇÃO SUPERFICIAL DO CONCRETO	13
2.5.1. Revestimentos hidrofugantes de superfície.....	15
2.5.2. Bloqueadores de poros	18
2.5.3. Revestimentos formadores de película.....	20
2.5.4. Considerações para escolha de produto	23
2.5.5. Custos de manutenção com protetores superficiais	25
3. PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	26

3.1. APLICAÇÃO DE PROTETORES SUPERFICIAIS.....	26
3.2. ESTIMATIVA DE RECUPERAÇÃO DE UMA PLACA CORROÍDA.....	31
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	33
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	35

1. INTRODUÇÃO

Com o avanço da demanda de obras, aumenta também a procura pela redução de prazos e custos destas obras. É um fator que está diretamente ligado com essas reduções de prazos e custos é a durabilidade das construções. Os profissionais da engenharia devem assumir a responsabilidade social de otimizar essas reduções com o menor impacto ambiental possível, em todas as etapas da construção.

Atualmente sabe-se que tanto o processo construtivo quanto a obtenção e/ou fabricação dos materiais da construção civil são agressivos ao meio ambiente e, portanto, uma estrutura que em pouco tempo de utilização seja comprometida é igualmente prejudicial à sociedade.

O profissional da engenharia, em tese, já tem conhecimento de todo esse problema existente, porém o cidadão leigo pode não ter acesso a mesma informação. Portanto, se faz necessário consolidar o conceito de durabilidade em todos os processos da obra: projeto, execução e utilização.

Uma das possíveis soluções e amplamente estudada é a melhoria das propriedades do concreto, aumentando a durabilidade da estrutura. Porém vamos considerar outra possibilidade, a de proteger o concreto já existente, analisando formas de impedir ou desacelerar o processo de corrosão, oriundo ao ataque de cloretos.

Nesse caso, considerando a utilização da estrutura, além da proteção inicial que deve ser tratada, ela necessitará passar por manutenções para assegurar o desempenho seguro de suas funções. Uma das estratégias de assegurar é proteger o concreto existente, aplicando produtos que funcionam como uma camada protetiva, separando o concreto do meio agressivo.

Observada a crescente necessidade de obter uma maior durabilidade das estruturas, esse trabalho tem como finalidade analisar a eficiência de três categorias de protetores superficiais, de maneira que a informação seja entendida não apenas por profissionais da área, mas por todos os públicos.

1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

A aplicação de protetores de superfície em um elemento de concreto aumenta sua durabilidade?

1.2. OBJETIVOS

O objetivo principal do trabalho é analisar o custo-benefício de sistemas de proteção superficial para concretos já contaminados ou não por íons de cloreto (Cl^-) e/ou dióxido de carbono (CO_2), consequentemente aumentando a durabilidade da estrutura.

Como objetivo secundário, podemos considerar a comparação de três categorias de produtos de proteção superficial: formadores de película, hidrofugantes de superfície e bloqueadores de poros.

1.3. HIPÓTESE

Pressupõe-se que ao se aplicar protetores superficiais nas estruturas de concreto, sejam elas novas ou antigas (já com algum dano) têm-se a durabilidade da estrutura aumentada.

1.4. JUSTIFICATIVAS

A busca por formas econômicas e ao mesmo tempo sustentáveis de se construir é uma responsabilidade que a engenharia assume com a sociedade. O processo de fabricação e aquisição dos materiais para construção e o processo de construção geram danos inegáveis para o meio ambiente.

Por exemplo, o alto consumo de cimento é preocupante uma vez que a sua produção é responsável por alta emissão de gás carbônico. Consequentemente, o uso do

material deve ser coerente e não é viável, portanto, uma construção que se degrade rapidamente ou que tenham pouco tempo de utilização.

Fator importante a ser considerado também é o impacto econômico de uma intervenção, que pode chegar a ser superior ao da construção de uma estrutura nova, devido ao elevado custo de uma intervenção para aumentar a durabilidade de uma estrutura no período de manutenção corretiva.

Assim, nota-se a importância do desenvolvimento de tecnologias como medidas preventivas e de manutenção que evitem a deterioração prematura, como por exemplo a aplicação de protetores superficiais.

O presente estudo se faz importante também no auxílio de escolha de sistemas de proteção superficial, para assim reduzir a taxa de corrosão do aço, tornando as edificações mais seguras para a sociedade, com um aumento de durabilidade dela. Também, a manutenção da estética se faz tão importante quanto a segurança quando se trata de estruturas de concreto aparente, uma vez que o aspecto do concreto está ligado à arquitetura da edificação.

1.5. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

O **Capítulo 1** apresenta o problema de pesquisa e seus objetivos, bem como delinea as principais justificativas para a realização deste estudo e os procedimentos metodológicos a serem adotados.

O **Capítulo 2** apresenta a revisão bibliográfica e discorre sobre os conceitos do concreto, durabilidade das peças e tipos de protetores superficiais para concretos.

O **Capítulo 3** apresenta a pesquisa para comparar as aplicações de protetores com base na eficiência e custo de cada protetor, bem como uma pesquisa para estimar o custo de recuperação de uma peça corroída.

O **Capítulo 4** apresenta a análise dos resultados dos estudos do Capítulo 3 com base na eficiência de cada produto.

O **Capítulo 5** apresenta a as considerações finais acerca da pesquisa e as recomendações para trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. CONCRETO

De acordo com Bastos (2019) “o concreto é um material composto, constituído por cimento, água, agregado miúdo (areia) e agregado graúdo (pedra ou brita), podendo também conter adições e aditivos químicos que melhorem ou modifiquem suas propriedades básicas.”.

De maneira sucinta Pedroso (2009), define concreto como uma pedra artificial que é moldada de acordo com a necessidade do homem, onde depois de endurecida, é comparada a uma rocha pela sua resistência. Já no estado fresco possui características plásticas, que permitem a modelagem de variados formatos e tamanho. O concreto convencional é composto de agregados graúdo (britas), agregados miúdos (areias), aglomerante (cimento) e água, sendo assim um material de fácil preparo, o tornando ideal para o uso na construção civil, e um dos melhores em custo/benefício no aspecto econômico e ambiental, quando comparado a outros elementos construtivos, como estruturas metálicas e madeiras.

Segundo Candido (2021) o material concreto apresenta uma ótima resistência à compressão, porém notou-se uma deficiência com relação à tração. Para corrigir essa deficiência foi introduzido aço, criando assim o concreto armado. Para Moraes (2020), ao adicionar armadura no concreto, une-se as qualidades da pedra com as qualidades do aço, promovendo ainda a necessária proteção do aço contra a corrosão.

As especificações de concreto para agregados e aglomerantes, sua dosagem, bem como as suas propriedades (trabalhabilidade, durabilidade, diagrama tensão-deformação, módulo de deformação longitudinal à compressão, ao módulo de deformação transversal, coeficiente de Poisson, ao coeficiente de dilatação térmica e à retração e fluência) conforme orientado na NBR 9062:2017, devem estar de acordo com outra norma técnica, a NBR 6118:2014 que regulariza os projetos e execução em concreto armado.

Com relação aos aditivos, conforme a NBR 9062:2017, “não podem conter ingredientes que proporcionem a corrosão do aço, sendo rigorosamente proibidos aditivos que contenham cloreto de cálcio ou quaisquer outros halogenetos.”.

2.2. CONCRETO PRÉ-FABRICADO E PRÉ-MOLDADO

A evolução da industrialização da construção civil está relacionada com o período de evolução das máquinas e ferramentas para produção de bens. De forma que gradativamente as atividades exercidas pelo homem com o auxílio de máquinas, foram sendo substituídas por mecanismos automatizados (SERRA et al., 2005).

As características do concreto pré-moldado possibilitam benefícios bastante importantes para a construção, tais como: diminuição do tempo de construção, melhor controle dos componentes pré-moldados e redução do desperdício de materiais na construção. Merecendo destaque ainda o fato de que, com o concreto pré-moldado, estariam sendo melhoradas as condições de trabalho na construção civil (EL DEBS, 2017).

Ainda citando El Debs (2017) “o emprego do concreto pré-moldado também possibilita atender melhor aos aspectos relacionados com a sustentabilidade, como a minimização dos desperdícios de material, a redução de consumo de materiais pelo uso de seções resistentes mais eficientes e a possibilidade de reutilização de partes da construção.”.

O concreto pré-moldado tem como sua principal característica ser um processo de construção moldada fora do local definitivo da obra, podendo ser diferenciada entre pré-moldado e pré-fabricado (EL DEBS, 2017).

A NBR 9062 (ABNT, 2017a) diferencia baseada no controle de qualidade da execução do elemento. Segundo ela, o elemento pré-fabricado é “[...] executado industrialmente, em instalações permanentes de empresa destinada para este fim, que se enquadram e estejam em conformidade com as especificações de 12.1.2”. Para os elementos pré-moldados, pela mesma referência, é “[...] moldado previamente e fora do

local de utilização definitiva na estrutura, conforme especificações estabelecidas em 12.1.1.”.

Dessa forma, podemos entender que o concreto pré-moldado teria um controle de qualidade menos rigoroso que um concreto pré-fabricado (EL DEBS, 2017).

2.3. DURABILIDADE DO CONCRETO

O conceito de durabilidade muda de acordo com a evolução das necessidades da construção civil e da sociedade. Conforme o conhecimento sobre os materiais utilizados na engenharia civil e sua interação com o meio ambiente aumenta, os conceitos de durabilidade e desempenho são incorporados na definição das propriedades do concreto armado (ALMEIDA, 2016).

Segundo a NBR 15575-1 (ABNT, 2013a, p. 6) a durabilidade é a “capacidade da edificação ou seus sistemas de desempenhar suas funções, ao longo do tempo e sob condições de uso e manutenção especificados no manual de uso, operação e manutenção.”.

Para Possan (2010), “outros fatores que também foram agregados a este grupo são os aspectos econômicos, relacionados com os custos do ciclo de vida, que englobam utilização e manutenção, e a questão de se buscar por soluções mais sustentáveis na Engenharia.”.

O avanço da tecnologia na fabricação do concreto, com melhorias nas propriedades dos aditivos, adições e ligantes possibilitou o aumento de resistência mecânica nas peças com redução de seção, porém o mesmo avanço não ocorreu na durabilidade da estrutura (MORAES, 2012).

A NBR 6118 (ABNT, 2014, p. 13) associa a responsabilidade do profissional com a durabilidade no trecho: “[...] capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e pelo contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto.”.

Para Figueiró et al. (2010), para assegurar a durabilidade de uma estrutura, o projeto deve além de garantir a não circulação desnecessária de água na superfície, garantir também a qualidade e espessura do cobrimento, que são essenciais para criar uma barreira física entre o meio ambiente e o aço.

O conceito de durabilidade também pode ser associado diretamente à vida útil, quando consideramos as características dos materiais e/ou componentes, as condições de exposição e as condições de utilização da edificação. Evidenciando que durabilidade não é uma propriedade apenas dos materiais, mas sim uma função relacionada com o desempenho desses materiais sob determinadas condições ambientais (POSSAN, 2013).

Para Kalsing (2020) a durabilidade do concreto possui relação direta com a facilidade que os fluidos, líquidos ou gasosos, ingressam e se deslocam dentro do concreto, podendo esse ingresso ser através do escoamento, absorção ou difusão.

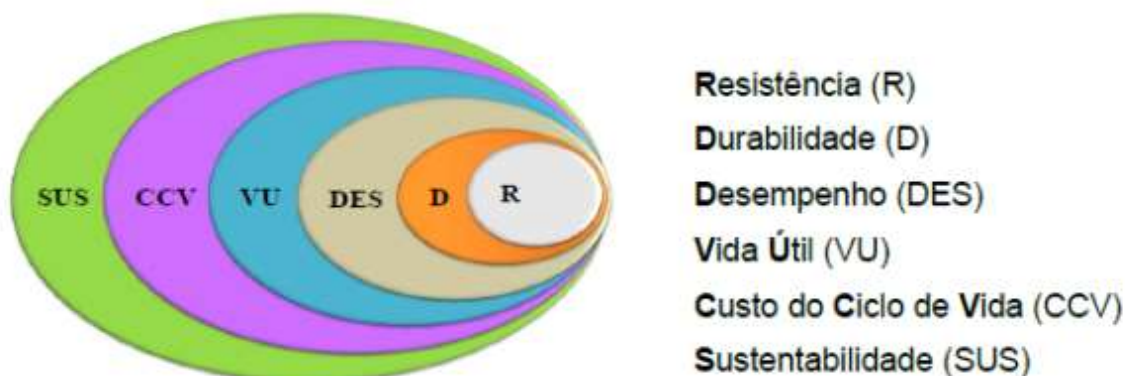
2.3.1. Vida útil

Para Possan (2013) a vida útil é o período compreendido entre o início de operação e uso de uma edificação até o momento em que o seu desempenho deixa de atender às exigências do usuário, sendo diretamente influenciada pelas atividades de manutenção e reparo e pelo ambiente exposto.

Para NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) o tempo em que uma estrutura é capaz de manter seu desempenho, considerando um processo de manutenção adequado previsto em projeto, é denominado vida útil (VU). Já o período o qual o sistema é projetado é denominado vida útil de projeto (VUP). Existem inúmeros fatores aleatórios de difícil previsão em projeto que alteram esses períodos, como por exemplo, alterações climáticas e nos níveis de poluição no local e mudanças no entorno da edificação, por isso estes valores são teóricos.

Para Possan (2013), o conceito do projeto das estruturas de concreto passou por grandes mudanças e evoluções, conforme representa da Figura 1 abaixo:

Figura 1: Evolução conceitual do projeto das estruturas de concreto.



Fonte: POSSAN, 2013.

Foi verificado que o concreto armado apresentava limitações e que somente o parâmetro resistência (R) era insuficiente para atender às exigências de projeto. Então se enfatizou a durabilidade (D) destas estruturas e dos seus materiais constituintes, aliando posteriormente este conceito ao desempenho (DES) das mesmas, ou seja, ao comportamento em uso. Contudo, ainda faltava inserir nos projetos a variável “tempo”, surgindo então os estudos de vida útil (VU). Atualmente, fatores como competitividade, custos e preservação do meio ambiente estão novamente impondo mudanças na maneira de se conceber estruturas, exigindo que estas sejam projetadas de forma holística, pensando no seu ciclo de vida (CV) e nos custos do ciclo de vida (CCV). A partir do CCV vários estudos podem ser conduzidos, com destaques às estimativas de custos de manutenção ao longo da vida útil, estudos de impacto ambiental, entre outros, auxiliando na seleção da melhor alternativa de projeto para novas estruturas ou de manutenção e reparo (POSSAN, 2013).

2.4. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS POR ATAQUE DE AGENTES AGRESSIVOS

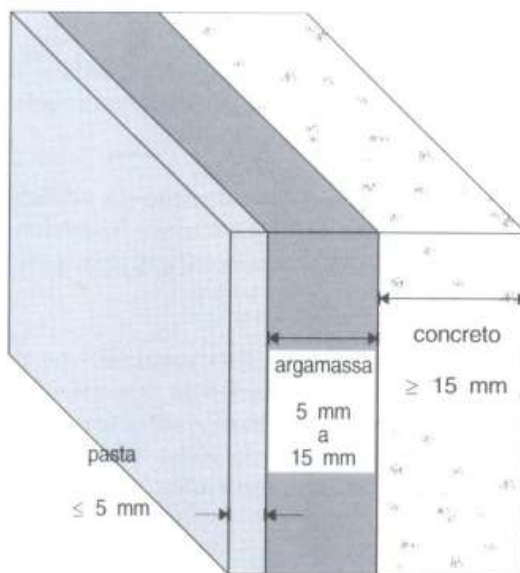
Já é da natureza do concreto armado, proteger a sua armadura contra a corrosão, impedindo o progresso da corrosão através de uma proteção química e uma barreira física: seja nas reações de hidratação do cimento que confere ao concreto um caráter

alcalino, proporcionando passivação do aço, como no cobrimento do concreto que protege a camada passivante da armadura contra danos físicos e mecânicos (UEMOTO, 1998).

Porém, segundo Candido (2021), mesmo executando uma obra seguindo as recomendações para o meio em que ela se encontra, a estrutura de concreto armado poderá sofrer degradação com o tempo. Isso porque a durabilidade dos seus constituintes é influenciada por vários fatores como: intempéries, ações mecânicas ou sobrecargas excedentes.

A estrutura da superfície visível do concreto é constituída por uma pasta de cimento. Esta pasta é responsável pela cor da superfície, normalmente cinza. Logo depois dela, se encontra uma concentração de argamassa, com cimento e grãos de dimensão inferiores a 0,2mm, não passando de uma espessura de 5 mm. Daí começam a aparecer os agregados graúdos e a homogeneidade comum do concreto. Abaixo um corte esquemático representando essas camadas na Figura 2 (HELENE, 1992).

Figura 2: Distribuição heterogênea do concreto



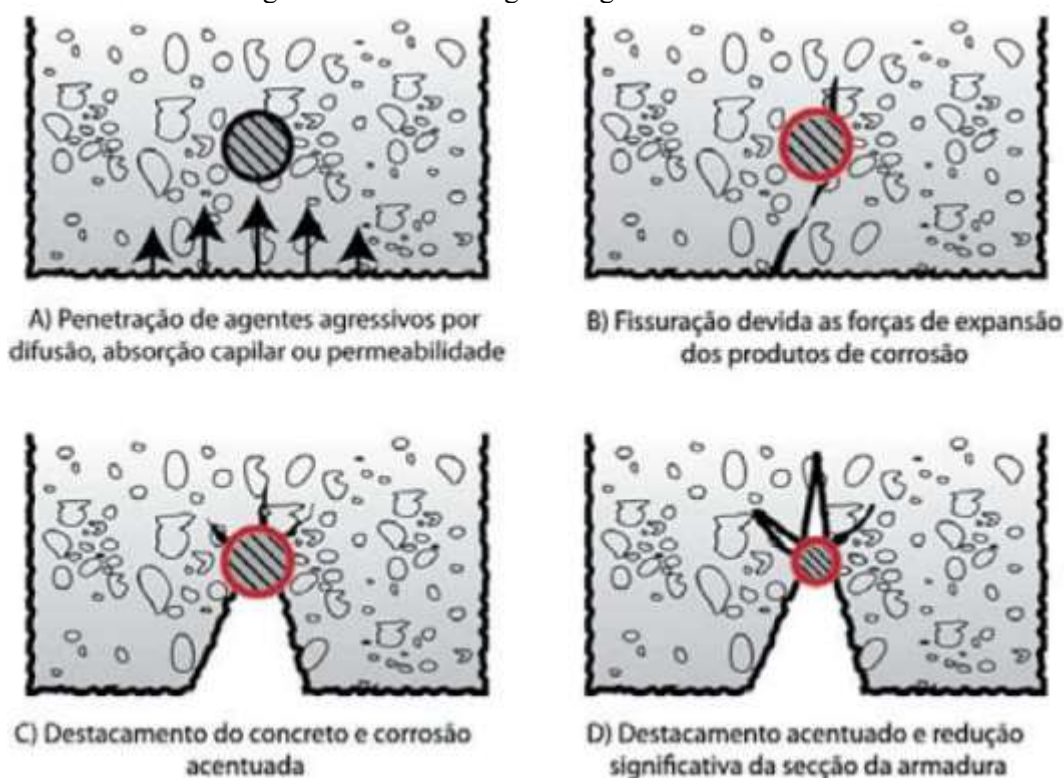
Fonte: HELENE, 1992.

Para Helene (1992), essa concentração de argamassa e pasta de cimento faz com que a superfície do concreto tenha características diferentes do seu interior, como maior porosidade, maior retração química e maior sensibilidade à ação da cura.

Assim, o concreto que envolve a armadura de aço pode não funcionar como uma barreira perfeita, seja por degradação ou executado sem os devidos cuidados, permitindo assim que as armaduras sofram ataques de íons agressivos ou de substâncias ácidas existentes na atmosfera, contribuindo para corrosão da armadura. Os principais agentes agressivos são o dióxido de carbono (CO_2), que é conhecido como o fenômeno de carbonatação, e os íons de cloreto (Cl^-). Havendo deficiência, a estrutura fica exposta e susceptível a degradação prematura (SALIBA et al., 2019).

A Figura 3 abaixo representa o processo da ação dos agentes agressivos no concreto e no aço:

Figura 3: Efeitos dos agentes agressivos e corrosão



Fonte: HELENE, 1986 *apud* KALSING, 2020.

2.4.1. Mecanismos de transporte no concreto

A penetração de agentes agressivos para o interior do concreto, como os íons de cloreto e o CO_2 , se dá através da porosidade da matriz cimentante. Os processos que governam esse ingresso são denominados de mecanismos de transporte, dentre os quais se destacam a difusão, a permeabilidade e a absorção capilar. O sol, a umidade relativa, o vento, a temperatura, são fatores condicionantes do processo. Já os fatores relacionados a questões de projeto e execução, como o fator água/cimento, o tipo e teor de cimento, presença de aditivos, cura, entre outros, podem dificultar ou facilitar a entrada destes agentes através do concreto (POSSAN, 2010).

Começando pela difusão, que segundo Possan (2010) é o transporte de massa que ocorre em um sistema, quando nele existe um gradiente de concentração química. A facilidade da difusão depende da umidade dos poros do concreto.

Para Medeiros (2008), é a ocorrência de um fluxo de íons partindo de regiões de alta concentração para regiões de baixa concentração e ao contrário do que ocorre nos mecanismos de permeabilidade e de absorção capilar, a difusão não depende do fluxo de água para penetração de agentes agressivos e sim da existência de eletrólito e um gradiente de concentração.

Já a permeabilidade é um fenômeno de transporte de um fluido através de um meio poroso impulsionado pela ação da pressão. Pode ser representada pelo coeficiente de permeabilidade, que é uma característica do material e é independente das propriedades do líquido (MEDEIROS, 2008).

Para Ferreira (2000), permeabilidade se resume na diferença da pressão de fluídos em superfícies opostas de um elemento estrutural.

E por fim a absorção capilar que para Ferreira (2000) é quando o meio líquido penetra nos poros do concreto devido a um mecanismo capilar. Medeiros (2008) diz que é um dos mecanismos de transporte que mais afeta a durabilidade das edificações, especialmente aquelas expostas à chuva, sujeitas a ciclo de umedecimento e secagem.

2.4.2. Carbonatação

Segundo Silva (2020), “é uma reação que ocorre em concretos expostos ao ambiente natural onde algumas condições como: temperatura, umidade e concentração de CO_2 , influenciam na velocidade do processo”.

Esse processo se apresenta devido à diminuição do pH da superfície do concreto, devido à reação físico-química entre o gás carbônico presente na atmosfera com os compostos hidratados do cimento. A consequência mais evidente, além da diminuição da seção do concreto, é a corrosão da armadura. Além disso, pode provocar fissuras, destacamento do cobrimento do aço e despassivação do aço, prejudicando sua aderência com o concreto (GAMA, 2021).

2.4.3. Íons de cloreto

A presença de íons de cloreto pode ser encontrada em duas situações: sejam pelos próprios componentes do concreto (aditivos, água etc.) ou por migração através da rede de poros. A migração normalmente ocorre em ambientes marinhos, porém podem ocorrer em ambientes industriais também, onde haja algum processo com a presença de íons de cloreto (FIGUEIRÓ et al., 2010).

De acordo com a norma europeia EN 1504-9 (2008) *apud* Figueiró et al. (2010), a presença de cloretos no cobrimento do concreto quebra a película de despassivação, mesmo esse cobrimento não comprometido pela carbonatação, iniciando o processo de corrosão das armaduras.

2.5. PROTEÇÃO SUPERFICIAL DO CONCRETO

As construções sempre estão sujeitas a processos deteriorantes enquanto interagem com o ambiente em que estão. É necessário portanto gerenciar estes processos, garantindo que a função da construção seja preservada. A umidade é um fator

contribuinte da iniciação e desenvolvimento desses processos degradantes (PASSUELO, 2006).

Considerando que a água contribui no transporte de substâncias agressivas à estrutura, a sua absorção está diretamente ligada à distribuição dessas substâncias pelos poros do concreto (PASSUELO, 2006).

As proteções de superfície têm como objetivo formar uma película não permeável no concreto, formando uma barreira entre o ambiente e a superfície do concreto, trazendo considerável proteção para estes elementos contra agentes agressivos, reduzindo a sua umidade interna e preservando o seu ambiente alcalino (OLIVEIRA, 2018).

Segundo Passuelo (2006), “de forma geral, pode-se afirmar que a criação de mecanismos para impedir ou reduzir o fluxo de água ao interior do concreto é uma medida importante para aumentar sua durabilidade.”.

Porém, Broomfield (1997) *apud* Medeiros (2008) afirmam que “se o processo de corrosão por contaminação de cloretos já estiver iniciado, é improvável que qualquer tipo de proteção superficial acabe com ele, porque existe umidade e oxigênio dentro do concreto, suficientes para mover o processo de corrosão.”.

Abaixo, a Figura 4 ilustra a importância da aplicação de protetores em cada período da vida útil da estrutura:

Figura 4: Efeito da proteção X Período da vida útil mais influenciado.

Efeito da proteção de superfície	Período da vida útil mais influenciado
Redução da umidade interna	Propagação (obras antigas)
Restrição ao ingresso de agentes agressivos	Iniciação (obras novas)

Fonte: MEDEIROS, 2008.

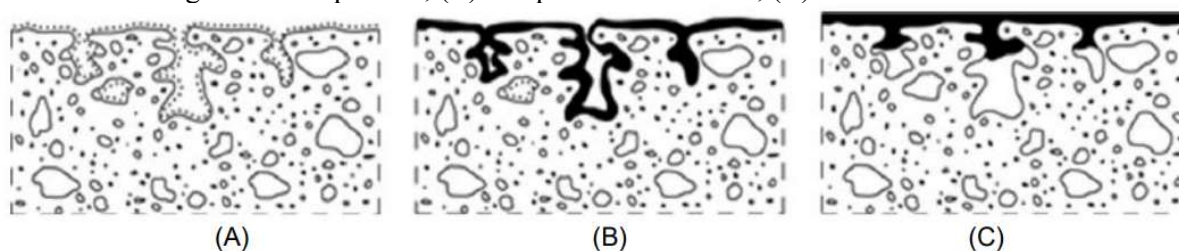
Segundo Medeiros (2008), quanto maior o tempo de exposição ao meio ambiente uma proteção superficial é submetida, menor a eficiência dela. Desse modo, o caminho do sucesso para os produtos de proteção superficial para concreto está no

estabelecimento de um programa de manutenção, considerando que cada material tem uma vida útil limitada.

Com isso, vale ressaltar que independentemente de a aplicação do protetor superficial ser na fase de iniciação (obras novas) ou de propagação (obras antigas), se não houver planejamento de manutenção dessa aplicação, será um esforço em vão de material e recursos financeiros (MEDEIROS, 2008)

Vamos abordar três grupos de protetores superficiais para concreto, conforme a Figura 5 abaixo: hidrofugantes de superfície, bloqueadores de poros e formadores de película.

Figura 5: Representação esquemática dos diferentes tipos de Protetores de Superfície do Concreto: (A) Hidrofugantes de Superfície; (B) Bloqueadores de Poros; (C) Formadores de Película.



Fonte: OLIVEIRA, 2018.

2.5.1. Revestimentos hidrofugantes de superfície

Dos procedimentos para proteção superficial do concreto, os hidrofugantes agem como impregnações hidrófobas impedindo ou dificultando a absorção de água por capilaridade, sendo utilizadas em superfícies de concreto verticais ou inclinadas, expostas ao intemperismo (MEDEIROS et al, 2006).

Segundo Oliveira (2018), “estes produtos com base de impregnação hidrófoba originam-se das resinas de silicone, este tipo de produto reveste internamente os poros, formando uma barreira contra a entrada de umidade.”.

Ao mesmo tempo, os filmes hidrófobos permitem que exista a troca de ar, afastando o risco de condensação e aprisionamento de umidade dentro da peça de concreto (OLIVEIRA, 2018).

Segundo Jacob e Hermann (1997) *apud* Medeiros et al (2006), “a eficácia dos hidrofugantes tem durado até 10 anos, quando aplicado sobre fachadas de concreto aparente, de pelo menos 6 meses de idade.”.

Agentes hidrofugantes sempre resultam de resina de silicone que são quimicamente combinadas com a base de concreto. Atualmente, os materiais mais utilizados são os silanos, siloxanos oligoméricos e a mistura desses dois compostos (MEDEIROS et al, 2015).

As principais características desse tipo de proteção são (HELENE, 1992):

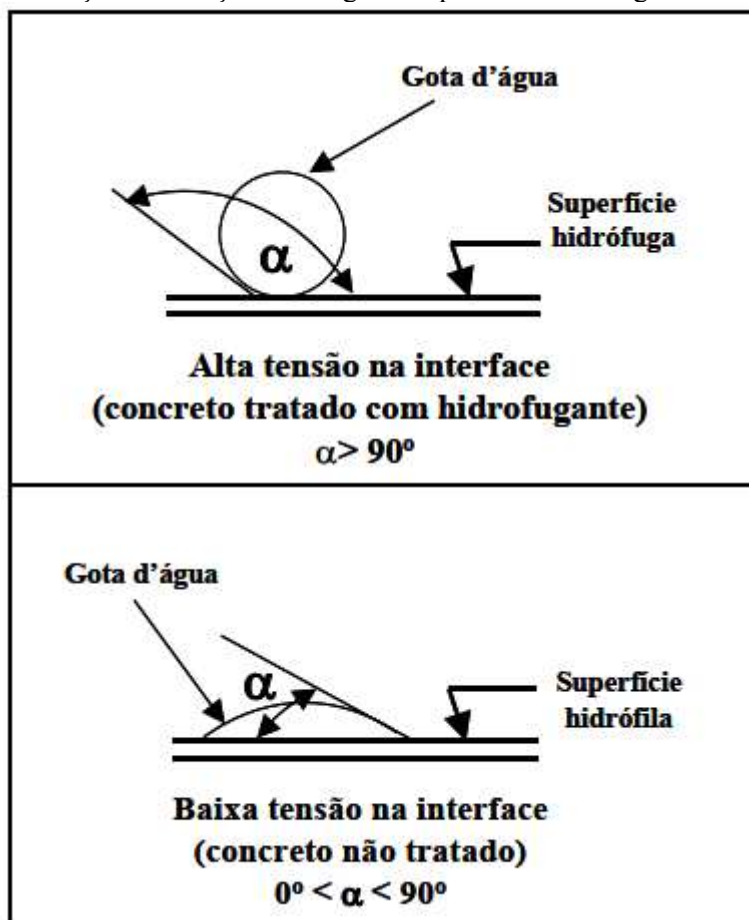
- Redução da capacidade de absorção de água das superfícies de concreto;
- Redução da permeabilidade a sais solúveis;
- Permitem a passagem do vapor de água existente nos poros capilares para o meio externo (secagem do concreto úmido);
- Possuem elevada capacidade de penetração nos poros capilares do concreto;
- Não alteram o aspecto estético da superfície;
- Não requerem superfície lisa e contínua para a aplicação, o que permite que seja usado sobre superfícies rugosas;
- Não impedem a carbonatação;
- Não impedem a penetração de água, gases e vapores sob pressão;
- Reduzem a lixiviação.

Como modo de atuação, quando um material poroso, como o concreto, tem contato com um líquido, como a água, esta será absorvida por capilaridade. A força capilar é influenciada pelo tamanho dos poros, pela viscosidade do líquido e pelo ângulo de contato entre a superfície (concreto) e o líquido (água). Considerando concreto e água, a viscosidade do material e a estrutura dos poros se mantem constantes, tendo alterações apenas no ângulo de contato (α). Quando temos ângulos de contato inferior a 90°, significa que existe atração molecular entre líquido/superfície, portanto as gotas tendem a se espalhar e serem absorvidas pelo concreto, chamado de material hidrófilo. Já quando temos ângulos de contato superiores a 90°, significa que a atração

líquido/superfície é mínima ou não existe, fazendo com que as gotas fiquem esféricas, escorrendo pela superfície. Neste último caso, se tem um material chamado hidrófugo (MEDEIROS et al, 2006).

A Figura 6 abaixo ilustra quando temos uma superfície hidrófila e hidrófuga:

Figura 6: Diferença de interação entre água e superfícies hidrófugas/hidrófilas.



Fonte: MEDEIROS et al, 2006.

É importante ressaltar que esse tipo de produto reveste internamente os poros, sendo considerado como um agente de impregnação, não uma pintura como os formadores de película (MEDEIROS et al, 2006).

Outro fator importante de citar é que o efeito hidrofugante é afetado por raios UV, porém apenas na camada superficial, uma vez que esses raios não penetram no concreto. Isso significa que para ter uma boa durabilidade do efeito repelente, é

necessário que exista uma penetração mínima do produto no concreto. Isso não é tão simples de se obter, uma vez que o concreto é um material menos poroso (se comparado com um bloco cerâmico, por exemplo) e cada vez mais se produz concretos mais densos e resistentes. (MEDEIROS et al, 2006).

2.5.2. Bloqueadores de poros

Para Thompson et al. (1997), este tipo de revestimento, geralmente à base de silicatos de sódio ou silicato à base de flúor, pode gerar ganhos em termos de dureza superficial, durabilidade química, resistência à abrasão e redução da permeabilidade.

Segundo Helene (1992), esse tipo de procedimento visa “tamponar os poros superficiais e endurecer as superfícies de concreto ou argamassa, impermeabilizando-os”.

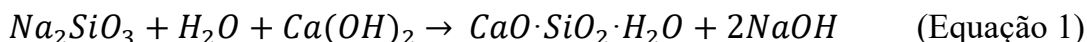
Mesmo sendo um produto com anos de existência, são poucos os estudos científicos e publicações técnicas (MEDEIROS, 2008).

Ainda citando Thompson et al. (1997), existem três teorias de como o silicato age, melhorando o desempenho do concreto:

- Precipitação de SiO_2 nos poros;
- Formação de um gel expansivo, similar ao formado na relação álcali silicato, dentro dos poros;
- Reação dos silicatos com o hidróxido de cálcio presente nos poros formando silicato de cálcio hidratado.

Atualmente, a última teoria é a mais aceita, considerando que com esse tratamento, uma camada menos porosa é formada na superfície do concreto, alterando a penetração de água na estrutura (MEDEIROS, 2008).

Teoricamente, este tipo de produto penetra nos poros superficiais do concreto e reage com a portlandita $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ formando o gel de C-S-H ($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) e o hidróxido de sódio. Abaixo a equação que representa o que acontece quando a solução de silicato de sódio penetra nos poros do concreto (THOMPSON, 1997):



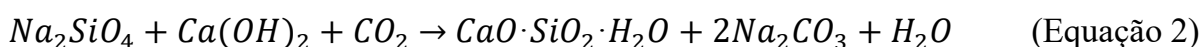
Dessa maneira, esse tratamento forma uma camada menos porosa na camada superficial do concreto, alterando a penetração de água no material.

De acordo com Medeiros (2008), “como a reação do tratamento é entre o silicato de sódio e a portlandita, é fácil compreender que em estruturas carbonatadas a reação acima não ocorre, já que na camada superficial o $Ca(OH)_2$ já reagiu com o CO_2 e deu origem ao carbonato de cálcio $CaCO_3$.”.

Nesses casos de concreto com a superfície já carbonatada, é necessário que seja feito uma impregnação com hidróxido antes da aplicação do silicato de sódio, ou seja, tornar a superfície alcalina novamente para obter resultados efetivos (OLIVEIRA, 2018).

Segundo Medeiros (2008), isso explica a afirmativa de Kagi e Ren (1995) de que para a obtenção de uma redução significativa da penetração de água no concreto ocasionada pelo tratamento com solução de silicato se faz necessário o concreto ser muito novo e repetidas aplicações efetuadas.

Porém, Bertolini et al (2013) *apud* Oliveira (2018) sugere em uma outra equação que a reação com o dióxido de carbono é presente na reação principal, e mesmo a estrutura não estando carbonatada, terá um dos produtos carbonatos alcalinos o qual poderão causar eflorescência na peça:



Para Oliveira (2018) “neste processo haverá redução da absorção de água, porém não será efetiva, pois o gel de C-S-H formado é hidrofílico, fator que diminui a efetividade de proteção das peças de concreto.”.

É importante enfatizar que os bloqueadores de poros devem ser aplicados depois que todas as cargas de projeto estejam em atuação e as fissuras e microfissuras ocorrerem. No entanto, os efeitos do ambiente podem causar mais fissuras. Se houver fissuras (grandes o suficiente para serem visíveis) antes da aplicação dos silicatos, é necessário repará-las antes de se realizar o tratamento da superfície. Se houver fissura

após o tratamento, elas precisam ser tratadas imediatamente devido à ruptura da camada de baixa porosidade. (MEDEIROS et al, 2015)

É importante lembrar que, qualquer seja a dimensão da fissura, os poros restantes serão menores do que se não houvesse o bloqueador de poros na superfície. Então, o ataque externo do meio ambiente será isolado na área fissurada e as outras regiões continuarão protegidas. (MEDEIROS et al, 2015)

Esse tipo de tratamento deve ser usado com cautela, uma vez que podem reduzir ou até impedir a aderência tintas e revestimentos posteriores, assim como não protegem a estrutura contra-ataques químicos intensos (HELENE, 1992).

2.5.3. Revestimentos formadores de película

São produtos poliméricos formadores de película com capacidade de formar um filme sólido que pode ser dividido em tintas e vernizes (KALSING, 2020).

Enquanto as tintas são formuladas com quatro componentes básicos (resinas, solventes, pigmentos e aditivos) os vernizes são constituídos com três componentes (resinas, solventes e aditivos). Sobre os componentes, temos como definição que os solventes são veículos geralmente voláteis que dissolvem as resinas garantindo viscosidade adequada à mistura; as resinas são veículos poliméricos não voláteis, agentes formadores do filme, de grande importância nas propriedades da película; os pigmentos são substâncias responsáveis pela cor, brilho, opacidade, atividade química protetiva e carga inerte e os aditivos responsáveis por terem funções de secagem rápida, antimoho e plastificante por exemplo (OLIVEIRA, 2018)

Justamente por não possuírem cor (pigmento), normalmente os vernizes têm menor durabilidade quando comparado as tintas (KALSING, 2020).

Pelo ponto de vista arquitetônico, esse grupo de tratamentos de superfície modifica a estética da estrutura adicionando brilho ou cor à superfície do concreto, que algumas vezes é desejada e outras não (HELENE, 2000 *apud* MEDEIROS et al, 2015).

Em geral, os produtos dispersos em água são menos duráveis, com menor poder de penetração, sendo menos eficientes que os dispersos em solventes. Enquanto os produtos de base epóxi possuem maior aderência ao concreto e maior resistência química e mecânica. Porém, não possuem boa resistência a radiação UV e são ideais para ambientes internos e atmosferas industriais agressivas (HELENE, 2000 *apud* MEDEIROS, 2008).

A proteção oferecida por esses produtos depende da qualidade da resina e da sua formulação. É importante frisar que a durabilidade da proteção também dependerá da boa preparação da superfície e do uso adequado do produto. Quando o porte da obra justificar o investimento, é recomendado efetuar ensaios prévios de avaliação do comportamento do sistema de proteção (HELENE, 2000 *apud* MEDEIROS, 2008).

Os formadores de película apresentam a vantagem de prover uma barreira física na superfície do concreto, que o isola de agentes agressivos do ambiente externo. Esses produtos exigem um substrato homogêneo e liso com poros de dimensão máxima igual a 0,1 mm. Isso significa que são capazes de cobrir fissuras de até 0,1 mm. No entanto, a película rompe se o concreto fissurar depois de ter sido realizada a pintura. Além disso, se o concreto estiver com elevada umidade interna antes da aplicação, a película não permite que o concreto seque. Isso pode deteriorar o filme de proteção, causando a formação de bolhas devido à pressão de vapor da umidade interna (MEDEIROS et al, 2015).

Segundo Helene (1992), as principais características desse tipo de proteção são:

- Redução da carbonatação;
- Redução da lixiviação;
- Redução da permeabilidade e difusividade a sais solúveis;
- Redução do surgimento de mofo e inibição do crescimento de fungos e bactérias;
- Não permitem a secagem do concreto úmido;
- Alteração da estética original do concreto, conferindo brilho ou cor a superfície;

- Requerem superfície uniforme e homogênea.

Esta última característica, portanto, limita que a superfície não seja muito rugosa, de baixa permeabilidade e com presença de desmoldante. Nesses casos, se faz necessário realizar um tratamento de estucamento antes da aplicação da pintura (MEDEIROS, 2008).

Com um parâmetro qualitativo para as pinturas, é comum o uso do PVC (Pigment Volume Content), com a seguinte formula:

$$PVC = \frac{V_p}{V_p + V_v} \times 100 \quad (\text{Equação 3})$$

Sendo:

V_p = Volume do pigmento;

V_v = Volume do veículo sólido.

O PVC é definido como o valor porcentual do volume de pigmento com relação ao volume total de sólidos do filme seco (UEMOTO, 1998).

Conforme Uemoto (1998) “o teor de pigmento presente na formulação da tinta é um fator que influi de modo significativo na porosidade e permeabilidade de um sistema de proteção por barreira.”

Segundo Medeiros (2008), estudos comprovaram que quanto maior o valor de PVC, maior é a absorção de água do elemento protegido com pintura.

Esses estudos mostram que um elevado teor de pigmento significa proporcionalmente um baixo teor de resina; desta forma, em uma tinta de alto PVC há muito pigmento para pouca resina. Uma vez que a resina é a responsável pela permeabilidade da tinta, temos que quanto maior o teor de pigmento, mais porosa é a película de tinta (menor eficiência de proteção) e quanto menor o teor de pigmento, menos porosa é a película de tinta (maior eficiência de proteção) (UEMOTO, 1998).

Podemos considerar que pinturas de alto brilho apresentam PVC baixo (entre 15% e 25%), pinturas de semibrilho apresentam PVC mediano (entre 30% e 40%) e as pinturas de acabamento fosco apresentam PVC alto (superior a 40%). Portanto, as

pinturas de acabamento brilhante têm menor permeabilidade quando comparada as pinturas de acabamento fosco (MEDEIROS, 2008).

Para Helene (1992), vale ressaltar que as características superficiais do concreto influenciam significativamente a performance e aderência do sistema de pintura. Por isso, a qualidade da tinta ou do verniz é de extrema importância para exercer a devida proteção.

2.5.4. Considerações para escolha de produto

De acordo com Basheer et al. (1997) *apud* Medeiros (2008) ainda não existe um critério bem definido das principais propriedades dos sistemas de tratamento superficial, portanto se faz necessário padronizar mais procedimentos de ensaios para o desenvolvimento de uma metodologia de escolha de produto. Existe ainda muitos fatores a serem considerados para seleção do sistema, dessa forma os autores resumiram alguns abaixo na Figura 7.

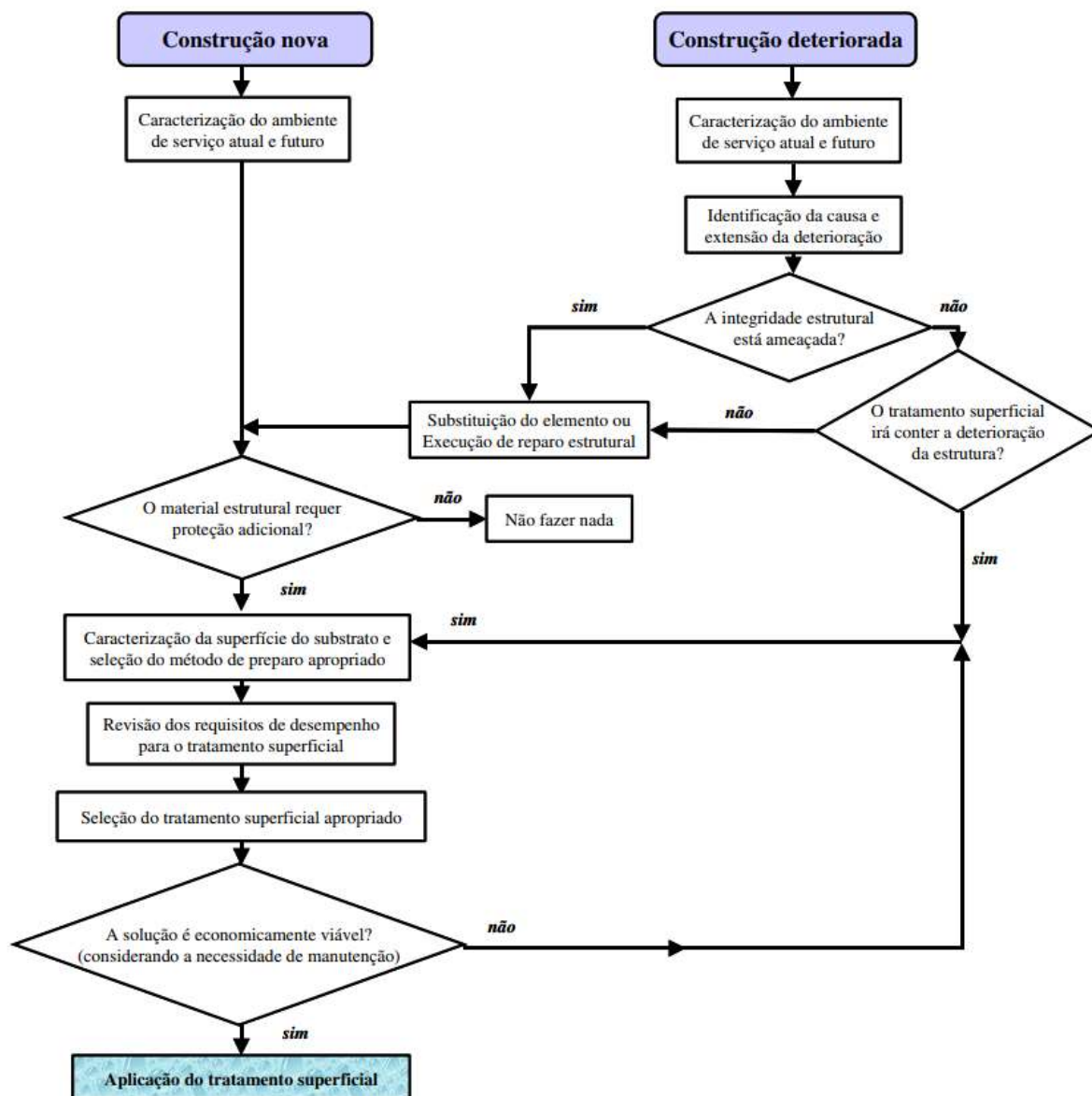
Figura 7: Fatores para considerações na seleção de sistema de proteção superficial.

Aspecto	Consideração
Substrato original	Material de construção Construção nova ou trabalho de reabilitação Presença de pintura Contaminação da superfície
Ambiente	Atmosfera (marinha, urbana, rural, etc) Presença de umidade Presença de agentes químicos
Durabilidade do sistema de proteção	Aderência Resistência à radiação UV Resistência ao ingresso de água Resistência química Resistência ao impacto Elasticidade
Condições de aplicação	Por pincel ou projeção Preparo da superfície Tolerância da umidade do substrato Temperatura Condições de acesso
Custo	Custo unitário do material Número de demãos necessárias Espessura do filme Custo com laboratório Custo de manutenção

Fonte: BASHEER et al., 1997 *apud* MEDEIROS 2008.

Abaixo, a Figura 8 ilustra um fluxograma como uma forma de balizar a escolha do sistema tanto para casos de construções novas como antigas/deterioradas.

Figura 8: Fluxograma para escolha de sistema de proteção.



Fonte: BASHEER et al., 1997 *apud* MEDEIROS, 2008.

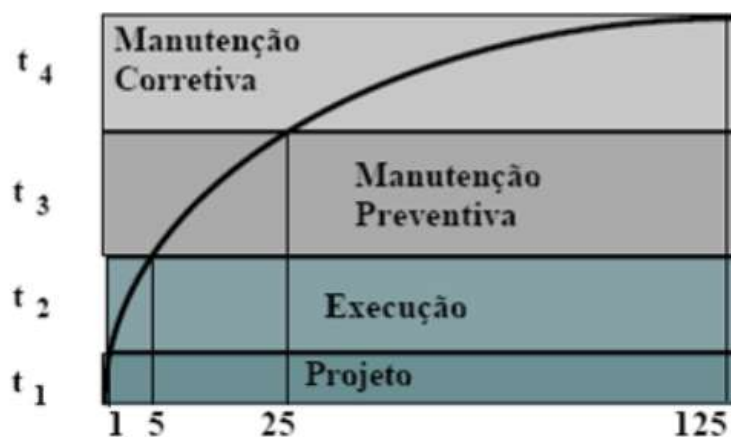
Para Medeiros (2008), a escolha de um sistema não deve ter como base apenas sua eficiência. É extremamente importante que se leve em consideração a capacidade desse sistema manter suas características ao longo do tempo. É fundamental que se analise a eficiência em conjunto com a durabilidade do sistema.

2.5.5. Custos de manutenção com protetores superficiais

A análise de identificação e proposição de ataque às manifestações patológicas é apropriada se comparada ao custo de mudanças tardias quando as manifestações já ocorreram. Com esse raciocínio, ao se avaliar o custo de evitar um problema patológico em diferentes fases de uma obra, percebe-se que quanto maior o tempo de identificação de uma manifestação patológica por falta de planejamento, maior será o custo de reparo (LIMA, 2019).

Segundo Moraes (2012), a lei de evolução de custos, conhecida também como lei de Sitter, demonstra que “adiar uma intervenção significa aumentar os custos diretos em progressão geométrica na razão 5 (cinco)”, conforme a Figura 9 abaixo:

Figura 9: Lei da evolução de custos.



Fonte: MORAES, 2012.

Para Lima (2019), os custos de intervenção crescem exponencialmente conforme o tempo de ação, considerando as seguintes fases:

- Fase de projeto (t₁): representa o custo de referência, fase em que podem ser adotados cuidados iniciais;

- b) Fase de execução (t2): a partir daqui a intervenção implicará num aumento de 5 (cinco) vezes o gasto na fase de projeto;
- c) Fase de manutenção preventiva (t3): seguindo o exponencial, nessa fase a intervenção terá um gasto 25 (vinte e cinco) vezes maior do que aquele tomada na fase de projeto;
- d) Fase de manutenção corretiva (t4): fase de reparo das estruturas com manifestações patológicas visíveis, custeando 125 (cento e vinte e cinco) vezes a mais dos custos que deveriam ter sido tomadas na fase de projeto.

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Com o objetivo de complementar esse trabalho, este capítulo trata de uma pesquisa com três diferentes fabricantes de produtos para serem aplicados como protetores superficiais, apresentando dados informados por cada fabricante, de acordo com cada produto. Também foi estimado o custo de material para recuperação de uma peça quando já comprometida por corrosão, de forma paliativa, para verificar se realmente é vantajoso financeiramente investir em métodos preventivos como os protetores superficiais.

3.1. APLICAÇÃO DE PROTETORES SUPERFICIAIS

A pesquisa foi realizada por conta da necessidade de analisar a escolha de um produto a ser aplicado, considerando seu custo e sua aplicação. Para tal, foi realizada uma pesquisa de mercado e revisão bibliográfica, onde foi buscado informações como rendimento de cada produto, custo por litro, formas de aplicação, tempo de manutenção e contra quais agentes agressivos cada produto atendia.

Para a aplicação dos produtos, foram escolhidas placas pré-fabricadas de concreto armado, com ambas as faces lisas e entregues em concreto aparente. Sobre os produtos, foram escolhidos três fabricantes, sendo um fabricante para protetores em

forma de pintura/tintas, outro fabricante para o produto em forma de verniz e outro de protetores hidrofugantes.

Foram considerados os seguintes produtos:

- A1: Formador de película – pintura acrílica com pigmento
- A2: Formador de película – verniz acrílico
- B1: Hidrofugante – base solvente
- B2: Hidrofugante – base água

Segundo os fabricantes, temos as seguintes especificações:

O produto A1 é uma pintura acrílica impermeabilizante, pronta para uso, que permite pigmentação com corante líquido em tons claros. Pode ser aplicada sobre reboco, concreto, fibrocimento e massa acrílica, tendo um consumo de 95 a 100 ml/m²/demão.

O produto A2 é um verniz acrílico disperso em água, pronto para uso, com acabamento de semibrilho. Pode ser aplicado em fachadas, áreas internas ou externas, tendo um consumo de 100 a 200 ml/m²/demão.

O produto B1 é uma impregnação repelente à água, à base de silano e siloxano dispersos em solvente, incolor. Pode ser aplicado em fachadas de concreto aparente, em argamassa, tijolos, blocos cerâmicos, entre outros. Têm consumo de 500 a 1000 ml/m²/demão.

Por último, o produto B2 é uma impregnação repelente à água, à base de uma emulsão de silano e siloxano dispersos em água. Assim, como o B1, pode ser aplicado em fachadas de concreto aparente, em argamassa, tijolos, blocos cerâmicos, entre outros. Têm consumo de 350 a 500 ml/m²/demão.

Quando é analisada a forma de aplicação de cada produto, é fornecida a seguinte recomendação pelos fabricantes:

Quadro 1: Recomendações de formas de aplicação.

PRODUTOS		FORMAS DE APLICAÇÃO
FORMADORES DE PELÍCULA	A1	pincel ou rolo
	A2	pincel, rolo ou pulverizador
HIDROFUGANTES	B1	pincel, rolo ou pulverizador
	B2	pincel, rolo ou pulverizador

Fonte: [1], [2], [3], [4].

Nota-se que caso o produto A1 necessite ser aplicado em uma grande área, este pode ser mais trabalhoso e até mesmo inviável, uma vez que não se pode usar a pulverização como forma de aplicação.

Para Helene (1992), como normalmente se tem grandes áreas de concreto para serem protegidas, o melhor método de aplicação é a pulverização. A aplicação deste método deve ser evitada sob ação do vento. Já a aplicação com pincéis é indicada para pequenas áreas enquanto os rolos são recomendados quando se tem superfícies planas e uniformes.

No determinado período de pesquisa, não foi encontrada informações suficientes tanto por parte de fabricantes como em buscas literárias sobre os produtos à base de silicato (bloqueadores de poros). Por isso não pode ser comparado com os outros produtos.

Fatores que foram analisados na comparação, relacionados nas tabelas seguintes:

- Estimativas de tempo para manutenção;
- Proteção contra agressões de cloretos e dióxido de carbono;
- Custos de cada produto.

Na sequência são apresentadas as informações dos fabricantes:

[1]: <https://www.cec.com.br/tintas-e-acessorios/vedacao-e-impermeabilizacao/tintas-impermeabilizantes-para-paredes/impermeabilizante-para-parede-fuseprotec-18-litros?produto=1376527>
[2]: <https://www.impermarket.com.br/mc-color-proof-pure-18l-1551/p>
[3]: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2724631910-sika-silicone-hidro-repelente-36-lt-_JM
[4]: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2127042184-sikagard-balde-18-l-silicone-w-_JM#position=5&search_layout=stack&type=item&tracking_id=bd85e024-76c1-42c9-b1ad-1afd3928c3f4

Tabela 1: Relação de tempo estimado de reaplicação de cada produto, em anos.

PRODUTOS		TEMPO ESTIMADO DE REAPLICAÇÃO (ANOS)
FORMADORES DE PELÍCULA	A1	2
	A2	2
HIDROFUGANTES	B1	4
	B2	0,5

Fonte: [1], [2], [3], [4].

Quadro 2: Relação de proteção contra agentes agressivos.

PRODUTOS		PROTEÇÃO CONTRA AGENTES AGRESSIVOS:	
		CLORETOS (Cl^-)	Dióxido de Carbono (CO_2)
FORMADORES DE PELÍCULA	A1	SIM	SIM
	A2	SIM	SIM
HIDROFUGANTES	B1	SIM	NÃO
	B2	SIM	NÃO

Fonte: [1], [2], [3], [4].

A nível de comparação, foram considerados quatro produtos protetores de superfície, cada um aplicado em quatro painéis pré-fabricados de 5,00m de comprimento por 1,00m de altura, separando para cada produto uma área 5,00 m².

Com isso, foi realizada uma busca de mercado de quanto custaria a aplicação de cada produto para essa determinada área, apenas do material, sem mão de obra. Considerando que os tempos de reaplicação são múltiplos, estima-se o tempo de reaplicações de 4 em 4 anos.

O produto B1 apresenta o maior custo, por isso, será tomado como base para exemplificar os outros custos na Tabela 2 abaixo:

Tabela 2: Investimento necessário para primeira aplicação de cada produto (%).

PRODUTOS		1ª APLICAÇÃO
FORMADORES DE PELÍCULA	A1	10%
	A2	35%
HIDROFUGANTES	B1	100%
	B2	25%

Fonte: [1], [2], [3], [4].

[1]: <https://www.cec.com.br/tintas-e-acessorios/vedacao-e-impermeabilizacao/tintas-impermeabilizantes-para-paredes/impermeabilizante-para-parede-fuseprotec-18-litros?produto=1376527>

[2]: <https://www.impermarket.com.br/mc-color-proof-pure-18l-1551/p>

[3]: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2724631910-sika-silicone-hidro-repelente-36-lt-_JM

[4]: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2127042184-sikagard-balde-18-l-silicone-w-_JM#position=5&search_layout=stack&type=item&tracking_id=bd85e024-76c1-42c9-b1ad-1afd3928c3f4

Pela tabela identifica-se que, considerando apenas o fator custo do material, em ordem decrescente de preço tem-se o seguinte: B1 com o maior custo de investimento inicial, seguido do A2, B2 e por último com o menor custo o produto A1. Supõe-se que a tecnologia atribuída ao produto B1 faça este encarecer em uma análise imediatista.

Porém, não é ideal que se analise apenas o custo de material inicial, sem considerar suas manutenções necessárias, uma vez que o tempo necessário para reaplicações pode impactar no investimento final quando se faz uma perspectiva futura. Com isso, se obtém a seguinte Tabela 3:

Tabela 3: Investimento em 4 anos de aplicação de cada produto (%).

PRODUTOS		1ª APLICAÇÃO	EM 4 ANOS
FORMADORES DE PELÍCULA	A1	10%	20%
	A2	35%	71%
HIDROFUGANTES	B1	100%	100%
	B2	25%	198%

Fonte: [1], [2], [3], [4].

Assim, no final do quarto ano, surgem novas informações de custos, sendo em ordem decrescente o B2 com o maior custo de investimento ao longo de quatro anos, seguido do produto B1, A2 e por último com o menor custo o produto A1. Nota-se que de fato quando é feita uma perspectiva futura de custos, a ordem dos produtos muda, obtendo-se a seguinte comparação de investimentos dos outros produtos em relação ao produto B1:

Tabela 4: Relação de economia em relação ao produto B1, em porcentagem.

PRODUTOS		DIFERENÇA
FORMADORES DE PELÍCULA	A1	80%
	A2	29%
HIDROFUGANTES	B1	0%
	B2	-98%

Fonte: [1], [2], [3], [4].

[1]: <https://www.cec.com.br/tintas-e-acessorios/vedacao-e-impermeabilizacao/tintas-impermeabilizantes-para-paredes/impermeabilizante-para-parede-fuseprotec-18-litros?produto=1376527>

[2]: <https://www.impermarket.com.br/mc-color-proof-pure-18l-1551/p>

[3]: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2724631910-sika-silicone-hidro-repelente-36-lt-_JM

[4]: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2127042184-sikagard-balde-18-l-silicone-w-_JM#position=5&search_layout=stack&type=item&tracking_id=bd85e024-76c1-42c9-b1ad-1afd3928c3f4

Ao interpretar os dados, têm-se que ao aplicar o produto A1, no final do quarto ano, têm-se uma economia de 80% em relação ao valor investido para o produto B1, enquanto para o produto A2, uma economia de 29% para o mesmo período e o produto B2 há a necessidade de acréscimo de investimento de quase o dobro do produto B1. Todos os valores foram considerados a aplicação por m².

Para a escolha de um sistema de proteção, é necessário que ao menos os seguintes itens sejam definidos:

- Ambiente: o protetor escolhido protege contra o agente agressor que a estrutura é atacada em seu ambiente?
- Condições de aplicação: a forma de aplicação do protetor escolhido é viável? Seja no manuseio dos equipamentos necessários como no acesso à estrutura.
- Custo: quantas demãos o produto necessita? Qual o tempo de manutenção necessária?

Assim, percebe-se que a escolha do sistema de proteção não deve se basear apenas na busca de mercado pelo produto mais barato, por exemplo. É muito importante que se leve em consideração a eficiência desse produto em conjunto com a sua durabilidade.

3.2. ESTIMATIVA DE RECUPERAÇÃO DE UMA PLACA CORROÍDA

Esta pesquisa foi realizada baseada em uma placa sem tratamento de superfície inicial, com uma região já comprometida por corrosão. Neste item não terá um profundo estudo sobre o assunto de recuperação de estrutura, uma vez que o objetivo do trabalho não é este. Será feita uma abordagem superficial, servindo apenas para a comparação de protetores de superfície com um tratamento mais invasivo.

A recuperação estrutural se entende pelas etapas que devem ser seguidas para devolver a estrutura suas condições originais. Essas etapas devem garantir que a corrosão existente seja removida (MORAES, 2012).

Dessa forma, será considerado que a placa já recebeu o diagnóstico de corrosão e a sua superfície já recebeu o devido preparo, com a área a ser recuperada demarcada, o concreto desta área removido e as armaduras devidamente limpas, de forma que não será custeado nenhum desses serviço, apenas o material de reparo.

Foi investigado no mercado o produto para recuperação a argamassa polimérica. Esta, segundo o fabricante, é composta por fibras sintéticas e aditivos que garantem o desempenho necessário ao reparo estrutura. Também contém inibidor de corrosão, com agente adesivo integrado. Com esse produto, não é necessário a aplicação de pintura anticorrosiva nas armaduras nem a aplicação de uma ponte de aderência, agilizando a reparação da estrutura.

Com base em busca de preços no mercado, têm-se a seguinte comparação deste material com os protetores de superfície:

Tabela 5: Relação de economia em relação ao material para recuperação estrutural, em porcentagem.

PRODUTOS		DIFERENÇA
FORMADORES DE PELÍCULA	A1	94%
	A2	78%
HIDROFUGANTES	B1	38%
	B2	85%

Fonte: [5].

Para obtenção dos dados, subtrai-se do custo do material para recuperação estrutural o custo de cada protetor superficial, nesse caso os produtos A1, A2, B1 e B2, e divide-se pelo custo do material para recuperação estrutural, obtendo-se os valores em porcentagem.

Dessa forma, têm-se que todos os custos de materiais para a primeira aplicação de protetores superficiais são mais econômicos quando comparado ao material para recuperação da peça. Sendo então o seguinte raciocínio: quando é escolhido inicialmente proteger a peça com algum tipo de protetor superficial, têm-se os seguintes valores de economia:

- Para o produto A1, por m², a primeira aplicação custará 94% a menos que uma futura aplicação de recuperador da estrutura;

- Para o produto A2, por m², a primeira aplicação custará 78% a menos que uma futura aplicação de recuperador da estrutura;
- Para o produto B1, por m², a primeira aplicação custará 38% a menos que uma futura aplicação de recuperador da estrutura;
- Para o produto B2, por m², a primeira aplicação custará 85% a menos que uma futura aplicação de recuperador da estrutura;

Vale ressaltar também o risco para a segurança da estrutura e consequentemente da sociedade quando se opta por não tratar adequadamente a estrutura. É de extrema importância que haja o entendimento que é melhor investir em medidas preventivas e em manutenções do que adiar um custo que se tornará grande e perigoso.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Quando se tem estruturas de concreto pré-fabricado, por ser um concreto projetado com maior controle de qualidade tanto de matérias primas para produção como de fabricação das peças, consequentemente têm maior durabilidade, com baixa manutenção.

Porém, no nosso ambiente existem vários agentes agressivos que interferem na durabilidade da estrutura de concreto, como por exemplo umidade, poluição, agentes biológicos, entre outros. Essas interferências podem além de acelerar o processo de corrosão da armadura, deteriorar também a superfície do concreto, alterando a durabilidade prevista em projeto.

Ao tratar de concretos de estruturas pré-fabricadas, existe uma vantagem pois esses concretos possuem qualidade superior, considerando que são concretos projetados, portanto de durabilidade maior. Adicionando uma proteção superficial, consegue-se ainda melhores resultados, porém é necessária uma análise sobre qual tipo de protetor adotar, pois o concreto pré-fabricado normalmente tem sua superfície mais lisa, por ser um concreto de alta resistência, então para a aplicação de produtos hidrofugantes por exemplo, pode ser problemático, já que o produto precisa ter boa aderência na peça.

Um problema identificado em todos os tratamentos de superfície (hidrofugantes, bloqueadores de poros e formadores de película) é que eles não absorvem a deformação do substrato de concreto. Isso significa que a camada de proteção formada rompe se o concreto fissurar, causando imediatamente imperfeição do sistema de proteção.

Um fator para se atentar ao escolher o protetor é a região que se localiza a estrutura. Por exemplo, se a região tiver alta incidência UV, o hidrofugante pode ter sua eficiência prejudicada, principalmente se não tiver uma boa aderência na peça.

Por literatura, os bloqueadores de poros mostraram uma eficácia inferior quando comparado com os outros, podendo estar relacionado também pelo fato de existir pouca pesquisa relacionada ao assunto, enquanto os formadores de película mostraram mais eficácia.

Quando consegue se comparar valores, os formadores de película mostram resultados mais interessantes, principalmente por desempenho e custo de material, quando comparados com hidrofugantes, uma vez que os produtos hidrofugantes pesquisados não apresentavam proteção UV e suas aplicações de manutenções acumularam maior custo final. Vale ressaltar que a pesquisa realizada considerou apenas o custo do material gasto.

Outros fatores relevantes são o tempo de cada manutenção, uma vez que dependendo do acesso da estrutura, pode não ser viável ficar deslocando equipes para aplicações de manutenção. Também deve ser considerada a arquitetura da estrutura, se esta permite o uso de produtos como vernizes e tintas, que alteram as características estéticas do concreto. Dessa forma, um conjunto de fatores devem ser avaliados e considerados na escolha do protetor.

Ainda, ao comparar os custos de protetores superficiais com os custos de uma recuperação de armadura com corrosão, nota-se que o investimento necessário para se recuperar a estrutura é sempre superior quando se comparado aos outros tipos de tratamentos preventivos aqui tratados. Vale ressaltar que, ao optar por uma manutenção corretiva, têm-se além do custo superior, a segurança da estrutura colocada em risco.

Por isso, observa-se que é melhor o elemento de concreto ter um sistema de proteção, mesmo que esse sistema tenha baixo desempenho, do que ter a estrutura desprotegida, correndo risco de necessitar de um tratamento mais invasivo como a recuperação de armadura corroída.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a pesquisa realizada, podemos corroborar que a proteção de superfície no concreto pode ser um meio eficiente de inibição da penetração de agentes corrosivos no concreto. Isso indica que esses sistemas devem ser usados para aumentar a vida útil e durabilidade do concreto armado.

Como valor prático, esta pesquisa teve grande importância para a ampliação dos conhecimentos teóricos acadêmicos e práticos, uma vez que para realização da revisão de literatura foi necessária uma ampla pesquisa.

Ainda, esse estudo permitiu perceber a necessidade de maiores pesquisas relacionadas a protetores de superfície. Para a realização da revisão bibliográfica, nota-se que o acesso a literatura sobre o assunto é limitado, o que dificulta o alcance de divulgação.

Dada a importância do assunto, segue como sugestão para próximos trabalhos os seguintes pontos:

- Estudar se a interatividade entre diferentes tipos de protetores quando aplicados de maneira intercalada afeta a aderência de um dos sistemas aplicado anteriormente.
- Ampliar estudos sobre a aplicação silicato de sódio e suas interações com o concreto.
- Estudar a capacidade de resistência de outros tipos de protetores (bloqueador de poros e formadores de película) aos raios UV.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto - procedimento.** Rio de Janeiro, 2014.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062 – Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado.** Rio de Janeiro, 2017.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1 – Edificações habitacionais – desempenho parte 1: requisitos gerais.** Rio de Janeiro, 2013a.

ALMEIDA, D. M. **Influência de manifestações patológicas precoces e erros construtivos em estruturas de concreto armado: proposição de uma escala de impacto na durabilidade.** Trabalho de Conclusão de Curso. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016.

BASTOS, P. S. S. **Fundamentos do concreto armado.** Bauru, 2019.

BASHEER, P. A. M.; BASHEER, L.; CLELAND, D. J.; LONG, A. E. **Surface Treatments for Concrete: Assessment Methods and Reported Performance.** Construction and Building Materials, 1997.

BERTOLINI, L.; POLDER, R. **Corrosion of Steel in Concrete.** Weinheim, Alemanha: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2013.

CANDIDO, M. B. **Estudo da viabilidade do uso de membrana de polímero acrílico para proteção da armadura de estruturas de concreto.** Trabalho de Conclusão de Curso. Tubarão: Universidade do Sul de Santa Catarina, 2021.

EL DEBS, M. K. **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

FERREIRA, R. M. **Avaliação de ensaios de durabilidade do betão**. Dissertação para mestrado. Guimarães: Universidade do Minho, 2000.

FIGUEIRÓ, A. T. M.; GREGÓRIO, L. Q.; CALOU, V. M. **Estudo comparativo entre sistemas de proteção contra a penetração de cloretos na face interna de lajes de reservatórios de água potável**. Monografia para Especialização. São Paulo: Instituto IDD, 2010.

GAMA, M. F. **Carbonatação do concreto: causas, consequências e tratamento**. 3º Congresso Online de Engenharia de Materiais, 4ª ed, 2021.

HELENE, P. **Durabilidad. Interpretación y evaluación de resultados. Manual de Diagnosis e Intervención en Estructuras de Hormigón Armado**. Barcelona, Espanha: Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona, 2000.

HELENE, P. **Manual para reparo, reforço e proteção das estruturas de concreto**. 2ª ed, São Paulo: Pini, 1992.

JACOB, T.; HERMANN, K. **Protección de las superficies de concreto: Impregnaciones hidrófobas**. Construcción y Tecnología, 1997.

KALSING, F. S. **Causas e efeitos da carbonatação na durabilidade do concreto armado**. Monografia para Especialização. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2020.

LIMA, H. J. N.; RIBEIRO, R. S.; PALHARES, R. A.; MELO, G. S. S. A. **Análise de manifestações patológicas do concreto em viadutos urbanos.** Revista ALCONPAT, 9 (2), pp. 247–259, 2019. Disponível em:

<https://revistaalconpat.org/index.php/RA/article/view/308/570> (Acesso em 12/09/2022)

MEDEIROS, M. H. F. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos com proteção superficial frente à ação de íons de cloretos.** Tese para doutorado. São Paulo: USP / Escola Politécnica, 2008.

MEDEIROS, M. H. F.; GOMES, T. S.; HELENE, P. **Hidrofugantes de superfície: Estudo da capacidade de barrar o ingresso de água no concreto.** Teoria e Prática na Engenharia Civil, n.8, p.21-28, 2006.

MEDEIROS, M. H. F.; PEREIRA, E.; HELENE, P. **Tratamento de superfície com silicato de sódio para concreto: penetração de cloretos e absorção de água.** Revista ALCONPAT, 2 (3), 2012, Páginas 149 – 161.

MEDEIROS, M. H. F.; REAL, L. V.; QUARCIONI, V. A.; HELENE, P. **Concreto com proteção de superfície e exposto à solução de cloretos: Espessura de cobrimento equivalente.** Revista ALCONPAT, 5 (3), 2015. Disponível em: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-68352015000300219&script=sci_arttext&tlng=pt#B17 (Acesso em 19/08/2022).

MORAES, A. C. L. **Recorrência de patologias em processos de ataque via cloreto em concreto armado.** Dissertação para mestrado. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.

MORAIS, J. M. P.; SILVA, A. M.; BARBOZA, E. N.; SILVA, E. M.; OLIVEIRA, B. **B. Análise de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado: uma revisão.** Research, Society and Development, 9 (7), 2020. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/4964/4170> (Acesso em 13/09/2022).

OLIVEIRA, I. A.; MEDEIROS, M. H. F. **Escolha de produtos para proteção de superfície em concretos frente à ação de íons de cloretos em zonas marítimas: uma aplicação da Análise Hierárquica (AHP).** 3º Simpósio Paranaense de Patologia das Construções (3º SPPC), Artigo 3SPPC1004, pp.35-46, 2018.

PASSUELO, A.; KIRCHHEIM, A. P.; SILVA, L. C. P.; DAL MOLIN, D. C. C. **Análise de sistemas de proteção superficial para concreto branco estrutural.** Anais do 48º Congresso Brasileiro do Concreto, 2006.

PEDROSO, F. L. **Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem.** Revista Concreto, São Paulo, 2009. Disponível em: http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_53.pdf. (Acesso em 30/05/2022).

POSSAN, E. **Modelagem da carbonatação e previsão de vida útil de estruturas de concreto em ambiente urbano.** Tese para doutorado. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.

POSSAN, E.; DEMOLINER, C. A. **Desempenho, durabilidade e vida útil das edificações: abordagem geral.** Revista Técnico-Científica do CREA-PR, 1ª Edição, 2013.

SALIBA, G. C. L.; CARVALHO JR, A. N. **Estudos das manifestações patológicas encontradas em edifícios de Belo Horizonte e Nova Lima com até 30 anos de idade.** Trabalho de perícia. Belo Horizonte: IBAPE, 2019.

SERRA, S. M. B.; FERREIRA, M. A.; PIGOZZO, B. N. **Evolução dos pré-fabricados de concreto.** 1º Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto pré-moldado, 2005.

SILVA, H. C. **Carbonatação do concreto: Análise comparativa da profundidade de carbonatação em concretos com agregados convencionais e reciclados.** Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS, 2020.

UEMOTO, K. L. **Influência da formulação das tintas de base acrílica com barreira contra a penetração de agentes agressivos nos concretos.** Tese para doutorado. São Paulo: USP / Escola Politécnica, 1998.