Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.10, 2023
ISSN 2178-6925

DURABILIDADE DE CONCRETOS COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS: UMA REVISÃO DA LITERATURA EM RELAÇÃO AOS CLORETOS

DURABILITY OF CONCRETE WITH WASTE INCORPORATION: A LITERATURE REVIEW IN RELATION TO CHLORIDES

Lucas Menezes da Silva
Graduado em Engenharia Civil, Instituto Federal de Sergipe, Brasil
E-mail: lucasmeneses19@outlook.com
Herbet Alves de Oliveira
Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais, Instituto Federal de Sergipe, Brasil
E-mail: herbet.oliveira@ifs.edu.br
Carlos Mariano Melo Júnior
Doutor em Construção Civil, Instituto Federal de Sergipe, Brasil
E-mail: carlos.junior@academico.ifs.edu.br
Fernanda Martins Cavalcante de Melo
Mestra em Engenharia Civil, Instituto Federal de Sergipe, Brasil
E-mail: fernanda.melo@ifs.edu.br

Resumo

As edificações são desenvolvidas para que durem vários anos, contudo, por conta da falta de manutenção e baixa qualidade dos materiais utilizados nas construções, mudanças nas características urbanas e muitos outros fatores, a vida útil diversas vezes é reduzida, e deste modo, a durabilidade das edificações acaba sendo prejudicada sobretudo devido a ação de cloretos e carbonatos presentes na água e nos compostos cimentícios. Por essa razão, o presente trabalho teve como objetivo investigar e relacionar concretos produzidos com incorporação de resíduos e sua durabilidade em relação aos cloretos e carbonatação por meio de revisão bibliográfica.

Palavras-chave: Concreto. Durabilidade. Resíduos.

Abstract

Buildings are designed to last for several years, however, due to lack of maintenance, and poor quality of materials used in construction, changes in urban characteristics and many other factors, the useful life is reduced several times, and thus, the durability of buildings ends up being impaired mainly due to the action of chlorines and carbonates present in water and cementitious compounds. For this reason, the present work aimed to investigate and relate concrete produced with the incorporation of waste and its durability in relation to chlorines and carbonation through a bibliographic review.

Keywords: Concrete. Durability. Waste.

1 Introdução

O concreto apresenta uma grande opção de possibilidades de uso objetivando benefícios para a sociedade. Mesmo sendo um material sólido, o concreto passa por ações diversas prejudiciais com o passar dos anos, acarretando deste modo sua degradação. Além disso, a durabilidade do concreto irá depender da forma que o mesmo foi produzido, desde a fase de projeto até o produto final, seguindo as etapas de inspeções e manutenções no decorrer da sua vida útil (WANG, 2019).

O concreto é uma combinação formada por agregados graúdos, miúdos, cimento e água. No seu estado fresco é caracterizado pela sua densidade plástica e, no estado endurecido, caracteriza-se por uma resistência à compressão elevada, contudo, possui baixa resistência à tração. Sua durabilidade é alta, pois a resistência mecânica do concreto eleva-se com o passar do tempo, mesmo quando exposto a intempéries (NEVILLE, 1997).

Deste modo, a durabilidade do concreto pode ser definida como sendo a capacidade de resistência a intempéries, abrasão, ataques químicos, ou outros processos de deterioração. É possível verificar que, por conta das ações ambientais, os materiais perdem sua durabilidade, modificando sua microestrutura e, em consequência disto, as propriedades as quais determinam sua vida útil (WANG, 2019). Levando em consideração esses aspectos, é cada vez mais necessário a procura por materiais alternativos que consigam reduzir custos, diminuir a poluição ambiental e obter maior desempenho, além do aumento de sua durabilidade (DUART, 2008).

Segundo Ali, Gulzar e Raza (2021), a fabricação de cimento Portland, além das emissões de carbono, consome grandes quantidades de reservas naturais que acabam agravando problemas de sustentabilidade. Na produção de cimento podem ser utilizados os materiais cimentícios suplementares, como resíduos de cinzas volantes, escória de alto forno granulada moída, metacaulim ou sílica fume, também amplamente utilizados na produção de concreto como opção de substituição do cimento Portland, afim de reduzir impactos ambientais e melhorar algumas propriedades do cimento, como durabilidade (DANG, 2020; BRAGAGNOLO; KORF, 2020).

Entre os elementos que mais agridem o concreto e reduzem sua durabilidade, podemos encontrar a ação de íons cloretos (Cl^-). Nas estruturas de concreto, a ação de íons cloretos (Cl^-) além de severo, favorece a despassivação do aço de maneira muito mais acelerada, como também a corrosão localizada, com aparecimento de desplacamento e trincas do concreto (CHEN, 2012). Portanto, o presente trabalho tem como objetivo investigar a influência da incorporação de resíduos na durabilidade do concreto, sobretudo quando atacados pelos íons cloretos. Este estudo tem caráter exploratório, de natureza qualitativa, baseando-se na literatura por meio de dissertações, livros, teses e artigos científicos.

2 Metodologia

Nesta parte do presente trabalho, apresentam-se quais foram os procedimentos metodológicos utilizados no desenvolvimento do estudo em questão. Trata-se de uma revisão de literatura baseada em livros, teses, dissertações, anais, normas e também em artigos disponíveis nas bases de dados *Scientific Eletronic Library* (Scielo), Google Acadêmico e Science Direct sobre a

durabilidade de concreto e incorporação de resíduos, além dos fatores que influenciam a durabilidade das estruturas de concreto.

De acordo Lakatos e Marconi (2010), a pesquisa bibliográfica abrange todo acervo disponibilizado ao público em relação à determinado tema em estudo, desde artigos, boletins, jornais, revistas, livros, pesquisa, monografia, teses, entre outros. Sua finalidade é colocar o pesquisador em contato com tudo que foi escrito, dito, ou firmado sobre determinado assunto.

Como critérios de elegibilidade dos artigos de publicação, foram elegíveis os artigos publicados de 1999 a 2022 em língua portuguesa e inglesa em sua íntegra, e que apresentam os termos associados à: durabilidade do concreto, incorporação de resíduos, durabilidade e adição de minerais. Ainda sobre estes critérios de seleção, foi utilizado como método de pré-seleção aqueles que apresentaram clareza nos objetivos, métodos e conclusões.

A pesquisa quantitativa conjetura um universo de elementos de investigação que são comparáveis entre si, ao tempo que usa de identificadores numéricos a respeito de certo fenômeno que pode ser investigável. A pesquisa qualitativa trabalha com um universo de motivos, significados, atitudes, sentidos, aspirações, valores, crenças e o que satisfaz a um fazer científico focalizado nos processos, nas relações e nos fenômenos que não necessitam ser tratados pela racionalização de variáveis.

Diante do contexto, destaca-se que esta pesquisa utiliza fins metodológicos qualitativos, pois não se pretende ter a intenção de quantificar qualquer dado. O estudo baseou-se em uma variável observável a respeito da incorporação de resíduos visando a durabilidade do concreto.

3 Referencial teórico

3.1 Concreto

Um dos insumos básicos da construção civil é o concreto, isto porque a maior parte das estruturas nas obras precisam dele para serem concebidas, junto com o aço. Há, contudo, tipos de concreto e de estruturas diferentes, que passam por avaliações de profissionais da engenharia no instante em que o projeto estrutural da obra é definido.

Após a análise de questões técnicas, viabilidade econômica e a definição do projeto estrutural é preciso que a execução das estruturas tenha segurança garantida. Deste modo, órgãos como a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e o Departamento Nacional de Infraestrutura (DNIT) tem, no Brasil, a missão de produzir, além das normas que conduzem o uso do concreto, todos os procedimentos alusivos à construção civil. A ABNT NBR 12655:2015, trata a respeito das fases de preparo do concreto de cimento Portland. O concreto estrutural é apresentado na ABNT NBR 6118:2014. Essa norma refere-se aos requisitos básicos exigidos para projetos de estrutura de concreto e tem como principal propósito assegurar a durabilidade, qualidade e eficiência das estruturas.

3.2 Durabilidade do concreto

De acordo com Amran et al. (2021), a durabilidade do concreto geralmente refere-se à sua capacidade de resistir a ambientes agressivos (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Já segundo o American Concrete Institute (ACI) por meio do Comittee 201, a durabilidade de um material, genericamente, refere-se ao tempo que um produto será usado antes de se tornar impróprio para o objetivo o qual é destinado. De forma mais específica, quanto ao concreto, o ACI descreve como a capacidade de resistência às intempéries, abrasão, ataques químicos ou a qualquer processo de deterioração (ACI 201.2R, 2008).

Já em conformidade com o que explana Neville (1992), a durabilidade do concreto, diferente do que muitas pessoas pensam, não é uma vida indefinida, nem o fato de conseguir resistir a qualquer ação. A durabilidade é a capacidade da estrutura em definir a performance promovida no decorrer do tempo de vida útil esperado, em conformidade com as influências dos fatores de deterioração.

As diretrizes apresentadas na ABNT NBR 6118:2014 referem-se às exigências de durabilidade, à vida útil do projeto, os mecanismos de envelhecimento e deterioração e também da agressividade do ambiente. Essas diretrizes exemplificam que as estruturas precisam ser construídas contemplando diversos aspectos, dando prioridade sempre a segurança, estabilidade e aptidão em serviço no decorrer do período que corresponde a vida útil.

Evidencia-se na ABNT NBR 6118:2014, que a vida útil pode ser compreendida como o período de tempo o qual se mantêm as características das estruturas de concreto, desde que os requisitos de utilização e manutenção determinados pelos projetistas e pelo construtor sejam mantidos. Além disso, é importante esclarecer que o conceito de vida útil pode se aplicar tanto ao projeto como um todo, como às suas partes. Deste modo, algumas partes das estruturas podem precisar receber atenção especial, por apresentarem vida útil desigual ao todo.

Baseando-se na literatura técnica, Helene (1993) adverte que a durabilidade se determina por quatro fatores: formação ou traço do concreto, compactação ou adensamento efetivo do concreto na estrutura, cura efetiva e cobrimento de armaduras. Já para Ribeiro et al. (2014), compreende-se que a durabilidade de uma estrutura é função de determinados parâmetros, como características das construções, o grau de agressividades ambientais e critério de desempenho esperados.

Conforme definido pela ABNT NBR 15575 Emenda 1:2021 - Norma de Desempenho - Edificações Habitacionais, são definidos dois critérios de durabilidade que é a vida útil do projeto (VUP) e a vida útil (VU). VUP é definida como o período de tempo para o qual um sistema é projetado, com o objetivo de atender as condições de desempenho presentes na norma, levando em consideração: o atendimento dos níveis de desempenho apresentados na norma, a regularidade e a execução correta dos processos de manutenção, explicitados no respectivo Manual de Uso, operação e manutenção. A vida útil do projeto para estruturas precisa ser de no mínimo cinquenta anos. Já VU é o tempo em que a edificação e seus sistemas realizam as atividades as quais foram projetadas e construídas, atendendo aos níveis de desempenho que se prevê levando em consideração a constância e o cumprimento correto dos processos de manutenção, intervenção e conservação.

Conforme apresentado na Tabela 1, a vida útil mínima de um projeto é determinada pela norma ABNT NBR 15575:2021. Ainda, é ressaltado na referida norma que a vida útil do projeto não pode se confundir com o tempo de durabilidade e prazos de entrega legal ou contratual.

Tabela 1 - Vida útil do projeto (VUP) mínima determinada pela ABNT NBR 15575:2021

Vida Útil de Projeto - VUP (anos)			
Sistema	Mínima	intermediária	Superior
Estrutura	≥ 50	≥ 63	≥ 75
Pisos Internos	≥ 13	≥ 17	≥ 20
Vedação Vertical Externa	≥ 40	≥ 50	≥ 60
Vedação Vertical Interna	≥ 20	≥ 25	≥ 30
Cobertura	≥ 20	≥ 25	≥ 30
Hidrossanitário	≥ 20	≥ 25	≥ 30

Fonte: ABNT NBR 15575 (2021).

Em estruturas que possuem uma vida útil elevada, uma diminuição da durabilidade está ligada a uma elevação de custos com reparo e manutenção da construção (WANG, 2019).

Quando um material perde sua vida útil é porque suas propriedades foram expostas a condições de deterioração e seu uso se torna caro para ser recuperado, além de ser inseguro (MEHTA, 1992). Por essa razão, com o número crescente de estruturas com deterioração, a partir de 1990 no Brasil, foram desenvolvidas muitas pesquisas e a criação de núcleos de estudos a respeito da durabilidade das estruturas de concreto (GUIMARÃES, 2005).

Sendo assim, é de extrema relevância que todas as exigências de durabilidade sejam seguidas, para que deste modo, a deterioração seja limitada e diversos aspectos possam ser impedidos. Por essa razão, diversos fatores podem influenciar na durabilidade do concreto, entre eles estão: erros na etapa de elaboração do projeto, qualidade dos produtos utilizados, erros nas adições e diversos outros fatores os quais serão apresentados a seguir. Deste modo, a incorporação de resíduos minerais também tem se apresentado como uma excelente alternativa para aumentar a durabilidade.

3.3 Fatores que influenciam a durabilidade das estruturas de concreto

Tanto a durabilidade como a vida útil da estrutura dependem da qualidade do concreto, bem como de diversos outros fatores ligados ao processamento. As ações de origens térmicas, mecânicas, de retração e fluências são geralmente levadas em consideração no decorrer do dimensionamento das estruturas. Além disso, outros fatores são levados em consideração, como fatores químicos e físicos ligados ao ambiente onde a construção se encontra (HELENE, 1993).

Com a intenção de aumentar ainda mais a produtividade e diminuir os custos e atender todas as demandas de reconstrução da pós-guerra, os projetistas diminuíram as seções das peças estruturais, majorando a esbeltez das estruturas, amortizando o cobrimento das armaduras e aumentando as tensões de trabalho

(GUIMARÃES, 2005). Tais mudanças refletiram de forma negativa nas construções e atingiram diretamente a durabilidade das estruturas de concreto, beneficiando, deste modo, a tendência à fissuração e diminuindo a proteção das armaduras (BINICI et al., 2008).

Foi então que a partir da segunda metade do século XX apareceram em maiores proporções os danos gerados às construções pela deterioração das estruturas de concreto armado. Por conta destes fatos, apareceram os primeiros estudos para conhecer quais os principais agentes de deterioração e a abrangência em normas de parâmetros de projeto concernentes à durabilidade das estruturas de concreto (ANDRADE, 2005).

Nos estudos da durabilidade é preciso analisar o meio ambiente em que o concreto irá ser usado, a criação e execução do projeto até seu uso, a permeabilidade e a camada de superfície a ser coberta, além de analisar suas fases de preparo. Conforme apresenta Souza e Ripper (1998), muitos são os fatores que influenciam a ocorrência de problemas nas estruturas de concreto, apresentados adiante.

3.4 Agressividade ambiental

Um concreto, quando submetido a condições diferentes de agressividade ambiental, exibirá durabilidade desigual. De acordo com Lima (2005), existem quatro tipos de ambientes: urbano, rural, marinho e de características específicas. Com relação ao ambiente urbano, este se altera pela presença de pessoas, e pode estar sujeito a chuvas ácidas, a decomposição de partículas sólidas e concentração maior de gás carbônico. Tais fatores acabam por acelerar a degradação do concreto, corrosão e carbonatação de armaduras. Além destes pontos, as alterações geométrica e superficial por conta das construções e impermeabilização do solo podem ocasionar modificações na temperatura e direção dos ventos.

Além destes ambientes, há os casos específicos em que é necessário levar em conta os microambientes específicos (MAES; BELLIE, 2014). De acordo com Aïtcin (2000), o detalhamento estrutural incorreto pode formar de maneira artificial condições microclimáticas catastróficas, como agentes agressivos em pontos específicos da estrutura. Deste modo, mudanças na utilização da estrutura de concreto precisam levar em consideração a mudança de agressividade em decorrência de seu uso e não apenas a avaliação das cargas e sobrecargas novas.

Petrucci (1978) ainda esclarece que é preciso proporcionar e ter conta da relação entre cimento e agregados, divisão do agregado graúdo e miúdo e, especialmente, a relação de água/cimento (a/c). Depois da mistura, o concreto precisa ser conduzido, lançado e adensado de forma correta. A última etapa, nomeada de cura do concreto, se faz imprescindível para garantir a hidratação do cimento por um longo tempo, e é necessário que as condições ambientais cooperem para essas reações serem processadas.

Nos projetos das estruturas, a agressividade ambiental precisa ser classificada em conformidade com a Tabela 2 em fraca, moderada, forte e muito forte. Em função dessa classificação, vários parâmetros normativos são estabelecidos a fim de garantir a durabilidade das estruturas de concreto.

Tabela 2 - Classes de agressividade ambiental (CAA) (ABNT NBR 6118:2014)

Classe de Agressividade Ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural Submersa	Insignificante
II	Moderada	Urbana (a, b) Marinha (a)	Pequeno
III	Forte	Industrial (a, b) Industrial (a, c)	Grande
IV	Muito Forte	Respingos de Maré	Elevado

Fonte: ABNT NBR 6118:2014

3.5 Qualidade do concreto

Sabe-se que muitos problemas patológicos ocorrem nas edificações por conta da falta de qualidade dos componentes usados na sua construção, a deficiência de fragilidade dimensional e resistência mecânica menores (WANG, 2019). Quando se trata especificamente a respeito da qualidade do concreto, Petrucci (1978) explica que irá depender inicialmente da qualidade dos materiais que o formam. Deste modo, é necessário que os materiais usados sejam cuidadosamente escolhidos e a mistura seja feita de forma adequada.

Conforme a ABNT NBR 12655:2015, os materiais que compõem o concreto não podem possuir substâncias prejudiciais em quantidades que venham a afetar sua durabilidade ou gerar corrosão nas armaduras, e apresenta os requisitos mínimos para concretos estruturais, relacionando a classe de agressividade ambiental com a qualidade do concreto (Tabela 3).

Tabela 3 - Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto

	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≥ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40
Consumo de cimento Portland por metro cúbico de concreto (kg/m3)	CA e CP	≥ 260	≥ 280	≥ 320	≥ 360

Legenda: CA: Componente e elementos estruturais de concreto armado. CP: Componentes e elementos estruturais de concreto pretendido.
Fonte: ABNT NBR 12655: 2015.

3.6 Permeabilidade

A permeabilidade permite uma penetração mais rápida do meio fluido, resultando na rápida deterioração do concreto. A existência de poros e sua interconecção permitirá o fluxo de íons de diversos produtos químicos presentes na água (AMRAN et al., 2021; CASCUDO, 1997). Os poros maiores são os que mais prejudicam a durabilidade do concreto, e a secagem da pasta de cimento aumenta ainda mais esta propriedade, por conta da retração, ocasionando fissuras (HUGHES, 2013). Conforme apresenta Neville e Brooks (2013), a permeabilidade é totalmente proporcional à relação água/cimento, pois, à medida que a quantidade de água for superior a quantidade e tamanho dos poros, consequentemente, haverá a permeabilidade.

3.7 Avaliação da durabilidade

Nos próximos tópicos serão apresentados quais aspectos são analisados para avaliar a durabilidade do concreto

a) Presença de íons cloreto

Conforme apresentado por Cascudo (1997), de diferentes formas os íons cloretos (Cl^-) podem serem introduzidos no concreto, como por exemplo: utilizando aditivos aceleradores de pega, que possuem cloreto de cálcio (CaCl2), por meio da atmosfera marinha, utilização de sais de degelo, na forma de impureza indesejada nos agregados, quanto na água de amassamento e água do mar, limpeza do concreto com ácido muriático e processos industriais.

Para Cavalcanti Filho (2010), é importante destacar que em regiões litorâneas deve existir uma preocupação ainda maior e constante, tendo em vista que a aproximação com o mar faz com que a atmosfera tenha íons cloretos. Deste modo, as partículas de água do mar possuindo sais dissolvidos quando em suspensão na atmosfera, são arrastadas pelos ventos e podem se depositar nas estruturas, assim esses íons cloretos podem ingressar no concreto por meio de absorção capilar da água, onde estão dissolvidos.

Quanto ao mecanismo de transporte de íons cloretos, de acordo com Nepomuceno (2005) e Ferreira (2003), o concreto exibe quatro mecanismos de transporte de agentes agressivos de enorme relevância: permeabilidade, absorção capilar, difusão iônica e migração iônica. Compreende-se como agentes agressivos toda substância que pode acabar afetando a estabilidade do concreto armado: Cl-, águas puras, sulfatos, gás carbônico e oxigênio.

O efeito de capilaridade acontece em espaços finos, onde a tensão superficial do líquido acaba gerando uma pressão negativa que acarreta no transporte por meio desse espaço. No concreto, isso constitui que a água pode acabar vencendo a força da gravidade, adentrando na estrutura. Poros menores geram pressões capilares maiores e elevam a altura que pode ser ultrapassada (FOX e MCDONALD, 1998).

Conforme esclarece Basheer et al. (2001), concretos produzidos com baixa relação a/c exibem poros com diâmetros menores. Contudo, esses poros também exibem número menor de interconexões, diminuindo a altura de sucção e o volume de íons cloreto absorvido.

De acordo com Bauer (1995), os íons cloretos penetram no concreto por permeabilidade na forma de íons dissolvidos, frequentemente em água, sendo que maiores poros provocam maior penetração. Para Helene (1993) a composição do cimento, o grau de hidratação e a relação a/c influenciam de forma direta na permeabilidade e nos índices de penetração de íons.

Estruturas mais sólidas têm absorção e permeabilidade menores, sendo mais aconselhável um concreto pouco permeável. A difusão iônica é o movimento de íons ou moléculas por conta de um gradiente de concentração. O movimento dessas partículas tende a diminuir esse gradiente, procurando um equilíbrio dentro do meio (CASCUDO, 1997).

Para Cascudo (1997) e Helene (1993), o transporte feito pela ação de campos elétricos é a migração iônica. Como os íons cloreto exibem carga negativa, eles movimentam-se em conformidade com a polaridade do campo aplicado. Esse movimento pode acontecer pela corrente que existe no processo eletroquímico de corrosão, fazendo a atração dos íons para a armadura, ou os expulsando, quando sobreposta a técnica de proteção catódica. A porosidade é o maior fator de importância no transporte de substâncias dissolvidas no interior do concreto. A distribuição, interconexão e tamanho dos poros fazem a determinação da possibilidade de transporte de substâncias, bem como sua velocidade de transporte (CASCUDO, 1997; BASHEER et al., 2001; GJORV, 2015).

b) Degradação/deterioração do concreto

Na construção civil, é possível ver muitas manifestações patológicas, por conta da falta de um bom projeto, ou até mesmo a falta de cuidado na execução. Antes do concreto ser elaborado, é muito relevante realizar uma análise do ambiente onde irão ser construídas as estruturas e os materiais que serão formados, pois eles podem ter agentes agressivos que podem afetar a resistência química e mecânica dessas estruturas, originando sua degradação e prejudicando, deste modo, sua vida útil.

No item 6.3 da ABNT NBR 6118:2014 são tratados sobre as generalidades dos mecanismos de envelhecimento e deterioração do concreto, armadura e estrutura. O concreto pode sofrer mecanismos de envelhecimento, como lixiviação, expansão por ação de águas e solos, expansão por reações álcalis do cimento e reações deletérias superficiais, já a armadura pode passar por despassivação por carbonatação e por elevado teor de íon cloro. Quando a norma trata sobre os mecanismos da deterioração da estrutura, refere-se a todas as ações mecânicas, movimentações térmicas, ações cíclicas, retração, fluência e relaxação.

Conforme apresenta Neville (1982), é muito difícil que a deterioração do concreto esteja ligada a uma causa isolada, pois existe muita dificuldade em atribuir um problema específico de deterioração a um fator determinado. As causas de deterioração podem acontecer ao mesmo tempo, uma influenciando a outra, ou uma sendo aceleradora e desencadeadora da outra.

Segundo o CEB (1992), existem alguns processos principais de deterioração do concreto que interferem na sua durabilidade. Quanto aos processos físicos estão representados os seguintes: desgastes superficiais (abrasão, erosão, cavitação), cristalização de sais nos poros, ações de congelamento, ações do fogo e fissuras por deformação, já quanto aos processos químicos ou físico-químicos:

lixiviação, expansão (ações de sulfatos e cloretos, reação álcali-agregado e corrosão de armaduras).

c) Fissuração pela cristalização de sais nos poros

A fissuração pela cristalização de sais de poros acontece por conta do contato das estruturas de concreto com soluções supersaturadas, em situações em que a estrutura entra em contato com a água do mar. O mecanismo de degradação por meio de cristalização de sais nos poros do concreto acontece por meio dos choques das ondas e dos ciclos rotativos de molhagem e secagem, na parte interna dos poros capilares ligados ao concreto. Esse acontecimento acaba acarretando em tensões internas, consideravelmente grandes, para que aconteça a fissuração da estrutura (HELENE; LEVY, 2007; SOUZA; RIPPER, 1998).

Os concretos que estão fadados à ação física da cristalização dos sais, são aqueles com alta relação a/c (deste modo, concretos permeáveis e porosos) e que tenham contato com soluções de concentração salina alta. A condição mais grave acontece quando não sofrem exposição a situações de secagem e umidificação, beneficiando a cristalização ou quando têm superfícies com condições distintas de aeração e saturação (RICHARDSON, 1988).

Além de fissurações, outra manifestação patológica que se deriva dessa cristalização é o escamamento ou descamamento por sal, sintoma característico de concretos porosos e expostos a sais hidratáveis (MAGALHÃES, 2011).

A cristalização pode ser reduzida se os cuidados adequados forem tomados quando o concreto for produzido, com menos porosidade e permeabilidade, reduzindo a relação água/cimento (BOLINA, 2019).

d) Ataque por ácidos

Existem diversos tipos de ácidos perigosos que podem afetar o concreto, sendo eles inorgânicos ou orgânicos. Seja qual for o caso, a ação do íon hidrogênio acarreta na concepção de produtos solúveis que, quando são transportados dentro do concreto vão ocasionando deterioração (SOUZA; RIPPER, 1998).

Os ácidos têm reação com o elemento e a pasta de cimento, o qual produz água e sais de cálcio. De acordo com Bauer (2008), os sais de cálcio podem ser pouco ou até muito solúveis e tudo dependerá do tipo de ácido. Caso o sal de cálcio criado seja bastante solúvel, facilmente poderá ser lixiviado, majorando a permeabilidade e a porosidade da pasta de cimento, dando caminho para que outros agentes de deterioração entrem. Contudo, se o sal de cálcio criado pela reação não for muito solúvel ou até mesmo se apresentar insolúvel, o concreto será afetado de maneira mais lenta, podendo até mesmo não apresentar nenhum risco, já que os sais de cálcio pouco ou nada solúveis quando colocados nos poros reduzem a permeabilidade do concreto à água (BAUER, 2008).

Entre os ácidos prejudiciais ao concreto pode-se destacar os ácidos láticos, que podem ser achados nas águas residuais das indústrias de laticínios e leiterias, e o acético, utilizado para produzir vinagres, garrafas PET, etc. (SOUZA; RIPPER, 1998).

Para a diminuição da degradação acarretada por ataques de ácidos, as medidas preventivas a serem tomadas, de acordo com Andrade (2005), baseiam-

se em ter cuidado no transporte, lançamento, adensamento, cura adequada, utilização de adições minerais e adoção de baixa relação a/c no concreto.

O ataque de ácidos, de acordo com Ribeiro et al. (2014), ocorre parecido com a carbonatação, que quando existe umidade acaba causando a diminuição do pH, solubilizando os componentes cálcicos do concreto e conduzidos por lixiviação, gerando mais permeabilidade e porosidade. As partículas ácidas cooperam para reter água nas superfícies estruturais. Os ácidos são advindos de água contaminada por indústrias, de ações biológicas em águas poluídas e poluição atmosférica em grandes cidades por dióxido de enxofre (SO2), dentre outras.

Deste modo, as águas da chuva exibem níveis de pH menores que 4, por conta da existência de ácidos suspensos na atmosfera. Nenhum cimento Portland resiste aos ataques por ácidos. Em locais com umidade o dióxido de enxofre e o dióxido de carbono, como também outros gases que existem na atmosfera, acabam formando os ácidos e atacando o concreto, removendo e decompondo porções da pasta de cimento hidratada, fazendo com que a massa fique quebradiça e com baixa resistência (NEVILLE; BROOKS, 2013).

e) Ataque da água do mar

Além de ser muito perigosa para a corrosão das armaduras, a água do mar pode operar de maneira direta sobre o concreto, gerando ataques químicos pelos sais dissolvidos (sulfatos, cloretos), erosão superficial e dilatação ocasionada pela cristalização dos sais (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Em estudo desenvolvido por Maes e Belie (2014), os ambientes marinhos são muito agressivos, já que a água do mar contém bastante cloretos e sulfatos. Já de acordo com Wassermann et al. (2009), a presença de hidróxido de cálcio e dos aluminatos de cálcio hidratados da água do mar podem ser prejudiciais. Por essa razão, o cimento mais adequado para estruturas nessas águas é o pozolânico e de alto-forno, pois possuem menos hidróxido de cálcio nos produtos de hidratação (HUGHES, 2013).

Os íons cloretos presentes em ambientes marinhos e o CO2 estão entre os principais agentes que ocasionam a deterioração das armaduras (AUROY et al., 2013), pois as estruturas do concreto em ambientes marinhos têm, principalmente, um alto impacto (por exemplo, pontes, cais, túneis, etc.), por isso é importante saber os mecanismos de ataque em detalhes, a fim de prever o que pode atentar contra a vida útil do concreto.

f) Teor de Cloretos (Cl^-)

O aparecimento de íons cloreto não é desejado, de modo que elevam de forma considerável as chances de existir corrosão das armaduras e afetar a durabilidade do elemento. O aparecimento dos íons cloreto pode ser de maneira livre, ou combinada, sendo a soma das duas o fator a ser chamado de cloretos totais. Referente as quantidades que se permite de íons cloreto nos concretos, não existe parâmetro com boa definição. De acordo com Helene (1993), um limite geral de 0,4% quanto à massa de cimento ou de 0,05 a 0,1% em relação ao peso do concreto despassiva o aço, mas não existe limite verificado para o qual seja possível assegurar que não existirá despassivação. O valor de 500 mg/l em relação

à água de amassamento como sendo o máximo teor de cloretos totais é exibido na NBR 6118:1978.

g) Determinação do teor de cloretos por meio da Norma ASTM C 1202 (2017)

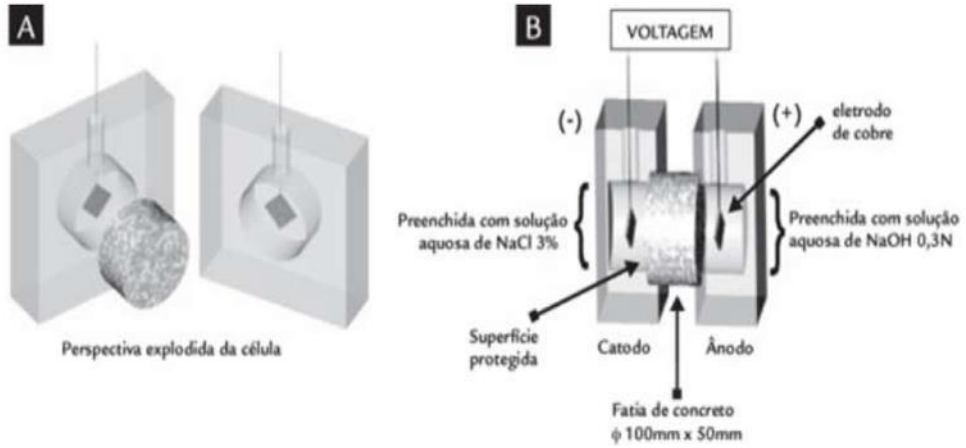
A norma ASTM C 1202 - Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration é adaptada, primeiramente proposta por Whiting (1981) e com modernizações em 2007, 2010 e 2017. É um dos métodos mais usados em estudos científicos por conta da sua agilidade e simplicidade.

Esta norma fundamentalmente estabelece a monitoração da quantidade de corrente elétrica passante por meio da amostra no decorrer de um período pré-estabelecido. Os corpos de provas produzidos com dimensões de 100 mm de diâmetro e espessura de 51 mm, precisam estar com as laterais seladas e secos (HELENE, 1993).

As amostras são colocadas em dessecador sob pressão a vácuo e mantidos por 3 h, com pressão de 6650 Pa. A câmara é preenchida com água, com o vácuo ainda ligado, até que as amostras se cubram por completo, sendo então mantidas no vácuo por um período de 1 h. Depois do término deste período, a bomba precisa ser desligada, e as mesmas são conservadas envolvidas em água por um período de (18 ± 2) h.

Depois de retiradas da água as amostras são secas e conservadas em umidade relativa de 95% para o início do ensaio. Logo depois, são alocadas entre as meia-células, em que a face inferior fica em contato com a solução de 0,3% de NaOH e a face superior fica em contato com solução de 3% de cloreto de sódio (NaCl). É mantida uma diferença de potencial de (60 ± 1) V no decorrer de 6 h enquanto a monitoração da tensão é realizada em intervalos de 30 minutos, como pode ser observado nas Figuras 4(a) e (b).

Figura 4 - Montagem do ensaio em conformidade com a norma ASTM C1202 (2017)



Fonte: Medeiros (2008).

A Tabela 4 apresenta as referências da relação entre a quantidade de carga passante e a caracterização do concreto referente ao nível de penetração de íons de cloretos pelo concreto.

Tabela 4 - Penetrabilidade de íons de cloretos baseado na carga passante

Carga total passante (Coulombs)	Penetrabilidade de íons de cloretos pelo concreto
< 4000	Alta
200 - 400	Moderada
1000 - 2000	Baixa
100 -1000	Muito Baixa
< 100	Desprezível

Fonte: Adaptado de Oliveira (2018)

g) Ensaios de Penetração de Cloreto

Existem muitos caminhos para realizar a avaliação da resistência de uma estrutura em concreto quanto à entrada de cloreto, como por meio de seus mecanismos de transporte e dos íons nos poros do material (livre ou combinado). Além disso, muitos são os fatores que podem influenciar sobre a profundidade atingida, como as próprias características do concreto, como teor de sílica e alumina, porosidade, tempo e condição de cura, temperatura, condições ambientais, concentração de sais e umidade relativa (MA et al., 2018). No Quadro 1, encontram-se alguns métodos de análise do cloreto normatizados em alguns países (FRIEDMANN et al., 2004; TRUC et al., 1998; CASTELLOTE et al., 2002).

Quadro 1 - Síntese dos métodos normatizados para avaliar a penetração do cloreto no concreto

BASE TEÓRICA	MÉTODO DE ENSAIO	PARÂMETRO DE ANALISE	DURAÇÃO	REFERÊNCIA NORMATIVA
Equação de Nernst Planck	Aplicação de tensão elétrica (12 V) num sistema com NaCl e NaOH	Coeficiente de difusão do cloreto no estado estacionário	Várias semanas	NT BUILD 355
	Aplicação de tensão elétrica (10 a 60 V) num sistema com 11,1% de NaCl	Coeficiente de migração do cloreto no estado não estacionário	24 a 96 h	NT BUILD 492
	Aplicação de corrente elétrica (12V) num sistema com NaCl e H_2O	Coeficiente de difusão do cloreto nos estados estacionário e não estacionário	> 14 dias	UNE 83987
Segunda Lei de Fick	Imersão em solução de NaCl	Coeficiente de difusão do cloreto no estado não estacionário	> 35 dias	NT BUILD 443
	Imersão em solução de NaCl	Coeficiente de difusão aparente do cloreto no concreto	> 35 dias	ACTM C1556
Outros	Aplicação de corrente elétrica (60V) num sistema com 3% NaCl e NaOH	Resistência do concreto à penetração do cloreto em função da carga passante	6 horas	ASTM C1202
	Exposição de uma face de amostra prismática de concreto a NaCl	Perfil de cloreto	> 90 dias	ASTM C1543

Fonte: Adaptado de Yuan e Santhanam (2012).

h) Durabilidade do concreto em relação ao cloreto com incorporação de resíduos

Uma das grandes geradoras de poluição ambiental no mundo atual é a construção civil. Pesquisadores têm estudado a incorporação de resíduos em concretos objetivando aumentar sua durabilidade, além de reduzir custos e diminuir a poluição ambiental.

De acordo com o Quadro 2, a incorporação de resíduos é uma solução quanto a diminuição de problemas ambientais e vem sendo realizadas pesquisas na área com a intenção de aperfeiçoar as propriedades do concreto para determinadas aplicações e, consequentemente, o aumento da durabilidade do mesmo. Dentre as substâncias que mais tem chamado a atenção quanto a influência da durabilidade do concreto estão os cloretos, os quais podem estar presentes em água contaminada.

Quadro 2 - Tipos de resíduos incorporados em concretos

RESÍDUO	DESCRIÇÃO	REFERÊNCIA
Resíduo de construção civil	Reduziu a durabilidade pois aumentou a absorção devido a argamassa aderida	Silva et al. (2021)
Resíduo de construção civil	Os concretos produzidos com agregados reciclados de alvenaria miúdo (RAM) ou reciclados de concreto graúdos, na proporção de 50% - 50% em massa, seriam mais duráveis que o concreto de referência, pelos resultados apresentados	Levy (2001)
Resíduo de construção civil	Foi exibido um bom resultado quanto a durabilidade e a viabilidade do uso dos agregados reciclados para produzir concreto	Soares (2017)
Resíduo de construção civil	Os resultados foram analisados estatisticamente, apresentando que tanto o teor de agregado, como de pré-molhagem exibem efeitos importantes sobre a penetração de íons cloreto	Troian (2010)
Resíduo de construção civil	25% de cimento Portland exibiu-se como uma alternativa para melhorar as propriedades de resistência e durabilidade em relação aos cloretos	Silva e Capuzzo (2019)
Escoria de alto forno	A substituição parcial do cimento Portland por escória de alto forno provocou na diminuição dos coeficientes de migração de íons cloreto em todas as idades e classes de qualidade de concreto avaliadas	Magalhães (2019)
Pó de calcáreo	Aumentou a resistência à compressão do concreto e reduziu sua permeabilidade	Mostofinejad et al. (2021)
Cerâmica	A substituição do agregado graúdo pelo de cerâmica vermelha proporciona uma permeabilidade menor	Passos et al. (2020)
Resíduo de vidro	A incorporação do residuo de vidro proporcionou melhor resistência à penetração e melhorou o desempenho da durabilidade	Kim et al. (2014)
Resíduo de vidro	A incorporação do vidro moído ao concreto reduz a penetração dos cloretos e causa maior durabilidade	Lehnen (2020)
Resíduo de vidro	Exibiu uma resistência mecânica alta, bem como alta resistência ao ataque de cloretos	Soares (2021)
Rochas ornamentais	A incorporação dos rejeitos em algumas proporções não afetou o desempenho dos concretos produzidos e nem a durabilidade	Degen et al. (2013)
Rochas ornamentais	Elevação da resistência mecânica, redução da permeabilidade e uma penetração menor de íons cloreto	Teixeira (2019)
Rochas ornamentais	Redução da porosidade	Dietrich (2015)
Cinza de casca de arroz	Houve melhoria na durabilidade do concreto sem elevar a sua resistência à compressão	Sacioloto (2005)
Cinza de casca de arroz	Menos penetração de íons cloreto em todas as idades de teste	Ali et al. (2021)

Fonte: Dados do autor (2021).

CONCLUSÕES

Primeiramente, para que seja possível considerar uma estrutura durável no decorrer de sua vida útil, a mesma precisa conservar os requisitos do projeto quanto à estética, funcionalidade e, principalmente, a segurança, sem que gere custos de manutenção os quais não estavam previstos. A maior parte das situações que ocorre a degradação de estruturas se atribui a corrosões de armadura por perda da passivação decorrentes da carbonatação ou penetração de cloretos no concreto de recobrimento. Por essa razão, para se obter concretos com excelente durabilidade, pode-se usar agregados reciclados, pois os mesmos influenciam nas propriedades do concreto no estado fresco e também no endurecido, adotando as mesmas propriedades do agregado natural. Referente a dimensão do agregado, muitos estudos exibem benefícios da utilização do agregado graúdo reciclado em relação ao agregado miúdo.

Nos resultados aqui apresentados, os dados podem variar, tendo em vista que tudo depende da forma, grãos, constituição do agregado e porcentagem de material utilizado, dentre outros fatores ligados à forma de beneficiamento do agregado, origens dos resíduos e qualidade do processamento. Deste modo, essas melhorias podem ser atribuídas a densificação da matriz cimentícia, devido ao consumo precoce de portlandita, que reduz a conectividade e o tamanho dos poros.

Como exemplo nos estudos utilizando rochas ornamentais, foi possível perceber que em um estudo usou-se um teor de 7,5% e no outro usou-se 5%, em ambos, conseguiu-se reduzir a permeabilidade e a penetração de íons cloreto, isto ocorreu em decorrência da finura do resíduo. Quando analisada a mistura com cinza de casca de arroz, observou-se que esta mistura exibiu uma resistência maior à penetração de cloretos, além de melhorar a durabilidade em ambos os estudos, tudo isso aconteceu em decorrência da redução da conectividade e tamanho dos poros.

Por fim, a resistência aos cloretos depende da baixa absorção de água do concreto, o que pode ser obtido por adição de resíduos inertes que apresentam elevado teor de finos.

REFERÊNCIAS

AÏTCIN, P. C. **Concreto de alto desempenho.** Tradução Geraldo Serra, São Paulo: PINI, 2000. 667 p.

ALI, B; GULZAR, M. A.; RAZA, A. Effect of sulfate activation of fly ash on mechanical and durability properties of recycled aggregate concrete. **Construction and Building Materials**, v. 277, 2021, 122329.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Committee 201**. ACI 201.2R: guide to durable concrete. Farmington Hills/Michigan/USA, 2008.

AMRAN, M; DEBBARMA, S; OZBAKKALOGLU, T. Fly ash-based eco-friendly geopolymer concrete: A critical review of the long-term durability properties. **Journal Of Materials In Civil Engineering**, v. 270, 2021, 121857. DOI : https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121857

ANDRADE, Tibério. **Tópicos Sobre Durabilidade do Concreto**. In: ISAIA, Geraldo Cechella. (Ed) Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: Editora IBRACON, 2005. 1v. Cap.25, p.753-792.

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

NBR 12655: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

NBR. 15575: Norma de desempenho. Emenda 1, 2021, complementa a ABNT NBR 15575-1:2021, Rio de Janeiro, 2021.

ASTM C 1202, Standard Test Method for Electrial Indication of concrete's Ability to resist Chloride Ion Penetration. **ASTM International,** Philadelphia, 2017.

AUROY M.A; S. POYET; Le TORRENTI, M. Impact of carbonation on the durability of cementitious materials: water transport properties characterization. **EDP Sciences,** v.56, 2013, p.001-010.

BASHEER, Lulu; KROPP, Joerg; CLELAND, David J. Assessment of the durability of concrete from its permeation properties: a review. **Construction and building materials**, v. 15, n. 2-3, p. 93-103, 2001. https://doi.org/10.1016/S0950-0618(00)00058-1

BAUER, E. **Avaliação da influência da adição de escória de alto-forno na corrosão das armaduras através de técnicas eletroquímicas**. 1995. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008, 490 p.

BEDDOE, R; Modelling acid attack on concrete: Part II, a computer model. **Cement and Concrete Research,** v. 88, 2016, p. 20-35.

BINICI, H; YUCEGOK, F; AKSOGAN, O; KAPLAN, H; Effect of Corncob, Wheat Straw, and Plane Leaf Ashes as Mineral Admixtures on Concrete Durability. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 20, n. 7, 2008, p**.** 899-1561.

BOLINA, Fabricio Longhi; TUTIKIAN, Bernardo Fonseca; HELENE, Paulo. **Patologia de estruturas**. Oficina de Textos, 2019.

BRAGAGNOLO, L; KORF, E. P; Aplicação de resíduos na fabricação de concreto: como técnicas analíticas de caracterização podem auxiliar na escolha preliminar do material mais adequado? **Revista Matéria**, v.25, n.01, 2020, p. 1-15. https://doi.org/10.1590/S1517-707620200001.0885

CASCUDO, O. **O controle da corrosão de armaduras em concreto**: Inspeção e técnicas eletroquímicas. São Paulo: Pini; Goiania: Editora UFMG, 1997, 236 p.

CASTELLOTE, M.; ANDRADE, C.; ALONSO, C. Accelerated simultaneous determination of the chloride depassivation threshold and of the non-stationary diffusion coefficient values. **Corrosion Science**, v. 44, p. 2409 2424, 2002.

CAVALCANTI FILHO, A. N. **Contribuição ao Controle Tecnológico de Concretos Estruturais de Cimento Portland em Ambientes Marítimos**. São Paulo, 2010, 330 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

CEB. Comité Euro Internacional *du Béton*. **Durable Concrete Structures**. Thomas Telford, 1992.

CHEN, K; WU, D; XIA, L; CAI, Q; ZHANG, Z. Geopolymer concrete durability subjected to aggressive environments – A review of influence factors and comparison with ordinary Portland cement. Construction and Building Materials. **EDP Sciences**, v. 279, 2021, p. 122-496.

DANG, Viet Quoc; OGAWA, Yuko. BUI, Phuong Trinh. KAWAI, Kenji. Effects of chloride ions on the durability and mechanical properties of sea sand concrete incorporating supplementary cementitious materials under an accelerated carbonation condition. **Construction and Building Materials,** v. 274, 2020, p. 1-13, 122016.

DEGEN, M. K., VIEIRA, G. L., CALMON, J. L., TEIXEIRA J. L. **Avaliação das propriedades mecânicas e do percentual de cloretos livres em concretos produzidos com resíduos de rochas ornamentais,** XII Congresso Latino americano de Patología de la Construcción y XIV Congreso de Control de Calidad en la Construcción CONPAT-Colombia, 2013.

DIETRICH, Y. P. **Durabilidade de concretos produzidos com adição de resíduos provenientes de rochas ornamentais frente à ação de íons cloreto**. 179f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2015. http://repositorio.ufes.br/handle/10/4004

DUART, M. A. **Estudo da microestrutura do concreto com adição de cinza de casca de arroz residual sem beneficiamento**. 2008. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS, 2008.

FOX, R., MCDONALD, W., ALAN, T. **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. 5º edição. Rio de Janeiro: LTC, 1998.

FRIEDMANN, H.; AMIRI, O.; AI¨T-MOKHTAR, A.; DUMARGUE, P. A direct method for determining chloride diffusion coefficient by using migration test. **Cement and Concrete Research**, v. 34, p. 1967 1973, 2004.

GJØRV, O. E. **Projeto da durabilidade de estruturas de concreto em ambientes de severa agressividade**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

GUIMARÃES, A.T. **Propriedades do Concreto Fresco**. In: ISAIA, Geraldo Cechella. Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: IBRACON, 2005, p. 793-827.

HELENE, Paulo R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armad**o, 1993, 219 f. Tese de livre docência, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1993.

HELENE, Paulo. LEVY, Salomon. Durability Of concrete mixed with fine recycled aggregates. **Revista Exacta**. São Paulo, v. 5, n. 1, 2007, p. 25-34.

HUGHES, P; The effects of power washing on concrete durability. **Maritime Engineering**. v. 166, 2013, p. 109-112.

Kim J., Moon J., Shim W., Sim J., Zi G. Durability properties of a concrete with waste glass sludge exposed to freeze-and-thaw condition and de-icing salt. **Construction Building**, 66(2014), 398-402.

KIM, Yongjae HANIF, Asad. USMAN Muhammad. MUNIR, Muhammad Junaid. KAZMI, Syed Minhaj Saleem. KIM, Samsoo. Slag waste incorporation in high early strength concrete as cement replacement: Environmental impact and influence on hydration & durability atributes. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, 2018, Pages 3056-3065.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade**. Fundamentos de metodologia científica.** 7. ed. São Paulo: Atlas, 2010, 295 p.

LEHNEN, Leonardo Augusto. **Análise do comportamento mecânico de vigas de Concreto armado com adição de vidro moído submetidas à corrosão acelerada**. Monografia. Universidade do vale do taquari. Curso de engenharia civil, 2020.

LIMA, M. G. **Ação do meio ambiente sobre as Estruturas de Concreto**. In.: Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. Editor: Geraldo Cechella Isaia. São Paulo: IBRACON, 2005.

MAES, Mathias; BELI, Nele De. Resistência de concreto e argamassa contra ataque combinado de cloreto e sulfato de sódio. **Cement e Concrete Composites**, v. 53, 2014. p.59-72.

MAGALHÃES, Aldo Giuntini de. **Durabilidade, proteção e recuperação das estruturas.** 2011, 105, f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

MAGALHÃES, Thiago Abdala. **Análise da penetração de íons cloreto em compósitos cimentícios contendo diferentes teores de escória de alto forno**. Thiago Abdala Magalhães. 2019.

MEDEIROS, M. H. F.; SOUZA, D. J.; HOPPE FILHO, J.; ADORNO, C. S.; QUARCIONI, V. A.; PEREIRA. Resíduo de cerâmica vermelha e fíler calcário em compósito de cimento Portland: efeito no ataque por sulfatos e na reação álcali-

sílica. **Revista Matéria**, v.21, n.2, pp. 282 - 300, 2016. DOI https://doi.org/10.1590/S1517-707620160002.0028

MEHTA, Kumar. **Concrete in the Marine Environment:** Cement, Concrete and Aggregates, 1992, 536 p.

MEHTA, Kumar; MONTEIRO, Paulo. **Concreto:** estrutura, propriedades e materiais. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008, 782 p.

NEPOMUCENO, A. A. **Mecanismo de transporte de fluidos no concreto**. In: Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações, São Paulo: IBRACON, 2005.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013, 448 p.

NEVILLE, Adam. M. **Propriedades do Concreto.** Tradução Salvador E. Giammusso ed. em inglês. São Paulo: Pini, 1982, 750 p.

Propriedades do concreto. 2 ed. São Paulo: Pini, 1997, 182 p.

PASSOS, L.; MORENO JUNIOR, A. L.; GOMES, C. E. M. Durabilidade de concretos produzidos com agregado graúdo proveniente de resíduo de cerâmica vermelha. **Revista Matéria**, v.25, n.2, 2020. DOI https://doi.org/10.1590/S1517-707620200002.1076

PETRUCCI, Eladio G. R. **Concreto de Cimento Portland**. 5. ed. rev. Porto Alegre: Ed. Globo, 1978, 306 p.

RIBEIRO, D. V.; SALES, A.; SOUSA, C.A.C.; ALMEIDA, F. C.R.; CUNHA, M.P.T.; LOURENÇO, M.Z.; HELENE, P. **Corrosão em Estruturas de Concreto Armado**: Teoria, Controle e Métodos de Análise. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014, 797 p.

RICHARDSON, M.G. **Carbonation of reinforced concrete: Its causes and management**. New York: CITIS Ltd, Publishers, 1988, 205 p.

SACILOTO, Adriano Pedroso. **Comportamento frente à ação de cloretos de concretos compostos com adições minerais submetidos a diferentes períodos de cura**. Dissertação. UNIVERSIDADE Federal de Santa Maria Centro de Tecnologia - Programa de pós-graduação em engenharia civil, 2005.

SILVA, Carla Mabel Medeiros de Albuquerque. CAPUZZO, Valdirene Maria Silva . Avaliação da durabilidade de concretos produzidos com agregados de resíduo de concreto utilizando a abordagem de mistura dois estágio. **Revista Matéria**, v.25, n.1, 2020. https://doi.org/10.1590/S1517-707620200001.0882

SILVA, Stefano, EVANGELISTA, Luís bd, BRITO, Jorge de c d. Durability and shrinkage performance of concrete made with coarse multi-recycled concrete aggregates. **Construction and Building Materials**. v. 272, 2021, 121645. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121645

SOARES, Felipe Dalla Nora. **Desempenho mecânico e durabilidade de concretos com uso de resíduos da construção civil (RCC) na substituição parcial dos agregados graúdo e miúdo** . (Trabalho de conclusão de curso). Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI, 2017.

SOARES, S. M. **Durabilidade de compósitos cimentícios de ultra alto desempenho com incorporação de pó de vidro frente à ação de cloretos.** Tese (Doutorado) – Universidade Federal de São Carlos, 2021.

SOUZA, V.; RIPPER, T. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto. –** São Paulo: Pini, 1998, 256 p.

TEIXEIRA Fernando Ritiéle. PALIGA. Charlei Marcelo. COSTA.Vitória Silveira da, TORRES. Ariela da Silva. **Penetração de cloretos em concretos com substituição parcial do aglomerante pelo resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais**. Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções – CBPAT 2020.

TEIXEIRA, Fernando Ritiele.**Concretos com substituição parcial do cimento pelo resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais:** Análise quanto à ação de íons cloreto. 2019.142f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2019

TROIAN, Aline. **Avaliação da durabilidade de concretos produzidos com agregado reciclado de concreto frente à penetração de íons cloreto**. 129p. Tese (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Do Vale Do Rio Dos Sinos, São Leopoldo, 2010.

TRUC, O; OLLIVIER, J.P CARCASSES, M.A A New way for determining the chloride diffusion coefficient in concrete from steady state migration test**. Cement and Concrete Research**, v. 30, p. 217 226, 2000. DOI https://doi.org/10.1016/S0008-8846(99)00232-X

WASSERMANN, R.; KATZ, A.; BENTUR, A. Minimum cement content requirements: a must or a myth? **Materials and Structures**, v.42, n.7, 2009, p. 973-982. http://doi.org/10.1617/s11527-008-9436-0

WANG, R. et al. Review on the deterioration and approaches to enhance the durability of concrete in the freeze–thaw environment. **Construction and Building Materials**, v. 321, p. 126371, 2022. DOI. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126371

WHITING, D. Rapid Measurement of the Chloride Permeability of concrete. **Public Roads,** v. 45, n. 3, 1981, p. 101-102.

YUAN Q., SANTHANAM M. Test methods for chloride transport in concrete. **Performance of Cement-Based Materials in Aggressive Aqueous Environments: State-of-the-Art Report, RILEM TC 211-PAE**, p. 319-343, 2013.