

ANÁLISE QUALITATIVA DA AGRESSIVIDADE DE INTEMPÉRIES DO MEIO AMBIENTE EM CONCRETO NA CIDADE DE SÃO LUÍS - MA

Qualitative Analysis of Environmental Weathering Aggressiveness on Concrete in the City of São Luís – MA

Yuri Leandro Abas Frazão¹, Marcelo de Souza Picanço²



PALAVRAS CHAVE:

Durabilidade do concreto;
Agressividade ambiental;
Penetração de cloretos;
Carbonatação.

KEYWORDS:

Concrete durability;
Environmental
Aggressiveness;
Chloride penetration;
Carbonation.

RESUMO: Este artigo apresenta um estudo abrangente que analisou a durabilidade do concreto em ambientes urbanos, com foco na cidade de São Luís-MA. O objetivo central do estudo foi investigar a influência da agressividade ambiental, microclima local e tempo de cura na penetração de cloretos e carbonatação no concreto. O procedimento metodológico envolveu a moldagem de corpos de prova cilíndricos, que foram posicionados em três locais distintos da cidade, incluindo áreas comerciais e a região litorânea. Além disso, foram realizados ensaios colorimétricos para análise qualitativa da penetração de agentes agressivos. Os resultados destacaram que a região do Renascença, um centro comercial, apresentou a maior agressividade em relação ao concreto, influenciada pela alta movimentação urbana. Um achado significativo foi a influência do tempo de cura: corpos de prova com apenas 1 dia de cura demonstraram penetração de agentes agressivos até três vezes mais profunda do que aqueles com 28 dias de cura. A principal contribuição deste trabalho é reforçar a importância de uma abordagem holística que leve em conta fatores ambientais e climáticos na seleção e formulação de concretos duráveis, alinhando-se com as normas da NBR 15575 (ABNT, 2021). Isso é fundamental para a engenharia civil, pois impacta diretamente na vida útil das estruturas de concreto em ambientes urbanos, possibilitando um melhor planejamento e manutenção das construções.

ABSTRACT: This article presents a comprehensive study that analyzed the durability of concrete in urban environments, with a focus on the city of São Luís-MA. The central objective of the study was to investigate the influence of environmental aggressiveness, local microclimate, and curing time on chloride penetration and carbonation in concrete. The methodological procedure involved the molding of cylindrical specimens, which were placed in three different locations in the city, including commercial areas and the coastal region. In addition, colorimetric tests were performed for qualitative analysis of the penetration of aggressive agents. The results highlighted that the Renascença region, a commercial center, exhibited the highest aggressiveness in relation to concrete, influenced by high urban mobility. A significant finding was the influence of curing time: specimens with only 1 day of curing showed penetration of aggressive agents up to three times deeper than those with 28 days of curing. The main contribution of this work is to emphasize the importance of a holistic approach that takes into account environmental and climatic factors in the selection and formulation of durable concretes, aligning with NBR 15575 (ABNT, 2021) standards. This is essential for civil engineering as it directly impacts the lifespan of concrete structures in urban environments, allowing for better planning and maintenance of constructions.

* Contato com os autores:

Publicado em 30 de dezembro de 2023

¹ e-mail: yuri.frazao@hotmail.com (Y. L. A. Frazão)

Engenheiro Civil, Mestre em Materiais e Construção Civil, professor da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

² e-mail: marcelopicanco2004@yahoo.com.br (M. S. Picanço)

Engenheiro Civil, Doutor em Geologia e Geoquímica, professor da Universidade Federal do Pará (UFPA)

1. INTRODUÇÃO

A busca por estruturas de concreto duráveis transcende a mera preocupação técnica e se estende a um espectro econômico, ambiental e de conservação de recursos. A durabilidade das estruturas de concreto não apenas afeta os custos de manutenção e reparo, mas também tem implicações profundas no uso eficiente de recursos naturais e na redução do impacto ambiental. A inadequada durabilidade das estruturas de concreto resulta em demanda por constantes intervenções e gerando custos financeiros substanciais (ADETUNJI, 2005).

A compreensão da agressividade ambiental e do microclima de uma região específica é um fator essencial no desenvolvimento de concretos capazes de alcançar a vida útil de projeto e um bom desempenho. A influência do microclima sobre o concreto não pode ser subestimada, pois as condições climáticas e ambientais podem acelerar processos de degradação e afetar significativamente a durabilidade das estruturas (NEVILLE, 2016)

A degradação do concreto armado, com foco especial na corrosão do aço, representa um grande desafio para a durabilidade das estruturas. Os agentes agressivos, como cloretos e dióxido de carbono, desempenham papéis cruciais nesse processo de degradação. A penetração desses agentes no concreto desencadeia reações químicas que podem minar a integridade estrutural e a vida útil da construção. Portanto, um entendimento aprofundado desses mecanismos de degradação é essencial para a concepção e manutenção de estruturas duráveis

O estudo da durabilidade do concreto vem evoluindo com o avanço do conhecimento sobre o mecanismo de transporte de fluidos em meios porosos. Assim sendo possível elaborar modelos matemáticos para prevê o comportamento do material em meios agressivos e projetar vida útil adequada para cada situação. (MEDEIROS et al., 2011)

2. OBJETIVOS

O objetivo desta pesquisa consiste em analisar o desempenho do concreto em diferentes regiões da cidade de São Luís - MA, particularmente no que se refere à carbonatação e penetração de cloretos. Através da moldagem de corpos de prova cilíndricos e sua subsequente análise por ensaios colorimétricos, buscamos elucidar os efeitos da agressividade ambiental nessas estruturas.

3. CONTEXTUALIZAÇÃO

3.1. DURABILIDADE DO CONCRETO

Para Medeiros et al (2011) a durabilidade é a interação da estrutura, ambiente, uso, operação e manutenção. Dessa forma, não se trata de uma característica intrínseca à estrutura, mas sim a relação entre ela e os demais fatores. O que faz uma mesma estrutura ter diferente durabilidade em condições ambientais e formas de uso distintas.

As normas brasileiras ainda não definem critérios objetivos para alcançar a vida útil de projeto (VUP). Somente a NBR 6118 (ABNT, 2014) define critérios para o chamado Estado Limite de Serviço (ELS), pois se refere quantitativamente a limites de fissura por flexão, deformações e vibrações. Porém esses limites são insuficientes de acordo com o conceito de durabilidade e vida útil. Não é expresso qualquer limite de corrosão, reações expansivas, lixiviação, micro-organismos, manchas, carbonatação, difusão de cloretos e outras degradações do concreto armado. Ficando a aplicação prática da durabilidade sujeita a interpretações subjetivas dos demais intervenientes. (MEDEIROS et al, 2011)

Ainda para Bolina, Tutikian e Helene (2019), a vida útil de projeto não é o tempo que a estrutura permanecerá íntegra, mas o período “mínimo que se espera que sejam atendidos os requisitos de

desempenho estabelecidos no projeto”. Esse tempo está diretamente ligada com as técnicas, materiais e qualidade empregada na construção.

Na Figura 1, Helene (1997) propôs uma definição de vida útil limitando os níveis de corrosão do aço do concreto armado. Essa proposta foi adaptada do modelo defendido por Tuutti (1982).

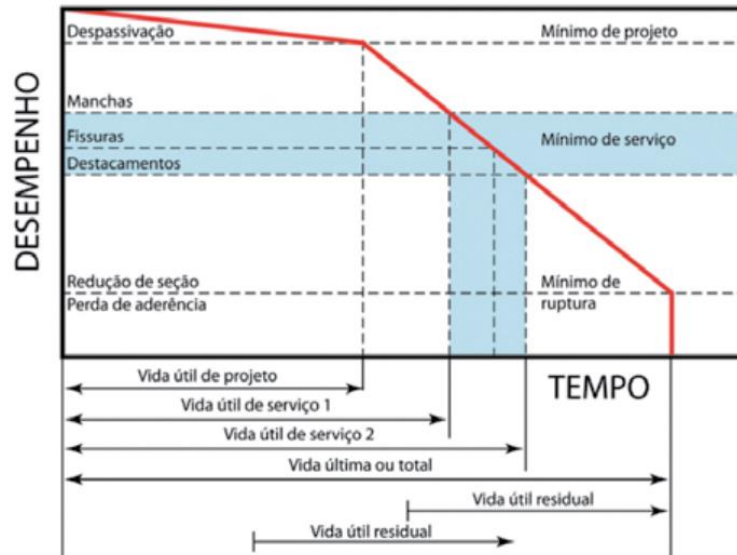


FIGURA 1: Demonstração de vida útil das estruturas de concreto a partir de corrosão.

FONTE: (HELENE, 1997).

Possan (2010) apresenta uma evolução nos critérios para o desenvolvimento de projetos de estruturas concreto armado ao longo das últimas décadas, conforme a Figura 2. No princípio, a principal característica buscada para uma peça de concreto armado era a resistência mecânica, “que durante muito tempo foi tida como fonte única e segura das especificações de projeto”. Ao longo do tempo, com as mudanças de materiais, das metodologias de cálculo e com o avanço das pesquisas, outros critérios foram sendo buscados, como a durabilidade, desempenho, vida útil, custo de ciclo de vida e sustentabilidade.

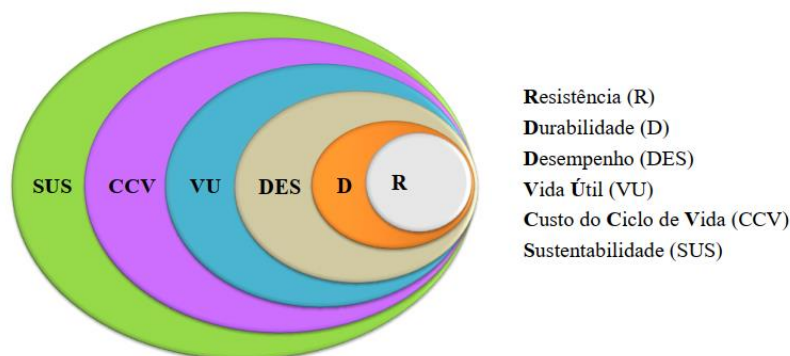


FIGURA 2: Evolução Conceitual dos projetos das estruturas de concreto armado.

FONTE: (POSSAN, 2010).

Percebe-se que existe uma relação íntima entre durabilidade, desempenho, vida útil e sustentabilidade. “Focando na durabilidade, ser sustentável é projetar as estruturas com qualidade, resistência e vida útil compatível com as suas necessidades de utilização, respeitando o meio ambiente” (Medeiros et al., 2011).

3.2. DEGRADAÇÃO DO CONCRETO

O concreto armado é o elemento estrutural mais utilizado no mundo. Isso se dá por diversos motivos, seja pelo baixo custo de produção, à mão de obra de baixa qualificação, o menor tempo gasto na elaboração dos projetos, além de permitir estruturas mais ousadas do que com a alvenaria estrutural. (BOLINA et al., 2019). Além disto, outro fator que leva a esta preferência é a maior durabilidade dos componentes, em especial do aço, que está protegido do ambiente externo (RIBEIRO e CASCUDO, 2018).

Apesar de, antigamente, acreditarem que o concreto era um material “eterno”, por apresentar bom comportamento durante longa exposição ao intemperismo ambiental, hoje sabe-se que isto não é verdade. Apesar da evolução tecnológica sofrida pelo material, observou-se que alguns dos componentes do concreto passaram manifestar sinais de degradação, causando uma “redução parcial ou total de funcionalidade das peças” (BOLINA et.al, 2019).

A NBR 6118 (ABNT, 2014) classifica o meio ambiente em quatro níveis de agressividade, fraca, moderada, forte e muito forte. Porém essa classificação não estabelece critérios quantitativos para nortear os projetos de estruturas de concreto. Entre os métodos para estimar a vida útil de uma estrutura, a ABNT utiliza o menos preciso, o chamado método com base nas experiências anteriores. Onde diferente dos métodos determinista, de ensaios acelerados e probabilista, este é baseado, exclusivamente, em critérios qualitativos e empíricos (MEDEIROS et al, 2011).

Considerando a quantidade de etapas de dosagem, mistura, transporte, lançamento, adensamento, cura e cimbramento da estrutura de concreto, além da qualidade dos materiais, a identificação da origem das anomalias torna-se uma atividade bastante complexa. Afinal, dificilmente uma anomalia em concreto é relacionado somente a uma origem, mas normalmente as manifestações patológicas ocorrem pelo somatório de agentes e causas degradantes. Por isso, um correto diagnóstico se dá somente a partir da experiência do profissional e ensaios tecnológicos (BOLINA et.al, 2019).

3.3. CORROSÃO DO CONCRETO ARMADO

A corrosão da armadura do concreto armado é um fenômeno que degrada e compromete a durabilidade da estrutura. Podendo ser causado por diferentes mecanismos, entre eles a redução da alcalinidade do concreto e a penetração de cloretos (CLAISSE, 2019).

Helene (1986) afirma que a corrosão ocorre por uma reação química ou eletroquímica e é o resultado de uma interação destrutiva entre o material e o meio ambiente. Ainda, a corrosão é definida como a “deterioração de um material, usualmente um metal, resultante de reações químicas ou eletroquímicas com seu ambiente” (ASTM, 2020).

Para Bolina et al (2019), a manifestação de anomalias na superfície da estrutura de concreto como fissuras e manchas de ferrugem apontam que o processo de corrosão já se encontra em estágio avançado, visto que as aberturas no concreto são o resultado do aumento volumétrico da área anódica da barra de aço e das tensões geradas pelo processo de corrosão. De acordo com as tensões geradas dentro do concreto, devido a expansão do aço, podem chegar a 15 MPa.

Para Mehta e Monteiro, (2014) os danos resultantes da corrosão se manifestam em forma de expansão, fissuras e descolamento do concreto de cobrimento. Além da perda de cobrimento, a estrutura de concreto armado sofre danos estruturais significativos devido a perda de aderência entre o concreto e o aço e a perda de área de aço. Esse efeito é apresentando por Cascudo (1997) na Figura 3.

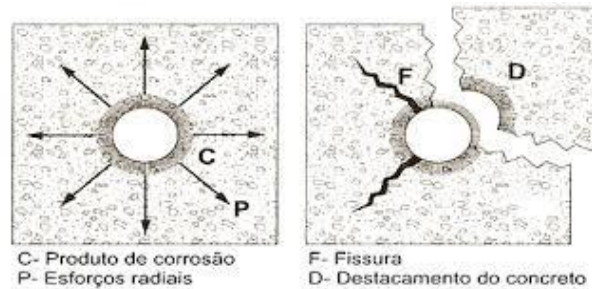


FIGURA 3: Mecanismo de fissuração resultante da corrosão do aço.
FONTE: (CASCUDO, 1997)

Para Tuutti (1982) os dois mecanismos mais relevantes na despassivação do aço é a carbonatação do concreto e a presença de íons cloro acima dos níveis aceitáveis.

3.4.1. Carbonatação

Quando o concreto é exposto a dióxido de carbono (CO_2), gás sulfídrico (H_2S) e o dióxido de enxofre (SO_2), estes agentes reagem com os hidróxidos alcalinos, especialmente o hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$), que reduz a alcalinidade da pasta de cimento. O produto desta reação é o carbonato de cálcio ($CaCO_3$) que possui um pH de aproximadamente 9,4, fato que altera as condições de estabilidade química da camada passivadora. A transformação dos compostos hidratados do cimento em carbonato, por ação, principalmente do CO_2 , é chamado de carbonatação. (RIBEIRO, 2018a).

O concreto possui um pH de aproximadamente 12,5 devido aos compostos hidratados do cimento, principalmente o hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$) (SILVA, 1995). Porém, após a carbonatação o concreto tem seu pH reduzido abaixo de 9,0, o que compromete a camada passivadora, tornando a armadura suscetível a corrosão. (BOLINA et al., 2019)

Existem alguns fatores que influenciam na carbonatação do concreto, como a relação água/cimento, consumo e tipo de cimento, presença de adições minerais, condições de cura, presença de fissuras, concentração de CO_2 , umidade relativa do ar e temperatura. (RIBEIRO et al., 2021b)

Para determinação da profundidade de carbonatação do concreto existem alguns métodos possíveis de serem feitos, como a análise termogravimétrica, difração de Raio-X, microscopia eletrônica de varredura e a aspersão de fenolftaleína (RIBEIRO et al., 2021b).

O uso de solução de fenolftaleína é a forma mais acessível para avaliação da profundidade de carbonatação. Apesar de não quantificar com precisão a carbonatação, esse método avalia, de forma colorimétrica, o pH do concreto. Por ser sabido que um dos efeitos da carbonatação é a redução do pH, é feito essa correlação entre a carbonatação e o potencial hidrogeniônico (RIBEIRO e CUNHA, 2018).

3.4.2. Ataque de Cloretos

A corrosão devido ao ataque de cloretos pode ser considerada como a principal degradação do concreto armado. O cloreto no concreto pode ter origem interna ou externa, ou seja, ser adicionado na mistura ou por penetração de agentes agressivos (MEIRA et al., 2021).

O concreto recebe o cloreto, seja pelo contato direto com água do mar ou transportado pelo vento, gerando uma alta concentração na parte superficial. Devido a ciclos de molhagem e secagem a água pura evapora, dessa forma a concentração de sais na água remanescente aumenta. Devido a variação de concentração, os cloretos são transportados, majoritariamente, pelo processo de difusão para a parte interna do concreto até a superfície do aço (NEVILLE, 2016).

A ruptura da camada passivadora pelos cloretos é feita de forma pontual, diferentemente da ruptura causada pela carbonatação que de forma mais generalizada. Em contato direto com o aço, os

cloretos promovem a corrosão do metal mesmo se o concreto ainda apresentar elevada alcalinidade (MEIRA *et al*, 2021).

A presença de cloretos pode ser verificada de forma quantitativa com o uso da técnica de perfil de cloretos totais, ou de forma qualitativa com a aspersão de Nitrato de Prata. Sendo o segundo método o mais acessível, mas o menos preciso por se tratar de uma análise colorimétrica (RIBEIRO *et al*, 2021a).

Com uso da técnica de aspersão de Nitrato de Prata, os cloretos livres presente no concreto reagem com a solução e formam um precipitado branco, o cloreto de prata (AgCl). Na região sem cloreto, ou com cloretos fixados, ocorre a formação do óxido de prata, de cor marrom, devido a reação entre os íons de prata e as hidroxilas presentes na pasta cimentícia, como apresentando na Figura 4 (MEDEIROS *et al*, 2018).



FIGURA 4: Precipitação de cloretos livres (branco) e cloretos combinados.

FONTE: (MEDEIROS *et al*, 2009).

4. METODOLOGIA

O estudo buscou analisar o desempenho do concreto em diferentes regiões da cidade de São Luís-MA, quanto a penetração de cloretos e de carbonatação. Foram moldados corpos de prova cilíndricos, espalhados em 3 pontos da cidade, rompidos no tempo de 6 e 12 meses, e analisado por meio de ensaio colorimétrico.

Os corpos de prova foram produzidos no laboratório de materiais de construção do Centro Universitário UNDB, com a dosagem de 1;2;3 com fator de água cimento de 0,54.

Os materiais utilizados na pesquisa foram:

- **Cimento:** CP IV 32 – Cimento Portland composto com adição de pozolana. Este foi escolhido por ser o cimento mais disponível no mercado da construção civil local;
- **Agregado miúdo:** Areia média lavada
- **Agregado graúdo:** Brita basáltica nº 1;
- **Água potável:** Fornecida pela CAEMA
- **Fenolfitaleína:** Solução 30% de água destilada e 70% de álcool etílico + 1% de fenol
- **Nitrato de Prata:** Solução de Nitrato de Prata 0,1N

Foram dispostos 3 corpos de prova em cada ponto, conforme a FIGURA 5. Os pontos escolhidos foram dentro do centro urbano da cidade e próximo da região litorânea, conforme a Figura 5.

- **Ponto 1:** Cobertura do condomínio Maison Monet, no bairro da Ponta do Farol, distante 600 metros do mar.

- **Ponto 2:** Cobertura do Centro Universitário UNDB, no bairro do Renascença, distante 1.400 metros do mar.
- **Ponto 3:** Cobertura da OWH, no bairro do Parque Atlântico, distante 800 metros do mar.

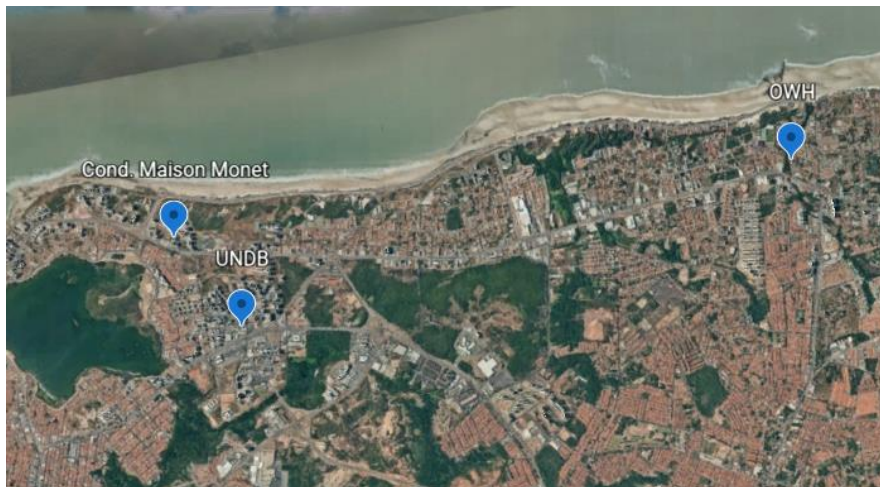


FIGURA 5: Disposição dos corpos de prova.

FONTE: Autoria Própria.

Com a mesma dosagem, os corpos de provas cilíndricos foram divididos para serem submetidos a diferentes tempos de cura úmida. Enquanto alguns corpos de provas ficaram 28 dias submersos em laboratório antes de serem expostos ao ambiente, outros ficaram somente 1 dia dentro do tanque com água.

Os corpos de prova foram distribuídos em diferentes regiões e posicionados nas coberturas das edificações, submetidos a sol e chuva para facilitar a difusão dos agentes agressivos.

Após o período de 6 e 12 meses, os corpos de prova foram rompidos por compressão diametral em prensa hidráulica para evitar contaminação da serra de corte. Então foi realizado a aspersão de Fenolftaleína e Nitrato de Prata para análise colorimétrica e qualitativa da penetração dos agentes agressivos ao concreto.

Para a determinação da profundidade de carbonatação, em cada corpo de prova foram realizadas 10 medições nas faces laterais em pontos equidistantes para o cálculo da média da frente de carbonatação, conforme recomendação de Daniel Ribeiro (2021).

Ainda, com o auxílio do software Autodesk AutoCad 2023 foi possível realizar o tratamento das imagens e análise das áreas afetadas pelos agentes agressivos, sendo possível verificar a evolução da frente de carbonatação e de cloretos nos corpos de prova ao longo do tempo analisado a partir do percentual de área contaminada por agentes agressivos.

Devido a presença de agregados graúdos densos, a frente de carbonatação aparente com o uso da fenolftaleína apresenta erros na coloração do corpo de prova. Isso ocorre pois os “agregados que se encontram na frente de carbonatação não serão coloridos” (RIBEIRO *et al*, 2021b).

Para correção desse erro foi traçado uma linha entre os dois pontos nas laterais do agregado, conforme recomenda por Ribeiro (2021b) (Figura 6).

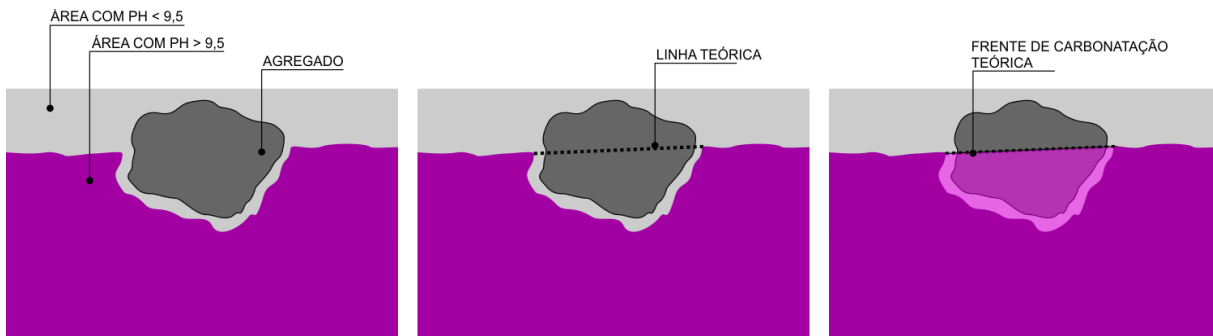


FIGURA 6: Correção de medida da frente de carbonatação.

FONTE: Adaptado de (RIBEIRO et al, 2021).

5. RESULTADOS E DISCURSÕES

5.1. ANÁLISE DA CARBONATAÇÃO DO CONCRETO

O estudo analisou a agressividade ambiental quanto a carbonatação do concreto em três pontos distintos durante 12 meses, com dois períodos de medição.

No ponto da UNDB, localizado no bairro do Renascença, os resultados apontaram um avanço na média da profundidade de carbonatação. O corpo de prova exposto durante 6 meses apresentou uma média de 3,087mm, enquanto o exposto por 12 meses apresentou uma penetração média de 4,544 mm. O avanço da profundidade de carbonatação média foi de 1,457 mm entre os dois períodos analisados.

O ponto localizado na cobertura do edifício Maison Monet, situado em no bairro da Ponta do Farol, foi verificado um avanço na média da profundidade de carbonatação nos corpos de prova expostos com 6 e 12 meses, os quais apresentaram, respectivamente, 2,645mm e 3,233mm. Assim, foi constatado um avanço de 22,3%.

O ponto localizado na cobertura do edifício da empresa Orange Work House (OWH), situado em no bairro Parque Atlantico, com 2,13%, apresentou o menor avanço de carbonatação entre as regiões analisadas. Com uma média de 2,78 mm e 2,84 mm para os corpos de provas expostos durante 6 e 12 meses, respectivamente.

Conforme apresentado na Figura 7, a análise da agressividade ambiental das regiões analisadas, em relação à carbonatação com concreto, apontou que que o bairro Renascença, onde está localizado a UNDB, foi a zona mais agressiva, apresentando a maior profundidade de carbonatação.

Após 12 meses de exposição, região do edifício Maison Monet apresentou a segunda maior agressividade ao concreto, seguido pela região do edifício da empresa OWH.

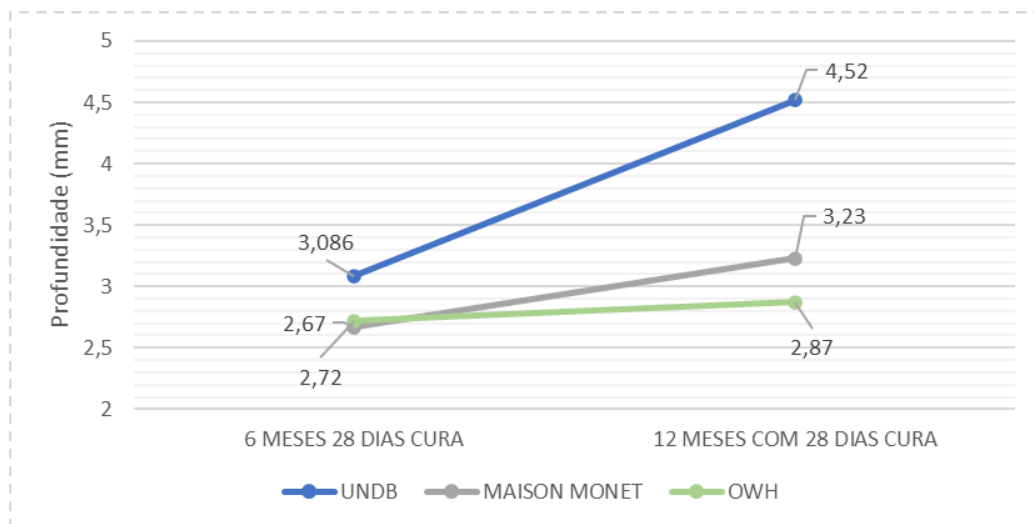


FIGURA 7: Profundidade média de carbonatação.

FONTE: Autoria Própria.

De forma complementar ao estudo foi realizado uma análise da profundidade de carbonatação com corpos de prova com 1 dia de cura, exposto por 6 meses (Tabela 1). Devido a maior porosidade do material, a profundidade de penetração dos agentes agressivos foi superior ao constatado nos corpos de prova com 28 dias de cura (Figura 8).

TABELA 1: Medições da média da frente de carbonatação com 1 dia de cura e 6 meses de exposição

	UNDB	MAISON MONET	OWH
Ponto 1	7,44	4,621	5,184
Ponto 2	8,09	2,742	5,643
Ponto 3	7,081	3,774	5,795
Ponto 4	7,448	5,354	3,774
Ponto 5	4,646	7,643	4,234
Ponto 6	7,566	7,282	5,167
Ponto 7	7,678	7,145	4,785
Ponto 8	6,725	7,592	4,784
Ponto 9	6,973	6,051	4,478
Ponto 10	4,618	3,059	7,245
Média	6,8265	5,5263	5,1089
Desvio Padrão	1,155836	1,802365781	0,921078113

FONTE: Autoria Própria.

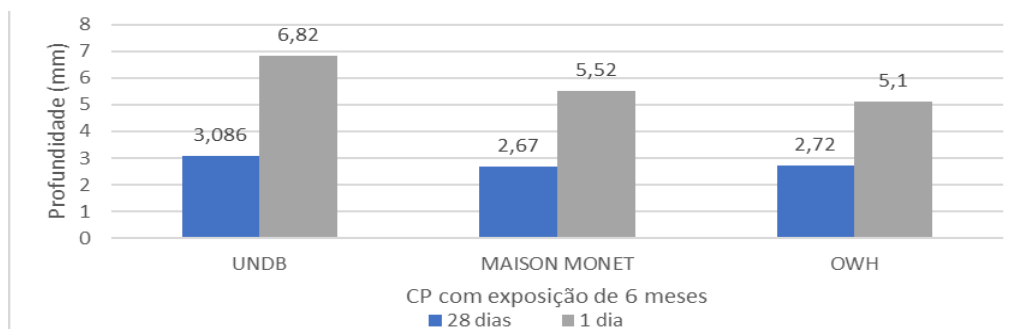


FIGURA 8: Profundidade de carbonatação com 1 dia e 28 dias de cura.

FONTE: Autoria Própria.

Neste cenário, com a maior amplitude das penetrações, a região da UNDB se mantém como a mais agressiva, apresentando uma profundidade 23% maior do que o corpo de prova locado no edifício Maison Monet.

Os resultados convergem com Ribeiro et al. (2021), que afirma que as condições de cura também é fator preponderante no resultado da resistência do concreto contra a carbonatação. Quanto maior o tempo de cura, mais refinado serão os poros e, conseqüentemente, menos poroso e mais resistente a penetração de gases.

Pesquisas mostram com o aumento do tempo de cura de 1 para 3 dias, o avanço da carbonatação reduz, aproximadamente 40% (NEVILLE, 2016) (Figura 9).

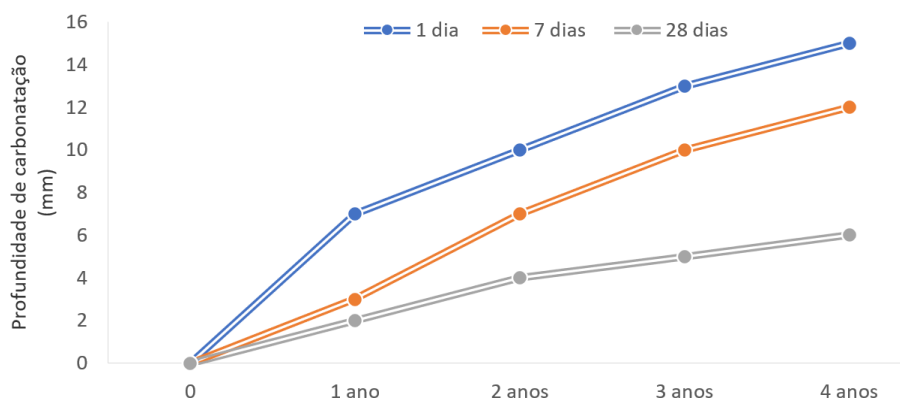


FIGURA 9: Influência do tempo de cura na profundidade de carbonatação.

FONTE: Adaptado de Visser (2014).

5.2. ANÁLISE DA PENETRAÇÃO DE CLORETOS

O ponto localizado na cobertura do Centro Universitário Dom Bosco (UNDB), situado no bairro do Renascença, apresentou-se como a região potencialmente mais agressiva quanto a penetração de cloretos.

A média de profundidade de cloretos apresentou um avanço de 8,11% entre o 6º e o 12º mês. Com seis meses de exposição o corpo de prova apresentou uma penetração de média de 3,15mm, e com doze meses foi verificada uma penetração de 3,41 mm.

O ponto localizado na cobertura do edifício Maison Monet, situado no bairro Ponta do Farol, apresentou-se como a região de agressividade intermediária entre as analisadas.

A penetração média de cloretos durante os 6 primeiros meses foi de 2,70 mm, e com 12 meses foi de 3,17 mm, resultando em um avanço de 17%

O ponto localizado na cobertura do edifício da empresa Orange Work House (OWH), apresentou-se como a região com menor agressividade quanto a penetração de cloretos entre as áreas estudadas.

A média de penetração de cloretos com 6 meses de exposição foi de 2,16 mm, e com 12 meses foi de 3,012, apresentando um avanço de 39%.

Os resultados sobre a agressividade em relação a cloretos apontam a região da UNDB com a mais agressiva entre as áreas analisadas. Logo, o estudo apontou que essa região é a mais agressiva para os dois agentes analisados, dióxido de carbono e cloretos.

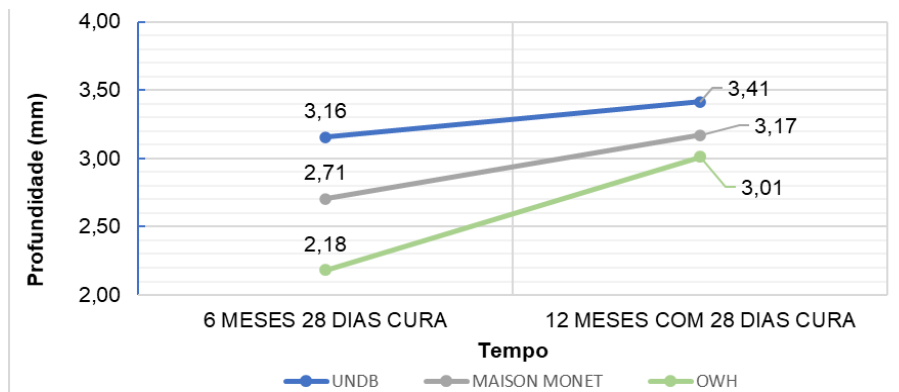


FIGURA 10: Profundidade média da penetração de cloretos

FONTE: Autoria Própria

O resultado é inesperado pois o ponto locado no prédio da UNDB é o mais distante entre os analisados. Porém este resultado pode ser justificado devido a sua relativa proximidade com mar (1.400 metros) e por estar localizado no centro comercial e corporativo da cidade. Esses dois fatores elevam a concentração de cloretos e dióxido de carbono, respectivamente.

Mesmo estando mais próximo ao litoral, os pontos dos edifícios da OWH e Maison Monet estão localizados em uma região exclusivamente residencial e com baixa densidade populacional, fato que induz a um baixo fluxo de veículos, e conseqüentemente, uma baixa emissão de carbono.

Percebe-se que o mesmo material submetido a ambientes diferentes resultou em processos de degradação igualmente distintos. Ribeiro e Cascudo (2018) esclarecem que a durabilidade não é simplesmente uma característica do material, mas sim, o resultado da interação ambiente e material. Ainda para Roque e Junior (2006) nenhum material é intrinsecamente durável, e o concreto não é diferente.

De forma complementar ao estudo foi realizado uma análise da profundidade da penetração de cloretos com corpos de prova com 1 dia de cura, exposto por 6 meses (Tabela 2). Devido a maior porosidade do material, a profundidade de penetração dos agentes agressivos foi superior ao constatado nos corpos de prova com 28 dias de cura (Figura 11).

TABELA 2: Média da penetração de cloretos com 1 dia de cura e 6 meses de exposição

	UNDB	MAISON MONET	OWH
Ponto 1	5,717	6,155	4,208
Ponto 2	6,675	6,156	4,537
Ponto 3	5,704	6,379	6,542
Ponto 4	6,59	7,24	6,529
Ponto 5	5,553	2,82	6,513
Ponto 6	6,225	5,947	2,865
Ponto 7	6,667	6,688	6,328
Ponto 8	6,63	5,5	5,547
Ponto 9	6,729	4,726	6,038
Ponto 10	6,302	3,362	6,199
Média	6,2792	5,4973	5,5306
Desvio Padrão	0,436666	1,364668535	1,190256544

FONTE: Autoria Própria

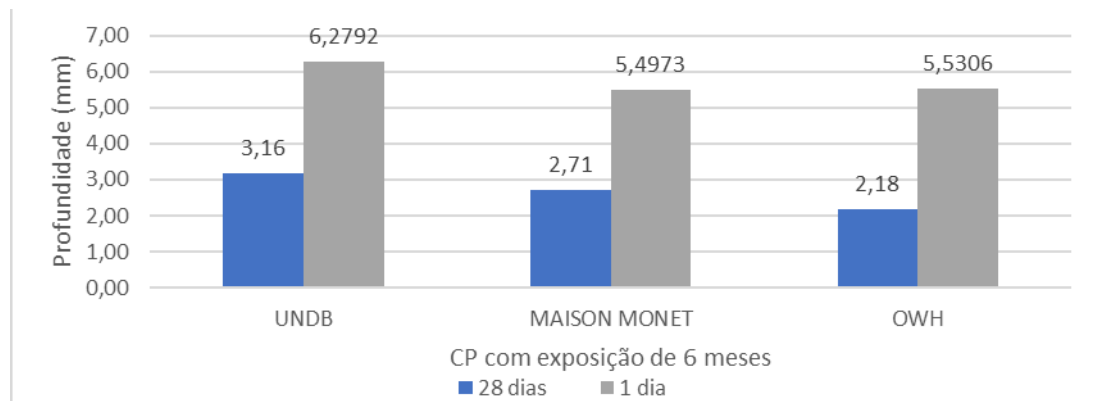


FIGURA 11: Penetração de cloretos com 1 dia e 28 dias de cura

FONTE: Autoria Própria

Neste cenário, com a maior amplitude das penetrações, a região da UNDB se mantém como a mais agressiva, apresentando uma profundidade 13% maior do que o corpo de prova locado no edifício da OWH.

Ainda cabe mencionar que os resultados da análise com nitrato de prata podem ter sofrido alterações devido a carbonatação do corpo de prova. O estudo de Medeiros (2018) aponta que o ensaio colorimétrico com nitrato de prata ($AgNO_3$), sofre alteração de cor mesmo se aplica em concreto carbonatado que não foi submetido a cloretos.

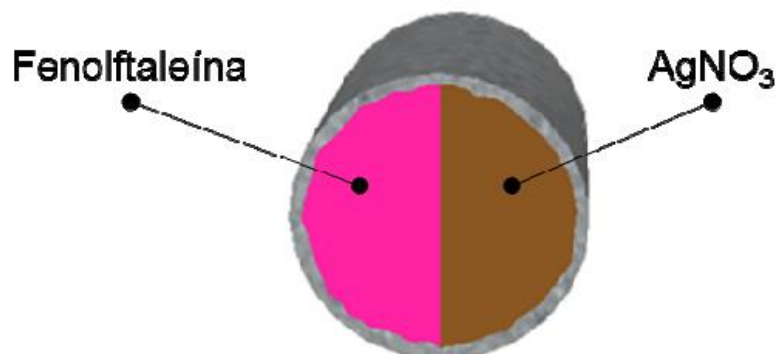


FIGURA 12: Corpo de prova carbonatado e livre de cloretos com metade da seção aplicada solução de fenolftaleína e a outra metade com solução de $AgNO_3$.

FONTE: (MEDEIROS et al, 2018).

6. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos nos ensaios realizados, é possível inferir que, dentre as áreas investigadas em São Luís - MA, a que exibiu maior agressividade em relação ao concreto foi a região do Renascença, onde se encontra situado o edifício da UNDB. Com efeito, percebe-se que essa região é reputada como o epicentro comercial e empresarial da cidade, caracterizando-se por uma maior movimentação de veículos e indivíduos comparativamente aos demais pontos analisados. Desta maneira, é plausível concluir que a concentração de agentes agressivos nos distintos microclimas urbanos sofre influência direta do comportamento social característico das áreas urbanas.

Salienta-se que, apesar de ser o ponto mais afastado da orla litorânea do município, os corpos de prova posicionados na UNDB revelaram maior profundidade de penetração de cloretos no ensaio qualitativo. Esse desfecho pode ter decorrido da incidência da carbonatação, que possivelmente afetou a avaliação colorimétrica do cloreto, conforme defendido por Medeiros (2018).

Ademais, foi possível verificar que o período de cura exerce considerável impacto sobre a durabilidade do concreto. Corpos de prova submetidos a 1 dia de cura exibiram penetração até três vezes mais profunda em comparação com concretos com 28 dias de cura. Esse achado reforça a importância da gestão adequada do tempo de cura na manutenção da integridade do concreto e na prolongação de sua vida útil.

A análise da agressividade ambiental e do microclima específico de uma região é um aspecto crítico para alcançar a vida útil de projeto e um bom desempenho das estruturas de concreto. A norma NBR 15575 (ABNT, 2021) enfatiza a importância de considerar o ambiente local no desenvolvimento de projetos, reconhecendo que a interação entre o concreto e seu entorno é um fator determinante para a durabilidade das construções. Portanto, as conclusões deste estudo reforçam a necessidade de uma abordagem holística que integre fatores ambientais e climáticos na seleção e formulação de concretos duráveis.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADETUNJI, Israel Olugbenga. **Sustainable construction: a web-based performance assessment tool**. Loughborough University, Loughborough, 2005.

ASTM G193-20 - STANDARD TERMINOLOGY AND ACRONYMS RELATING TO CORROSION. ASTM International, [S.l.], 2020.

BOLINA, Fabricio; TUTIKIAN, Bernado; HELENE, Paulo. **Patologia de Estruturas**. São Paulo: Oficina de Texto, 2019.

CLAISSE, Peter A. **Materiais de Construção**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2019.

HELENE, Paulo. **Contribuição ao Estudo da Corrosão em Armadura de Concreto Armado**. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

HELENE, Paulo. **Corrosão em Armadura para Concreto Armado**. São Paulo: PINI, 1986.

MEDEIROS, Marcelo Henrique Farias; ANDRADE, Jairo José de Oliveira; HELENE, Paulo. **Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto**. In: *Concreto: Ciência e Tecnologia*, [S.l.], v. 1, 2011, p. 773–808.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedade e Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2014.

MEIRA, G. R. et al. **Procedimento de Ensaios de Difusão e Migração de Cloretos, Visando a Estimativa de VUP em Concreto**. São Paulo: IBRACON, 2021.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. Porto Alegre: Bookman, 2016.

POSSAN, Edna. **Modelagem da Carbonatação e Previsão de Vida Útil de Estruturas de Concreto em Ambiente Urbano**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

RIBEIRO, Daniel; CUNHA, Manuel. **Uso de Técnicas de Avaliação e Monitoramento da Corrosão em Estrutura de Concreto Armado**. In: RIBEIRO, Daniel Veras (org.). *Corrosão e Degradação em Estruturas de Concreto: Teoria, Controle e Técnicas de Análise e Intervenção*. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018, p. 291–350.

RIBEIRO, Daniel Veras. **Estrutura dos Poros e Mecanismos de Transporte no Concreto**. In: RIBEIRO, Daniel Veras (org.). *Corrosão e Degradação em Estruturas de Concreto: Teoria, Controle e Técnicas de Análise e Intervenção*. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.

RIBEIRO, Daniel Veras; CASCUDO, Oswaldo. **Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto**. In: RIBEIRO, Daniel Veras (org.). *Corrosão e Degradação em Estruturas de Concreto: Teoria, Controle e Técnicas de Análise e Intervenção*. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.

RIBEIRO, Daniel Veras et al. **Guia para Determinação do Perfil de Concentração e Profundidade de Penetração de Cloretos: Prática Recomendada**. São Paulo: CT IBRACON / ALCONPAT 702: Procedimentos para Ensaios de Avaliação da Durabilidade das Estruturas de Concreto, 2021.

RIBEIRO, Daniel Veras et al. **Procedimentos de Ensaio de Carbonatação Acelerada e Natural do Concreto: Prática Recomendada IBRACON**. São Paulo: CT IBRACON / ALCONPAT 702: Procedimentos para Ensaios de Avaliação da Durabilidade das Estruturas de Concreto, 2021.