

Manifestações patológicas em concreto armado: o caso do prédio da biblioteca da Universidade Federal do Maranhão

O concreto é um material de grande importância para o desenvolvimento da civilização, tendo em vista ser indispensável para a construção civil, devido às suas características de resistência, durabilidade e baixo custo se comparado a outros materiais. Porém, deve-se destacar que é um material que merece uma grande atenção em seus processos executivos, principalmente quando considerado a cura do concreto. O processo de cura consiste em um controle da água de amassamento, sendo relacionada diretamente a ocorrência ou não de manifestações patológicas. O estudo apresenta como objetivo geral a análise da influência do processo de cura no concreto, onde foi necessário compreender os tipos de cura, analisar a caracterização do concreto e compreender os processos químicos que ocorrem na mistura do concreto. O estudo de caso contou com a dosagem do concreto por meio do método ABCP, onde analisou-se o comportamento do material em função de sua resistência identificado a influência de cura na obtenção de resistência à compressão. Os resultados demonstram que além do tempo, o processo de cura interfere na obtenção das resistências, o menor valor obtido foi de 10,91 Mpa enquanto que o maior valor foi de 27,82 Mpa. O processo de cura total, onde os corpos de prova foram totalmente hidratados mostraram um melhor desempenho do material ao longo do tempo.

Palavras-chave: Manifestações patológicas; Manutenção; Estruturas.

Pathological manifestations in reinforced concrete: the case of the library building of the Federal University of Maranhão

Reinforced concrete is identified as one of the main products produced by the construction industry, with maintenance being of great importance, in order to preserve and meet the objectives for which it was designed, as well as to ensure the lives of users who it has, mainly nowadays, in which over the years, technological advances demand more and more from the market, in association with the degree of demands of the users. The study addresses the main pathological manifestations found along the structure of the central library building at the Federal University of Maranhão (CEB Velho). The study is characterized by being descriptive and qualitative in nature, with a bibliographic bias, where articles, dissertations, theses and technical studies were consulted that served as the basis for sustaining the ideas discussed throughout the work. The main objective is to analyze the manifestations, diagnose them and propose solutions to the identified problems, based on the knowledge provided in the literature. Several signs of section loss were identified, that is, loss of functional and structural characteristics, as well as signs of corrosion in metallic elements. Furthermore, the corrosive effect on the reinforced concrete resulted in some points loss of session (displacing), as well as the inexistence of a maintenance plan for old buildings, making it necessary to establish more routine inspections, thus, emergency corrective actions are proposed, covering and measures aimed at minimizing the deterioration of structures.

Keywords: Pathological manifestations; Maintenance; Structures.

Topic: **Engenharia de Estruturas**

Received: **28/11/2022**

Approved: **30/01/2023**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Matheus Macedo Barroso

Universidade Federal do Maranhão, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0310257425153833>
mateusbarroso123@hotmail.com

Gerson Willyam Santos da Silva

Universidade Federal do Maranhão, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6470949306790079>
gwilliam07@outlook.com

Luiza Quaresma Everton Diniz Vale

Universidade Federal do Maranhão, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4604226712184724>
luiza.qedv@hotmail.com

Artur Goes dos Santos Junior

Instituto Federal do Maranhão
<http://lattes.cnpq.br/5129573074713866>
arturgoes.santos@gmail.com

Manoel Guterlam Araujo dos Reis Junior

Universidade Federal do Maranhão, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5816829213709436>
manoel.guterlam@gmail.com



DOI: 10.6008/CBPC2674-6395.2023.001.0002

Referencing this:

BARROSO, M. M.; SILVA, G. W. S.; VALE, L. Q. E. D.; SANTOS JUNIOR, A. G.; REIS JUNIOR, M. G. A.. Manifestações patológicas em concreto armado: o caso do prédio da biblioteca da Universidade Federal do Maranhão. *Inventionis*, v.4, n.1, p.22-37, 2023. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2674-6395.2023.001.0002>

INTRODUÇÃO

O ramo da Engenharia de uma forma geral pode ser identificado como sendo um setor que tem por base a criação de processos e dispositivos os quais levam em consideração diversos materiais, ativos, pessoas, tendo por foco a sociedade. Nesse sentido, surge a figura dos projetos de engenharia, os quais são pensados e colocados em prática para atendimento de determinadas especificidades ao longo dos anos, assim sendo, com o intuito de mantê-lo, servindo como útil para todos os seus usuários, torna-se importante manter sua vida útil, tendo por base a sua manutenção.

Cada vez mais, as Engenharia é cobrada por avanços que tendem a minimizar custos e riscos, contudo, são pontos que chama atenção, tendo em vista que os problemas que surgem nesse cenário não se tratam apenas a ações antrópicas, mas também por questões ambientais, as quais por influências naturais, tendem a ocasionar na existência de manifestações patológicas nas estruturas, principalmente quando considerada áreas de grande agressão ambiental, tal como regiões litorâneas.

A associação entre condições climáticas e exposição, tendem a influenciar negativamente as estruturas de concreto armado, sendo por isso, necessário a elaboração de planos de manutenção, visando a segurança de quem dispões das estruturas para manter a vida útil dos empreendimentos. O presente trabalho tem como objeto de estudo o prédio da antiga biblioteca da Universidade Federal do Maranhão, conhecido como CEB Velho, localizado na cidade universitária em São Luís - MA.

A necessidade do estudo é pautada considerando a importância que a Universidade Federal do Maranhão tem para a comunidade local e nacional, por se tratar de uma intuição de referência para a comunidade científica, identificada como sendo uma das melhores intuições de ensino superior do país. Por se tratar de um empreendimento antigo, dado a sua fundação, e considerando a sua área de locação, bem próxima a uma área marinha e industrial, a associação de fatores naturais com a falta de manutenções adequadas, fez-se que com a edificação ficasse passiva aos ataques de cloretos e falhas decorrentes da falta de manutenção, sendo assim, evidenciada diversas manifestações patológicas que atuam sobre a estrutura, minimizando seu tempo de vida útil. Assim, esses fatores chamam a atenção em função do funcionamento da estrutura que deve atender uma série de medidas de segurança, as condições estruturais do local tendem a interferir no funcionamento, sendo assim, o estudo apresenta como grande importância.

REVISÃO TEÓRICA

Concreto armado

A evolução da sociedade trouxe consigo alterações não só nos padrões de comportamento, mas também no uso de equipamentos no desenvolvimento de tarefas. Hoje, o setor da construção civil conta tem como principal elemento o concreto armado, que trabalha em associação do ferro e aço. A NBR 6118 define os elementos de concreto armado como sendo “aqueles cujo comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura, e nos quais não se aplicam alongamentos iniciais das armaduras antes

da materialização dessa aderência”, no qual as armaduras podem ser diferentes, identificadas por dois tipos, as armaduras passivas e as ativas.

Armadura passiva

O conjunto de barras de aço forma a armadura que será associada ao concreto armado, fazendo parte de um conjunto. Nesse sentido, vale destacar que a associação de ambas, visa na preservação da vida útil do material, pois alia-se as características intrínsecas ao concreto (resistência à compressão, durabilidade, baixo custo) com as do aço (resistência à tração, ductilidade), sendo assim, acarretando inúmeros benefícios ao material. A armadura passiva ou frouxa, é caracterizada por não apresentar tensões iniciais, sendo usada com o intuito de propor resistência à tração, conforme ilustrado pela figura 1.

Armadura ativa

Identificado pelo nome de concreto protendido (concreto e armadura ativa), é o tipo de concreto armado que apresenta em sua constituição armaduras que foram submetidas a tensões prévias antes do seu uso em associação ao concreto, assim, surge o papel da armadura ativa ou armadura de proteção. O presente estudo abordará analisará estruturas em concreto armado, sendo por isso, não será abordado estrutura de concreto com armadura ativa, que são indicativas de concreto protendido.

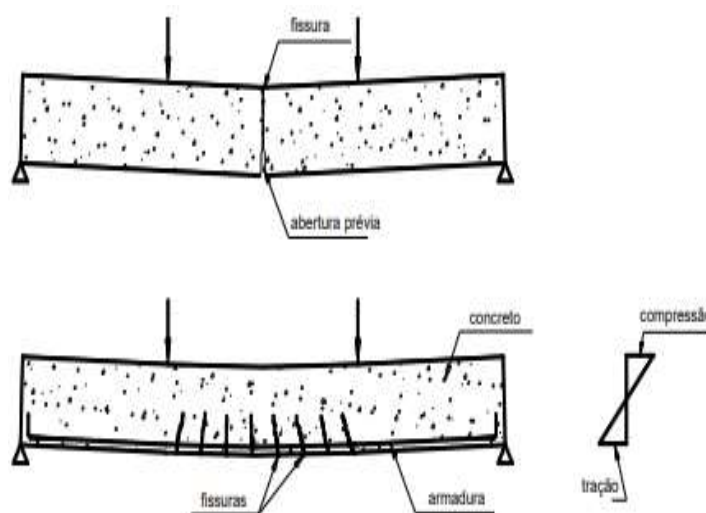


Figura 1: Vigas de concreto com e sem armadura.

Patologias e manifestações patológicas em estruturas de concreto armado

O estudo acerca das manifestações patológicas em concreto é antigo, porém como bem destaca Bauer (1992) por volta da década de 80 estes tornaram-se mais bem expressivos, não se tratando apenas de estudos, mas também a busca de profissionais por cursos e reuniões técnicas que tratam sobre o assunto. Por outro lado, Souza et al. (1998) pontuam que esta preocupação remete aos anos 70, cujos profissionais da área passaram a buscar entender sobre o comportamento das estruturas, e seu funcionamento, dado ação do tempo e uso, considerando esforços constantes e perda de resistência.

Nesse grande universo de estudo o qual apresenta inúmeras causas e consequências, salienta-se que há uma problemática acerca das denominações nas quais muitos profissionais apresentam dificuldades. Conforme bem destacam Sena et al. (2020), a patologia das edificações é caracterizada por ser uma ciência que estuda anomalias e problemas surgidos nas estruturas, logo, comporta-se como a área de estudo da engenharia que estuda os fenômenos, enquanto que as manifestações patológicas tratam diretamente das degradações que acometem e colapsam a estrutura, sendo bem comum que sua origem seja atrelada a execução da obra, por não seguimento as normas e um déficit de acompanhamento da mesma, ou, por outro lado, podendo ser adquiridas pela influência do tempo e falta de manutenção. Souza et al. (1998) tratam que a sistematização do ramo de estudo da patologia das construções, direciona o foco para duas grandes distinções, sendo elas o ramo simples e o complexo.

Nesse sentido, Coporrino (2018) reforça a importância da área no estudo e investigação das origens, causas e consequências das manifestações patológicas em uma estrutura. Reforçando essa ideia e complementado um cenário mais abrangente, França et al. (2011) pontuam quatro pontos a serem sempre considerados na área de estudo, sendo esses: profilaxia; diagnóstico; prognóstico; terapia e anamnese.

Regiões litorâneas e o ataque do salitre

As regiões litorâneas são identificadas como sendo uma das regiões de maiores agressividades para as estruturas, influenciando no aspecto físico, em que muitas das vezes leva as estruturas a perder suas características funcionais. Devido à alta exposição a agentes externos, a associação entre altos teores de umidade, salinidade (cloretos) e elevadas temperaturas, a situação tende a piorar, podendo levar as estruturas a colapsos (SICA, 2006). Nessa vertente, percebe-se que o meio ambiente tem interferência direta no estado das construções. Partindo desse pressuposto, torna-se necessário considerar a NBR 6118 no estudo da agressividade, pois a norma em questão caracteriza as regiões considerando níveis de agressão, tal como pode ser identificado pelo quadro 1.

Quadro 1: Classes de agressividade ambiental segundo o local de onde a estrutura está inserida

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: NBR 6118 (2014).

Ainda segundo a norma NBR 6118 (2014) a agressividade do ambiente é definida como sendo:

A agressividade do meio ambiente está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto, independentemente das ações mecânicas, das variações

volumétricas de origem térmica, da retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento das estruturas.

A associação que outrora mencionada por Sica (2006) e reforçada por Gonçalves (2015) já é o suficiente para iniciar um processo de degradação do material, sendo assim, é de suma importância o atendimento aos parâmetros dispostos nas normas pertinentes, tais como, o respeito a considerar na elaboração do projeto as condições naturais da região, e, por outro lado, alguns outros pontos que evitam danos, tais como a taxa de recobrimento do concreto. Dependendo das características da região, a taxa de cobertura nominal mínimo pode variar, conforme ilustrado pelo quadro 2.

Quadro 2: Relação entre classe de agressividade e taxa de cobertura nominal.

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

Fonte: NBR 6118 (2014).

Por mais que exista no mercado normas e estudos pertinentes que asseguram e atestam o uso de determinados procedimentos e equipamentos, mesmo assim, ainda observa-se uma grande expressão de problemas, assim sendo, surge a necessidade de destacar a importância dos engenheiros de campo, em especial os projetistas e executores, pois muitos problemas surgem na etapa de execução, muitos das vezes, ficam mais marcados aqueles problemas de não atendimento as informações contidas nas normas (COSTA, 2017).

Vida útil das estruturas de concreto armado

Nos últimos 20 anos cresceu disparadamente o desenvolvimento de estudos que se direcionam ao estudo da durabilidade do concreto e vida útil das estruturas, reforçando a importância do tema, tendo em vista que as estruturas passaram a ser mais degradadas, surgindo com isso a necessidade de atentar-se às exigências impostas pelo mercado e adequação do setor construção civil para quesitos de sustentabilidade (CLIFTON, 1993). Sendo para isso, considerado normas internacionais a exemplo a ACI 201, 1R-08, ACI365.1R 00, a norma europeia EN-206 e estudos de grandes especialistas na área, os quais reforçam a necessidade e importância de estudar mecanismos que visem preservar a estruturas em função do tempo e ação do meio onde estão inseridas (HELENE, 2011).

O estudo acerca da durabilidade e vida útil das edificações é extenso e complexo, pois há várias variáveis que devem ser consideradas e sobre quais óticas devem ser estudadas. Nesse sentido, por exemplo, pode-se mencionar a norma **fib Model Code for Service Design** que considerada o estudo sobre três vertentes,

dentre os quais, há uma subdivisão de mais quatro aspectos em relação a um dos pontos principais de análise, sendo essas:

- a) Métodos de Introdução ou Verificação da Vida Útil no Projeto;
 - 1. Probabilista completo, ou seja, padrões de confiabilidade, dispostos na norma ISO 2394:1998;
 - 2. Coeficiente parcial de segurança, ou seja, método semi-probabilístico, dispostos nas normas NBR 8681:2003 e ISO 22111:2007;
 - 3. Exigências prescritivas ou por atributos
 - 4. Indireto de proteção da estrutura
- b) Procedimentos de Execução e Controle de Qualidade;
- c) Procedimento de Uso, Operação e Manutenção.

Por muito tempo a engenharia considerou o “achismo” na confecção de estruturas de concreto armado, e, tal realidade perdurou até meados dos anos 80, período altamente marcado pelas experiências profissionais e bom senso. O avanço nesse ramo, deu-se principalmente pela compreensão e adequação da engenharia a modelos matemáticos que passaram a transmitir dados quantitativos de diversas informações, tal como, por exemplo, o transporte de gases agressivos sobre os poros do concreto, com isso, passou-se a identificar com detalhes mecanismos que tinham uma influência negativa sobre o concreto e que interferência no seu desempenho, acarretando problemas funcionais e estruturais para as edificações. Assim, devido a esse cenário, houve uma significativa contribuição no que tange a quantificação da vida útil do concreto, expressa em anos e não só por aspectos qualitativos que o engenheiro pontuava frente a um ambiente agressivo (HELENE, 2011).

Contudo, Helene (1983) destacou que os aspectos antes considerados não foram excluídos, tendo em vista que se enquadravam como princípios básicos de avaliação. À medida que se estipulava anos de vida útil, os princípios serviam para a concretização da data, pois eram parâmetros que eram considerados, pois é notório a necessidade que havia de se constatar as características de onde determinada estrutura estava alocada. Além de manter em condições adequadas as estruturas, garantir a segurança aos usuários, outro fator relevante nesse cenário é no que se refere aos gastos que podem se tornar bem dispendiosos, tal como destacou Takewaka (2007) que pontuou os gastos envolvendo manutenções em países desenvolvidos, nos quais destacou que França (79,6 bilhões de Euros), Alemanha (99 bilhões de Euros), Itália (76,6 bilhões de Euros) e Reino Unido (61,2 bilhões de Euros), gastam mais com manutenção e reparos do que com construções novas.

Levando em consideração que a resistência das estruturas de concreto armado é dependente também de fatores externos que influenciam no seu aspecto funcional e estrutural, assim, considera uma associação importante entre resistência do concreto, resistência da armadura e a resistência da própria estrutura projetada (HELENE, 1983). Atualmente, considera-se a tempo de vida útil mínimo de cada estrutura a depender de sua natureza, conforme ilustrado pelo Quadro 3.

Quadro 3: Tempo mínimo de vida útil.

Sistema	VUP mínima em anos
Estrutura	≥ 50 Conforme ABNT NBR 8681
Pisos internos	≥ 13
Vedação vertical externa	≥ 40
Vedação vertical interna	≥ 20
Cobertura	≥ 20
Hidrossanitário	≥ 20

* Considerando periodicidade e processos de manutenção segundo a ABNT NBR 5674 e especificados no respectivo manual de uso, operação e manutenção entregue ao usuário elaborado em atendimento à ABNT NBR 14037.

Fonte: NBR 15575 (2013).

Partindo dessa ideia, Helene (2011) justifica que a necessidade de conhecimento de fatores que influenciam na durabilidade do concreto e na vida útil, são fundamentais para três pontos relevantes, sendo esses: a) Prevenção de manifestações patológicas que surgem precocemente sobre a estruturas; b) Servir de auxílio na previsão do comportamento do concreto a longo prazo; c) Contribuir em aspectos financeiros (minimizando gastos de recuperação), sustentabilidade e, a própria, durabilidade.

A importância das manutenções

As manutenções surgem como uma série de ações e procedimentos com o intuito de preservar as estruturas, mantendo a vida útil, conservação e assegure o bem-estar dos usuários, tendo em vista a importância de manter a segurança. Por outro lado, as manutenções podem surgir ainda com foco de recuperação, tendo em vista que muitas vezes são colocadas em práticas quando um problema já incide sobre determinado empreendimento (SENA et al., 2020).

Além de segurança e conservação, tratar de manutenções é tratar de custos, como bem aborda a Lei de Sitter (1984) na qual destaca a atribuição de custos dependendo do período de ação tomada para sanar ou evitar um problema/colapso, sendo o crescimento dos custos atendendo uma progressão geométrica de ordem cinco para as etapas, atendendo a seguinte ordem: planejamento, execução, manutenção preventiva e manutenção corretiva, conforme pode-se observar pelo gráfico 1.

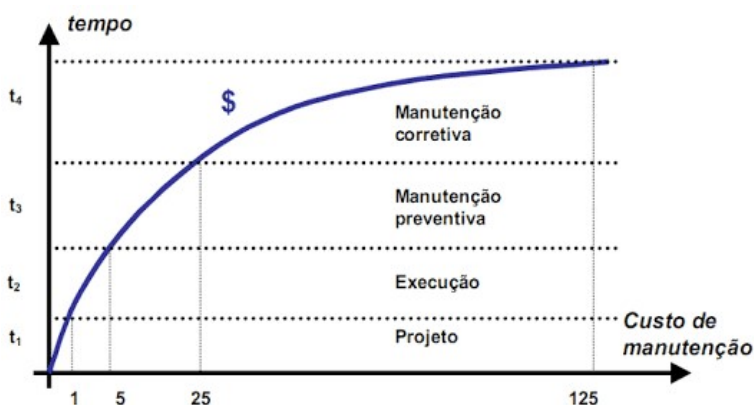


Gráfico 1: Lei de Sitter e evolução dos custos. Fonte: Sitter (1984).

Silva (2012) destaca que quanto mais especificação e clareza nos detalhes, contribui bastante no fato de minimizar problemas e custos, pois é notório a objetivação de uma obra: eficiência. Em sua obra intitulada “Qualidade: cada erro tem um preço”. Hammarlund et al. (1992), afirmam que quanto mais cedo a intervenção, menores os gastos, sendo a etapa de projeto crucial. Dado ao exposto, infere-se, portanto, a importância do estudo de viabilidade, pois é onde ocorre as decisões acerca de todo o processo construtivo, porém, esse procedimento é difícil de ser seguido (SILVA, 2012). Logo, surgem as figuras das manutenções corretivas e preventivas, uma com foco na prevenção da ocorrência do problema e outro com foco na correção do problema constatado.

Manutenção Corretiva

De acordo com Costa (2013) esse tipo de manutenção pode ser caracterizado por ser um tipo arcaico e simples, sendo identificada de dois tipos, as planejadas e as não-planejadas. As manutenções corretivas não-programadas são aquelas que demandam ações imediatas a ocorrência dos problemas, sem acompanhamento ou exigência de uma sequência de tarefas ordenadas, sendo por isso, ações que exigem altos custos operacionais e baixa confiabilidade, pois muitas das vezes acarretam danos irreversíveis. Por outro lado, apresentando uma natureza próxima, surgem as manutenções corretivas planejadas, onde identifica-se um certo preparo antes das ações.

Manutenção Preventiva

Segundo Gomide et al., (2006) a manutenção preventiva é definida como sendo “aquela que atua antecipadamente, para que não haja reparação”. Assim, referem-se a um conjunto de ações estruturadas que antecipam o defeito de uma estrutura. Para que sejam atendidas de forma eficaz, torna-se necessário que a empresa responsável pela obra crie planos de manutenção, estabelecendo datas de vistorias e criando um histórico de manutenção, os quais preveem atividades rotineiras e de grande controle técnico, nesse cenário, destacando a importância das inspeções.

METODOLOGIA

O estudo apresenta-se de cunho descritivo de abordagem qualitativa. Inicialmente, a primeira etapa caracteriza-se como sendo bibliográfica onde foram coletados estudos pertinentes à área de manifestações patológicas, tendo em vista a necessidade de desenvolver o referencial teórico. Com isso, foram consultados materiais como artigos científicos, monografias, dissertações e teses.

Em um segundo momento, foram realizadas visitas *in loco* nas dependências do Prédio do CEB Velho na Cidade Universitária da Universidade Federal do Maranhão compus São Luís, conforme exemplificado na Figura 2. A região do prédio está em uma área de acesso à região industrial, às margens da Avenida dos Portugueses, que corresponde ao Km 0 da BR - 135. Além do mais, a área em questão apresenta alta agressividade, devido também a proximidade com a região litorânea. Foram feitos registros fotográficos do local de análise os quais serviram como ferramentas de suporte para a problemática evidenciada. Tendo em

vista se tratar de um espaço público, não foi possível a realização de ensaios técnicos, principalmente de modo destrutivo. Com isso, as discussões do presente estudo se basearam pelos problemas identificados e relacionados com a literatura, identificando relações de causa e efeito.



Figura 2: Localização do CEB Velho. Fonte: Google Earth Pro (2022).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo identificou diversos problemas estruturais em pilares (Figuras 3 e 4). Por se tratar de uma região próxima ao mar e próxima a zona industrial da cidade, a localidade é considerada como sendo de elevado grau de agressividade, acarretando um elevado risco de deterioração da estrutura (NBR 6118, 2014). Assim, percebe-se a associação perfeita para que ocorra uma desagregação do concreto, comprometendo o aspecto funcional e estrutural das construções. Os problemas foram constatados em 9 pilares, cujas dimensões são 51x15 cm.



Figura 3: Pilar 1 deteriorado.



Figura 4: Pilar 2 deteriorado.

Percebe-se que alguns pontos da estrutura se apresentam bem deteriorados conforme evidências, cujas fotos corroboram a ideia de falta de manutenção, as estruturas em concreto armado tendem a perder resistências e seções, com isso, ocorre a desagregação da camada de proteção, fazendo com que os aços

fiquem expostos, influenciado a perda de resistência à tração das estruturas, principalmente quando não ocorre manutenções, sejam elas planejadas (preventivas) ou emergenciais (corretivas).

Além do aspecto estrutural direto (resistência) observa-se também outros problemas que são bem evidentes, tais como a carbonatação (Figura 5) que é um processo em que se faz surgir na estrutura manchas brancas decorrentes da ação físico-química do dióxido de carbono (CO_2) com a estrutura, assim, segundo Possan (2010) a microestrutura das construções podem ser alteradas bem como o ph, sendo um dos principais fatores justamente a concentração de CO_2 , em associação com o teor de umidade, temperatura, composição do concreto e a estrutura em que está disposta os poros.



Figura 5: Efeito da carbonatação em viga.

Tendo em vista o efeito da carbonatação e a associação de fatores naturais, Muniz et al. (2020) fizeram uma análise estrutural onde analisaram a condição estrutural de um dos berços de atracação de navios do Porto do Itaqui, com isso, para corroborar com esse processo, analisaram o teor de umidade da região, buscaram os índices pluviométricos médios da cidade de São Luís, e, ainda analisaram alguns aspectos em termos de seguimento de normas técnicas pertinentes à estrutura, assim, obtiveram como principal resultado que considerando os valores de F_{ck} mínimo de 40 Mpa para estruturas instaladas na região seguindo a norma NBR 12655 (2015), foi incompatível, pois os maiores valor de F_{ck} encontrado foi 36,6 Mpa e mínimo de 28,8 Mpa, ou seja, bem abaixo do estipulado por norma, sendo esses fatos decorrente dos valores insatisfatórios de ph “*in loco*”, elevadas concentrações de cloretos e sulfatos e devido ao potencial eletroquímico do concreto. Assim, as associações de condicionante naturais com a falta de manutenção, corroboram com o processo destrutivo.

No que tange a falta de manutenção, a Prefeitura da Cidade Universitária informou que não há um plano de manutenção para as edificações mais antigas, em contrapartida, as edificações mais novas passam por algumas inspeções periódicas. Por meio das visitas *in loco*, foi observado diversos fatores que corroboram com a ideia de falta de manutenção, sejam elas preventivas ou corretivas, conforme pode ser evidenciado pelas Figuras 6 e 7.



Figura 6: Perda de seção em pilar.



Figura 7: Perda de seção em laje.

Além da análise dos problemas que indiciem sobre as estruturas de concreto armado, outro fator que chama atenção é quanto a corrosão em elementos metálicos. Na cobertura apresenta-se estruturas de onde passam fiação elétrica, os quais ficam sobre a cobertura (material de fibrocimento). Os elementos metálicos sofrem com a corrosão (Figura 8), os quais podem ser evitadas por meio de proteção catódica ou pintura, caso não ocorra um processo em que seja evitado a corrosão (DIAS et al., 2013).



Figura 8: Corrosão de elementos metálicos

Além das manifestações patológicas de cunho estrutural, ficou bem evidente que a estrutura sofre com infiltrações as quais desencadeiam bolores nas paredes e contribuem para a formação de limo, além de influenciar também na estética da edificação, conforme ilustrado pelas Figuras 9, 10 e 11.



Figura 9: Infiltrações ao longo do pilar e laje.



Figura 10: Infiltração em laje.



Figura 11: Infiltração ao longo da parede.

Vale destacar que os custos envolvendo recuperação são caros, incluindo as impermeabilizações. Além do aspecto visual no revestimento, as infiltrações influenciam no aparecimento de fungos e bactérias, que em ambiente úmido, pioram ainda mais a proliferação (HUSSEIN, 2013).

As manutenções nas estruturas são de grande importância, pois focam ações corretivas e preventivas, percebe-se que alguns pontos demandam maiores atenções, pois encontram-se em uma situação precária colaborando para a ocorrência de acidentes aos usuários dos espaços.

Ao analisar estruturas torna-se importante destacar quanto a sua vida útil, dessa forma ao analisar a estrutura sob a óptica da durabilidade, destacam-se a norma BS 7543 (2003) intitulada *Guide to Durability of Buildings and Building Elements, Products and Components* e os estudos de Helene (1993), na qual ambos destacam sobre o tempo de vida útil das edificações, em especial a BS 7543 a qual está consolidada há mais de 30 anos na definição de vida útil de edificações, dessa forma, tem-se que: a) 60 anos para edifícios; b) 120 anos para pontes, estádios, barragens e metrô.

Contudo, segundo Helene (1983), no Brasil essa situação é totalmente diferente, pois ao tratar de tempo de vida útil de uma edificação, deve-se ser analisado sobre todos os fatores que incidem sobre a edificação, porém no Brasil as análises de durabilidade das estruturas apresentam propostas de vida útil claras, contudo são direcionadas sob a fenômenos de corrosão das armaduras, mesmo que desde o ano de 1990 essa vertente já fosse direcionando para a área de manutenção das edificações, contudo, ao passar dos anos, só consolidou-se acerca de um ponto específico, a corrosão de armaduras. Dessa forma, pode-se analisar pela Figura 12 como ocorre o processo de desempenho de uma estrutura sob a ocorrência de determinadas manifestações patológicas.

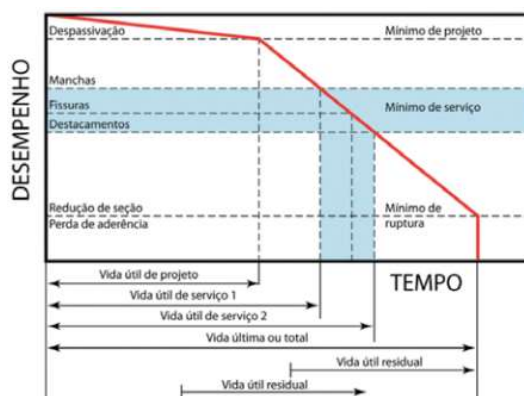


Figura 12: Conceituação de vida útil das estruturas sob o processo de corrosão

Dessa forma, analisa-se o desempenho das edificações com manifestações patológicas considerando a Vida Útil de Projeto, Vida Útil de Serviço, Vida Útil Última ou Total, Vida Útil Residual, assim, define-se como:

- a) Vida Útil de Projeto: inicialmente torna-se necessário definir que o fato de a carbonatação atingir a armadura, ou, um certo nível de cloretos, não corresponde com certeza a um processo de corrosão, mesmo que de modo geral, ocorra, mas nem sempre origina uma certa criticidade à estrutura. Porém, é um tempo de grande importância que deve ser considerado no projeto. De modo geral, esse período configura-se como sendo o tempo que vai até despassivação da armadura, podendo ser identificada como sendo um período de iniciação (HELENE, 2003);
- b) Vida Útil de Serviço: Configurado como sendo de grande variabilidade, sendo esse fator relacionado ao quão uma estrutura é exigida estruturalmente. É o período que consiste no surgimento de manchas na superfície do concreto, ou, a ocorrência de fissuras na camada de revestimento do concreto, ou, até mesmo, em alguns casos, o destacamento do concreto de revestimento. Vale salientar que se deve considerar a segurança aos usuários, pois em vários casos esse fator é considerado apenas devido ao deslocamento, sendo esse o fator determinante, mesmo que em algumas outras situações não o seja (HELENE, 2011);
- c) Vida Útil Última ou Total: Período marcado pela perda de seção e redução da resistência, ou seja, ocorre minimização de aderência a armadura e perda de seção, ou seja, é o período caracterizado pela ruptura ou colapso parcial ou total da estrutura (HELENE, 2011);
- d) Vida Útil Residual: Caracterizada pelo fim da resistência estrutural, ou seja, é o período que a estrutura ainda consegue manter suas funções. É a fase final para o estabelecimento de uma vistoria completa, de onde surgirá o diagnóstico (HELENE, 2011).

Segundo Helene (2011) ao considerar os fatores pertinentes a definição da vida útil deve-se:

Deixar bem claro o critério de julgamento; fixar uma condição de alta probabilidade de sucesso, pois o “engenheiro” vai ter de passar a projetar e garantir aquilo que projetou e construiu e não poderá frustrar-se frequentemente; estimular a inspeção e a observação periódicas das estruturas com recálculos de vida residual e de vida útil efetivas e comprovação das hipóteses inicialmente adotadas na fase de projeto; revalorizar o papel da técnica na decisão da durabilidade. Evitar manter a situação atual na qual a “perda da vida útil” se faz com base a observação visual, em que todos, inclusive e principalmente os “leigos”, percebem que a vida útil de uma estrutura terminou, pois esta se mostra visivelmente alterada, fissurada, manchada, deformada e até “desmanchando-se”. Reconhecer que o término da vida útil de projeto de uma estrutura não é um procedimento visual para qualquer um, mas deve ser um procedimento especializado empreendido por um engenheiro profissional através do uso de equipamentos, de técnicas e de critérios modernos.

Um fator relevante ao ser destacado é que por muitos anos ao considerar a segurança da edificação, os projetos de estrutura de concreto consideram apenas o Estado de Limite Último ou de Ruptura (ELU ou ULS) e o Estado Limite de Utilização de Serviço (ELS ou SLS). Além do mais, a durabilidade, o conforto

hidrotérmico, a estética, em si nunca foram totalmente contemplados em outras normas técnicas. Dessa forma, destaca-se a necessidade de inspeções periódica e o estabelecimento de novos aspectos de dimensionamento, considerando mais fatores que incidem diretamente na estrutura e em todos os aspectos pontuados, pois o conhecimento dos mecanismos e de envelhecimento do concreto e de outros materiais é suma importância.

Esse “conhecimento” deve derivar, de preferência, da observação histórica de estruturas com problemas patológicos de uma determinada natureza, deve considerar o custo e os problemas de uma intervenção corretiva e deve adaptar-se aos mesmos princípios básicos que norteiam o projeto estrutural clássico. Em outras palavras devem ser estabelecidos de tal forma que tenham uma probabilidade muito pequena de serem atingidos durante o período considerado.

Considerando a NBR 6118 (2007) os principais mecanismos de deterioração do concreto são analisados sob a vertente do concreto e da armadura:

- a) Vertente do concreto:
 - i. Reação álcalis-agregado (expansão);
 - ii. Eflorescências (reações deletérias);
 - iii. Reações de sulfatos e magnésio;
 - iv. Lixiviação (contaminação de águas ácidas e até mesmo, águas puras).
- b) Vertente da armadura:
 - i. Ataques de cloretos (corrosão em grau elevado pela agressão de íons de cloro);
 - ii. Carbonatação.

Segundo a Figura 13, percebe-se a relação existente entre os principais mecanismos de deterioração do concreto, os quais incidem sobre as estruturas de vigas, pilares e lajes do prédio em questão.

agressividade do ambiente		consequências sobre a estrutura	
natureza do processo	condições particulares	alterações iniciais na superfície do concreto	efeitos a longo prazo
carbonatação	UR 60% a 85%	imperceptível	redução do pH corrosão de armaduras fissuração superficial
lixiviação	atmosfera ácida, águas puras	eflorescências, manchas brancas	redução do pH corrosão de armaduras desagregação superficial
retração	umedecimento e secagem, ausência de cura UR baixa (< 50%)	fissuras	fissuração corrosão de armaduras
fuligem	partículas em suspensão na atmosfera urbana e industrial	manchas escuras	redução do pH corrosão de armaduras
fungos e mofo	temperaturas altas (>20°C e <50°C) com UR > 75%	manchas escuras e esverdeadas	redução do pH desagregação superficial corrosão de armaduras
concentração salina, Cl ⁻	atmosfera marinha e industrial	imperceptível	despassivação e corrosão de armaduras
sulfatos	esgoto e águas servidas	fissuras	expansão → fissuras desagregação do concreto corrosão de armaduras
álcali-agregado	composição do concreto umidade, UR > 95%	fissuras gel ao redor do agregado graúdo	expansão → fissuras desagregação do concreto corrosão de armaduras

Figura 13: Mecanismos de deterioração.

Dessa forma, percebe-se que o recobrimento, ou seja, a camada de proteção das armaduras, apresentam um papel fundamental para a manutenção da edificação ao longo do tempo, pois tal fato tem um papel crucial na durabilidade e vida útil das edificações. Dessa forma, um recobrimento adequado associados com planos de manutenção que consideram todos os fatores que incidem sobre a estrutura são componentes fundamentais para o desempenho das edificações, em especial aquelas de grande circulação de pessoas e que estejam instaladas em regiões de alta agressividade.

CONSIDERAÇÃO FINAIS

Um fator relevante a ser abordado é quanto à questão de manutenção nas estruturas. Em conversas de caráter informal com profissionais que atuavam no local, foi evidenciando que as estruturas não dispõem de planos de manutenção periódicos, sendo essa ação, quando existente, para prédios mais novos. Contudo, por mais que exista um plano de manutenção que foque em atuações corretivas e preventivas, percebe-se que alguns prédios demandam maiores atenções, pois encontram-se em uma situação precária colaborando para a ocorrência de acidentes aos usuários dos espaços.

Destaca-se a necessidade de ações preventivas que vão desde a elaboração de planos de manutenção eficientes que contemplem todas as edificações, ações corretivas de caráter emergencial, tal como recobrimentos de armadura e reforços estruturais, principalmente em pilares com armaduras expostos e sem recobrimento, direcionando a atenção também para a minimização de ocorrência de deslocamentos. No que tange a ocorrência de manifestações patológicas em pintura, destaca-se a necessidade de utilização de materiais que visam infiltração, tal como o uso de emulsão asfáltica, além do mais, o uso de tintas adequadas e materiais com coeficientes de dilatação térmica adequados, solução de problemas da rede hidráulica, sendo necessário a análise de pontos críticos que podem ocasionar vazamentos, concomitantemente, a umidade e a ocorrência de manchas nas paredes. O estudo das manifestações patológicas é amplo, sendo necessário uma análise aprofundada de suas causas para a tomada de ações adequadas de modo eficiente.

Dado ao exposto, foi possível identificar com clareza a influência que a falta de manutenção e a degradação do ambiente causam nas estruturas, as quais em determinadas condições ambientais tendem a deteriorar rapidamente as estruturas, fazendo com que fiquem passivas à deterioração perdendo os aspectos funcional e estrutural. Contudo, para conhecer a rigor necessita de estudos experimentais, sejam eles destrutivos ou não-destrutivos, para poder estabelecer com mais detalhes relações de causa-efeito e perda total ou não da capacidade estrutural. Assim, salienta-se como medidas eficientes para o local em questão, um projeto adequado de impermeabilização de lajes e paredes, bem como recuperações em pilares e lajes, evitando a ocorrência de possíveis acidentes e que a estrutura fique inoperante.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 201 Guide to durable concrete: reported by ACI Committee 201. **ACI Materials Journal**, v.88, n.5, p.544-82, 1991.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 365 service-life prediction**: state-of-the-art report: ACI Committee 365: ACI 365.2R-00. 2000.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575:2013**: Edificações habitacionais: desempenho: requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6118:2014**: projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

BAUER, L. A. F.. **Materiais de construção**. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 1992.

BHUSHAN, B.. **Nanotribology and nanomechanics**: an introduction. 2 ed.. Springer, 2008.

CEN. European Committee for Standardization. **Betão**: parte 1: especificação, desempenho, produção e conformidade: EN 206-1. Lisboa: CEN, 2007.

CLIFTON, J. R.. Predicting the service life of concrete. **ACI Materials Journal**, v.90, n.6, p.611-616, 1993.

COPORRINO, C. F.. **Patologias em alvenarias**. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2018.

COSTA, M. H. S.. **Influência das classes de agressividade ambiental no dimensionamento da estrutura de um edifício de múltiplos pavimentos**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil), Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas, 2017.

COSTA, M. A.. **Gestão estratégica da manutenção**: uma oportunidade para melhorar o resultado operacional. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013.

DIAS, L. K. L.; ANDRADE, A. C. O. T.; DANTAS, E. S.; ARAÚJO, M. E. P.; SILVA, M. J.. Geotecnia: fundações e obras de terra. **Caderno de Graduação: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Aracaju, v.1, n.2, p.27-43, 2013.

FRANÇA, A. A. V.; MARCONDES, C. G. N.; ROCHA, F. C.; MEDEIROS, M. H. F.; HELENE, P. R. L.. Patologia das construções: uma especialidade na engenharia civil. **Téchne**, São Paulo, v.19, n.174, p.72-77, 2011.

GOMIDE, T. L. F.; PUJADAS, F. Z. A.; FAGUNDES NETO, J. C. P.. **Técnicas de inspeção e manutenção predial**. São Paulo: Pini, 2006.

GONÇALVES, E. A. B. **Estudo de patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obra de edificações**. Projeto (Graduação) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

HAMMARLUND, Y.; JOSEPHSON, P.E.. Qualidade: cada erro tem seu preço. **Téchne**, n.1, p.32-4, 1992.

HELENE, P.. La agresividad del médio y la durabilidad del hormigón. **Revista Hormigón**, Barcelona, n.10, p.25-35, 1983.

HELENE, P.. **Durabilidade e vida útil do das estruturas de concreto**. São Paulo: IBRACON, 2011.

HUSSEIN, J. S. M.. **Levantamento de patologias causadas por infiltrações devido á falha ou ausência de impermeabilização em construções residenciais na cidade**

de Campo Mourão - PR. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2013.

ISO. International Organization for Standardization. **Bases for design of structures**: general requirements: ISO 22111. ISSO, 2007.

ISO. International Organization for Standardization. **General principles on reliability for structures**: ISO 2394. ISO,1998.

MUNIZ, P.; BARROSO, M.; PESTANA, F.. **Condição estrutural em uma estrutura portuária**: um estudo de caso na cidade de São Luís. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES. **Anais**. Fortaleza, 2020. p.325-333

POSSAN, E.. **Modelagem da carbonatação e previsão de vida útil de estruturas de concreto em ambiente urbano**. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

SENA, G. O.; NASCIMENTO, M. L. M.; NABUT NETO, A. C.; LIMA, N. M.. **Patologia das construções**. Salvador: 2B, 2020.

SICA, Y. C.. **Mapeamento da corrosividade atmosférica de São Luís - MA e a correlação das variáveis ambientais que influenciaram na degradação de materiais metálicos**. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Materiais), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SILVA, R.. Manifestações patológicas em sistemas construtivos de aço: algumas medidas protetivas. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DA CONSTRUÇÃO METÁLICA. **Anais**. São Paulo, 2012.

SITTER, W. R.. Costs for service life optimization: the Law of fives. In: INTERNATIONAL CEB-RILEM WORKSHOP ON DURABILITY OF CONCRETE STRUCTURES. **Proceedings**. Copenhagen: CEBRILEM, 1984. p.18-20

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T.. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1998.

TAKEWADA, K.. Performance-based standard specifications for maintenance and repair of concrete structures in Japan. **Structural Engineering International**, v.4, p.359-366, 2007.

Os autores detêm os direitos autorais de sua obra publicada. A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detêm os direitos materiais dos trabalhos publicados (obras, artigos etc.). Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas ou digitais sob coordenação da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.

Todas as obras (artigos) publicadas serão tokenizadas, ou seja, terão um NFT equivalente armazenado e comercializado livremente na rede OpenSea (https://opensea.io/HUB_CBPC), onde a CBPC irá operacionalizar a transferência dos direitos materiais das publicações para os próprios autores ou quaisquer interessados em adquiri-los e fazer o uso que lhe for de interesse.



Os direitos comerciais deste artigo podem ser adquiridos pelos autores ou quaisquer interessados através da aquisição, para posterior comercialização ou guarda, do NFT (Non-Fungible Token) equivalente através do seguinte link na OpenSea (Ethereum).

The commercial rights of this article can be acquired by the authors or any interested parties through the acquisition, for later commercialization or storage, of the equivalent NFT (Non-Fungible Token) through the following link on OpenSea (Ethereum).



<https://opensea.io/assets/ethereum/0x495f947276749cce646f68ac8c248420045cb7b5e/44951876800440915849902480545070078646674086961356520679561158122162173771777/>