

## **ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS E DO PROCEDIMENTO EMPREGADO PARA RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL DE UMA EDIFICAÇÃO HISTÓRICA. ESTUDO DE CASO – MUSEU DA RAMPA, NATAL/RN**

Rafaella Fonseca da Costa (UFRN) E-mail: rafaellafonsecac@gmail.com

Bruma Morganna Mendonça de Souza (UFRN) E-mail: bmorganna@gmail.com

Sansara Félix Pereira (UFRN) E-mail: sansarafelix@gmail.com

André Augusto Nóbrega Dantas (UnB e IFG) E-mail: eng.andreaugusto@yahoo.com.br

Samyr Augusto da Silva Nascimento (Construtora Ramalho Moreira) E-mail: samyraugusto@gmail.com

**Resumo:** O Museu da Rampa, localizado no município de Natal no estado do Rio Grande do Norte, foi idealizado com o propósito de resgatar o contexto histórico sob o qual a edificação da Rampa esteve inserida na primeira metade do século XX, ao servir de base militar norte-americana durante a Segunda Guerra Mundial. A construção apresentava sua estrutura comprometida em virtude de severos danos causados pela corrosão das armaduras e pela degradação do concreto; estes problemas foram promovidos majoritariamente por baixas espessuras de cobertura, e potencializados pela agressividade marinha do ambiente. Nos últimos anos, houve uma mobilização governamental para manter a estrutura original, inserida na atual construção do Centro Cultural Rampa. Para reparar as manifestações patológicas e restaurar e assegurar a segurança, a funcionalidade e a vida útil do museu, foi realizado o posicionamento de armaduras de complementação, seguido de revestimento com graute. O presente trabalho objetivou avaliar as manifestações patológicas detectadas e as suas respectivas soluções para a recuperação efetiva dos elementos estruturais desta edificação histórica.

**Palavras-chave:** Manifestação Patológica, Recuperação Estrutural, Construção Histórica, Concreto.

## **ANALYSIS ON PATHOLOGIES AND THEIR STRUCTURAL RECOVERY PROCEDURES IN A HISTORIC BUILDING. A CASE STUDY – RAMPA MUSEUM, NATAL/RN**

**Abstract:** Rampa Museum is located in Natal, a city in the Brazilian Northeast, and was idealized to rescue the historical context at which Rampa Station was submitted, during the first half of the twentieth century, when it served as an American military base during World War II. The building presented its structure compromised due to several damage caused by steel corrosion and concrete degradation; these problems mostly happened because of low cover thicknesses and were potentiated by the elevated environmental aggressiveness. Recently, a governmental initiative has been committed to maintain the genuine structure of the building for its utilization as a museum. In order to repair the pathologies and restore and ensure the museum's security, functionality and lifetime, complementary reinforcement was performed, followed by a grout revetment. The purpose of this work was to analyze the pathologies which were detected and their respective solutions to guarantee the effective structural repair of this historic building.

**Keywords:** Pathology, Structural Recovery, Historic Building, Concrete.

### **1. Introdução**

Define-se por manifestação patológica qualquer fenômeno que prejudique o desempenho funcional, estético ou mecânico esperado em uma edificação durante a sua vida útil. A sua ocorrência pode indicar um estado de perigo potencial para a estrutura, e sua origem provém desde falhas na concepção do projeto e na execução, até a falta de manutenção e o uso inadequado da estrutura. (OLIVARI, 2003; GONÇALVES, 2015).

O concreto armado consiste em um material de natureza não inerte, composto por cimento, areia, brita, água, aço e eventuais aditivos. Estes elementos interagem com agentes externos, a exemplo de ácidos, bases e sais, e estão constantemente sujeitos a alterações ao longo da vida útil da estrutura (LAPA, 2008). Além do desgaste natural que o material está sujeito, fatores como erros de projeto, de execução e de utilização, além da falta de controle tecnológico, podem reduzir a durabilidade do material por meio de manifestações patológicas como fissuras, desagregação e corrosão (OLIVARI, 2003); SILVA, M.A.R.; LIMA E.E.P. e SILVA, J.R.P., 2017). Para evitar a ocorrência destas manifestações, a norma ABNT NBR 6118:2014 (Projeto de estruturas de concreto) preconiza que o dimensionamento deve levar em consideração o ambiente onde a edificação será localizada, visto que ambientes salinos podem constituir um ambiente agressivo ao concreto armado. Desta forma, a norma supracitada preconiza que a deterioração de estruturas em ambientes de alta classe de agressividade ambiental pode ser amenizada por meio da garantia de uma espessura mínima de concreto após a armadura de aço. Para Gonçalves (2015), a adoção de baixos cobrimentos propicia a potencialização do processo de deterioração do concreto, visto que ambientes salinos são abundantes em componentes desencadeadores da corrosão, a exemplo do cloreto, da água e do oxigênio.

Neste trabalho, foi realizada uma análise das manifestações patológicas ocorridas, bem como das respectivas soluções adotadas na edificação da Rampa no município do Natal, capital do estado do Rio Grande do Norte. A obra em estudo foi construída na década de 1930, e assumiu grande importância histórica durante a Segunda Guerra Mundial. Construída em uma época em que, segundo Araújo, Ramos e Diógenes (2017), boa parte das construções no Brasil não consideravam um padrão de dimensionamento, a Rampa apresentava uma alta incidência de problemas de natureza estrutural, principalmente relacionadas à corrosão das armaduras, em virtude de aspectos como as baixas espessuras de cobrimento e a agressividade marinha do ambiente. O Museu da Rampa está em fase de conclusão do processo de recuperação estrutural, a fim de resgatar a sua importância histórica nos cenários local e mundial.

## **2. Durabilidade em estruturas de concreto armado**

Durabilidade é definida como a capacidade de resistência do concreto ao desgaste por influência do ambiente, fator este que determina especificações mínimas para o dimensionamento de concreto armado a depender do seu nível de agressividade. Desta forma, o projeto estrutural de uma edificação deve ser elaborado de modo a garantir a segurança, a estabilidade e a funcionalidade da obra, sob as condições ambientais previstas, durante a sua vida útil. (ABNT, 2014).

Ambientes de atmosfera marinha são enquadrados na classe de agressividade ambiental (CAA) III, e requerem relação água/cimento igual ou inferior a 0,55 e concreto de classe igual ou superior a C30. (ABNT, 2014). Ressalta-se que estas recomendações foram incluídas a partir da ABNT NBR 6118:2003; portanto, visto que a obra de análise foi construída na primeira metade do século XX, estas especificações normativas provavelmente não foram consideradas. Além disso, a ABNT NBR 6118:2014 preconiza que a durabilidade de uma estrutura está relacionada com a espessura da sua camada de cobrimento, a qual varia de acordo com o tipo de elemento estrutural e é responsável por proteger diretamente a armadura de aço. Em ambientes de CAA III, o cobrimento mínimo exigido por norma é de 35 milímetros para lajes e 40 milímetros para vigas, pilares e elementos em contato com o solo.

A garantia da durabilidade de uma estrutura de concreto armado depende de diversos

fatores, que vão desde o processo de concepção estrutural até a utilização do elemento durante a sua vida útil. Desta forma, exigências de norma devem ser cumpridas em todas as fases de elaboração de projeto, execução da obra, inspeção e utilização; nesta última, manutenções devem ser realizadas a fim de evitar o desenvolvimento de manifestações patológicas que possam comprometer de alguma forma o elemento estrutural. Assim, deve-se ter cautela desde a escolha do traço do concreto até o seu lançamento e manutenção. (FERREIRA, 2000; LAPA 2008).

### **3. Manifestações patológicas em concreto armado**

Segundo Souza e Ripper (1998), qualquer elemento estrutural apresenta um desempenho mínimo a cumprir, de modo a garantir a segurança e a funcionalidade da estrutura. Ainda que dimensionado e executado de modo correto, para os autores o processo de deterioração do concreto armado é inevitável com o passar do tempo e, quando houver o comprometimento da funcionalidade e segurança da estrutura, cabe à Patologia das Estruturas a identificação e o estudo das causas, consequências e soluções para o problema de análise.

As causas deste tipo de problema em estruturas de concreto armado podem envolver desde causas naturais até falhas humanas durante sua construção e/ou utilização. Merecem destaque neste artigo as manifestações patológicas causadas pela presença de anidrido carbônico e de cloretos no ambiente, bem como por deficiências nas armaduras em virtude de cobrimentos insuficientes. As falhas de dimensionamento ou de execução, a respeito do cobrimento de uma estrutura de concreto armado, viabilizam o processo de corrosão das armaduras, especialmente em ambientes de alta agressividade ambiental. Ainda nestes ambientes, é necessário garantir que o material não apresenta alta porosidade, visto que esta implica em maiores probabilidades de degradação do concreto e do aço, isto quando o conjunto resultante é permissivo ao transporte interno de água, gases e outros agentes agressivos. Desta forma, é imprescindível o cumprimento das especificações de norma acerca da relação água/cimento máxima permitida para cada CAA, de modo a garantir a menor porosidade possível. Entende-se, portanto, que falhas de concepção estrutural podem facilitar e agravar a ocorrência de problemas de causas naturais. (SOUZA e RIPPER, 1998).

De acordo com Meira (2017), inicialmente, é possível classificar a corrosão em generalizada ou localizada, sendo esta primeira caracterizada pelo desgaste uniforme (superfície lisa e regular) ou não uniforme (superfície rugosa e irregular) em uma área extensa da superfície do metal; na segunda, o processo corrosivo, que tende a se aprofundar mais rapidamente, ocorre em uma superfície limitada. No entanto, ainda segundo o autor, quando analisadas em maior profundidade, tais expressões da corrosão podem sofrer variações morfológicas, com a possibilidade de assumir diferentes formas como uma aparência superficial uniforme ou irregular, com a formação de pites ou de fissuras. O autor também ressalta que as formas mais comuns de corrosão em estruturas de concreto armado são a corrosão generalizada irregular e a corrosão puntiforme, isto é, por pites. O primeiro caso é característico de despassivação da armadura desencadeada pelo fenômeno da carbonatação; já o segundo está relacionado à despassivação da armadura pela ação dos íons cloreto, com ação localizada em relação à ruptura da capa passiva do metal.

De início, o processo de carbonatação é discreto e, além de não reduzir a sua resistência, aumenta a sua dureza superficial. Contudo, este fenômeno pode comprometer a camada de passivação, que é constituída por óxido de ferro (III), e é criada após o início das reações de hidratação do cimento e confere proteção à armadura. Esta película exige um

meio alcalino, e impede que o aço tenha contato com umidade, oxigênio e agentes agressivos. A sua deterioração ocorre por meio da redução do pH causada pela carbonatação e, uma vez que ocorre do meio externo para o interior do elemento, é de grande importância o conhecimento da profundidade de carbonatação antes da adoção de uma solução de recuperação estrutural. Quando a carbonatação atinge a armadura, a depender das condições ambientais, pode ser desencadeado um grave fenômeno de corrosão com manchas, fissuras, destacamentos de pedaços de concreto e, inclusive, perda da seção resistente de aço e de sua aderência ao concreto. Com isto, o processo de carbonatação pode resultar em efeitos que comprometem a funcionalidade da estrutura, podendo ser responsável pelo seu colapso parcial ou total. (FERREIRA, 2000; FIGUEIREDO e MEIRA, 2013; HELENE, 1997; SOUZA e RIPPER, 1998).

A despassivação da armadura pode também ocorrer por ação de íons de cloro, quando em alta concentração no ambiente. Os cloretos podem ser incorporados ao concreto de duas maneiras distintas: durante o amassamento ou por meio de penetração a partir do meio externo. Aditivos que contenham cloreto, quando usados em excesso, ou água de fonte imprópria ou com alta concentração de cloretos podem contaminar o concreto durante o amassamento e possibilitar uma concentração indesejável de íons de cloro no interior do material. Por outro lado, o processo de penetração no concreto ocorre por meio da água através de difusão, impregnação ou absorção capilar. (FERREIRA, 2000; HELENE, 1997; GONÇALVES, 2015). Olivari (2003) especifica que a despassivação por penetração é mais frequente em ambientes marinhos.

Portanto, enquanto não houver a despassivação da armadura, esta não sofrerá corrosão eletroquímica. Isto se deve ao fato de que a camada de passivação impede que a superfície do aço entre em contato com a umidade, o oxigênio e agentes agressivos. Além disso, esta película também é responsável por dificultar a dissolução do ferro. Uma vez despassivada, seja pelo fenômeno da carbonatação ou pela ação deletéria dos cloretos, ou por ambos, a armadura ficará vulnerável à corrosão eletroquímica; inicia-se, assim, sua propagação na armadura de aço. (SANTOS, 2012). A Figura 1 apresenta as fases de corrosão eletroquímica da armadura, desde a penetração dos agentes agressivos até o lascamento do concreto.

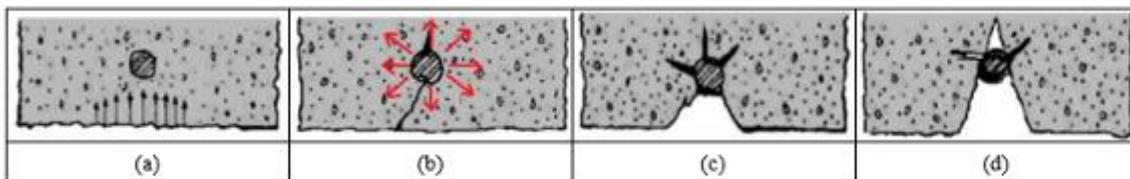


Figura 1 – Instalação da corrosão na armadura: (a) Penetração de agentes agressivos; (b) Fissuração em virtude de forças de expansão dos produtos da corrosão; (c) Lascamento do concreto e corrosão acentuada; (d) Lascamento acentuado e redução da seção da armadura. Fonte: adaptado de Helene (1986).

A evolução das fissuras resultantes da corrosão do aço implica no lascamento do concreto e no destacamento da camada de cobertura, levando à exposição da armadura. Esta, por sua vez, sofre perda de seção devido à dissolução do ferro, resultando na perda de aderência entre o aço e o concreto, na redução da capacidade estrutural da peça e no surgimento de manchas de coloração marrom-alaranjada. (SANTOS, 2012). Desta forma, os principais agentes causadores da despassivação da armadura consistem nos íons de cloro e no carbono; a combinação de ambos em um mesmo ambiente acelera o processo de corrosão do aço. O processo de despassivação, e a conseqüente corrosão da armadura, podem ser amenizados quando adotados os cobrimentos ideais para cada situação de análise. Destaca-se, ainda, a importância da produção de um concreto de qualidade para a obtenção da durabilidade e vida útil

desejadas. A perda da estabilidade da camada de passivação ocasiona a corrosão da armadura e, em estágio avançado, pode comprometer a segurança e a funcionalidade do elemento estrutural. (FERREIRA, 2000; LAPA, 2008; FIGUEIREDO e MEIRA, 2013).

#### 4. Área de estudo

Localizada no bairro de Santos Reis em Natal, capital do Estado do Rio Grande do Norte (Figura 2), a Rampa foi construída entre as décadas de 1930 e 1940 e apresenta grande importância histórica para o estado. Era composta por uma edificação e pela estrutura de um píer de concreto, que apresentava a função de embarque e desembarque no Rio Potengi. Esta obra serviu de base militar para o exército norte-americano durante o período da Segunda Guerra Mundial. (FUNDAÇÃO RAMPA, 2018).

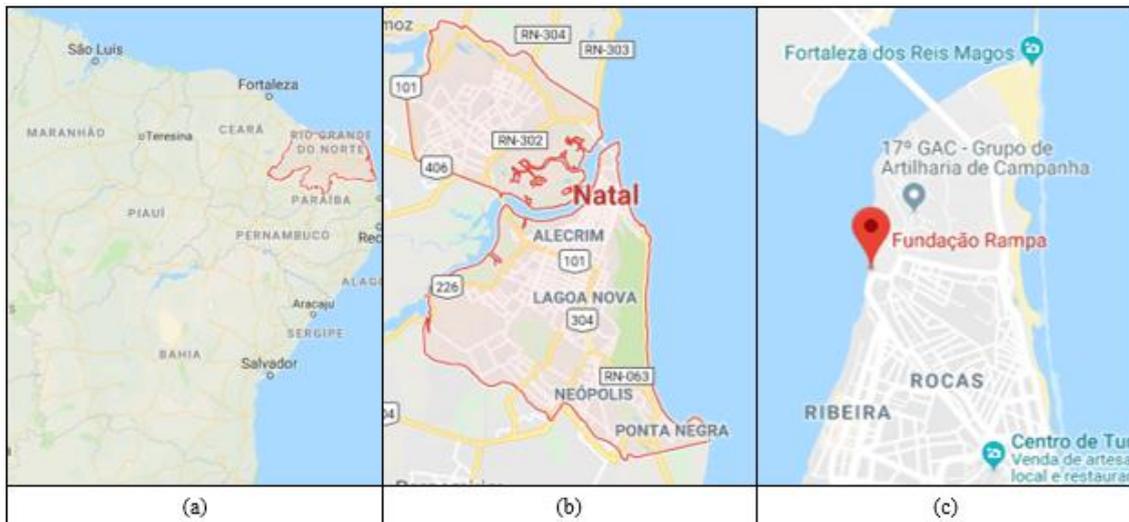


Figura 2 – Localização da área de estudo: (a) Rio Grande do Norte, Nordeste; (b) Natal, Rio Grande do Norte; (c) Centro Cultural Rampa, Natal. Fonte: adaptado de Google (2018).

Atualmente, o Museu da Rampa (Figura 3a) integra o Centro Cultural Rampa, que também compreende o Memorial do Aviador e três píeres localizados à beira do Rio Potengi. Paralelamente, a edificação que compreende o Memorial do Aviador (Figura 3b) encontra-se em fase final de execução. O objetivo deste centro, cujas obras foram mobilizadas pelo Governo do Estado do Rio Grande do Norte em 2011, consistiu em revitalizar o potencial histórico-cultural do local onde está inserido.



Figura 3 – Centro Cultural Rampa: (a) Museu da Rampa em recuperação estrutural; (b) Memorial do Aviador em construção. Fonte: autores (2018).

Inicialmente com a sua estrutura de concreto comprometida por manifestações patológicas majoritariamente desencadeadas pelo processo de corrosão das armaduras de aço, a edificação do Museu da Rampa está em fase de conclusão de execução do seu projeto de recuperação estrutural.

### **5. Metodologia**

A depender da complexidade do problema de manifestação patológica, adquire-se um diagnóstico representativo e confiável do caso por meio de vistorias técnicas, ensaios, pesquisas bibliográficas e consultas com especialistas. Após a realização destas atividades de modo integrado ao diagnóstico, pode-se então relacionar as possíveis soluções para a estrutura de análise; por último, escolhe-se o prognóstico que apresente os melhores resultados com os menores custos. (FIGUEIREDO e MEIRA, 2013).

Neste artigo, foi realizado um estudo de caso acerca das manifestações patológicas existentes na estrutura da edificação do Museu da Rampa, em Natal/RN, bem como das respectivas soluções adotadas para os seus elementos em processo de recuperação estrutural. Após estudos sobre manifestações patológicas em estruturas de concreto armado e suas possíveis origens e soluções, foi realizada uma visita técnica ao local da obra, de modo a registrar a ocorrência de problemas estruturais na edificação. Às adversidades detectadas, possíveis causas foram atribuídas por meio de análise visual e de considerações concernentes ao ambiente onde a obra é localizada. Para a realização destas associações, foram utilizadas as referências apresentadas em literatura pertinente, obtidas por meio de pesquisa bibliográfica.

Além disso, foi executado in situ o ensaio de profundidade de carbonatação, com o objetivo de identificar a presença do respectivo processo nos elementos de concreto armado da edificação ainda não recuperados. A posteriori, a etapa final do presente estudo de caso constituiu de uma análise que relaciona as manifestações patológicas encontradas, suas respectivas causas e as soluções adotadas.

#### **5.1. Ensaio de profundidade de carbonatação**

O ensaio de profundidade de carbonatação, segundo Gonçalves (2015), possibilita avaliar o avanço do processo de carbonatação do concreto, que reduz o pH inicial do concreto de 12 a 14 para abaixo de 9. Para atingir esta avaliação, a metodologia do ensaio consiste, inicialmente, na identificação da coloração apresentada pela superfície analisada por meio da aspersão de um indicador químico, para então se realizar a medição da profundidade de carbonatação do concreto, quando este fenômeno é verificado na etapa precedente. O método descrito pelo autor segue a norma francesa RILEM CPC18, de 1988. No entanto, é relevante mencionar que o ensaio foi realizado de forma parcial no Museu da Rampa, uma vez que a sua reprodução foi condicionada apenas à finalidade de constatar a possível existência da carbonatação do concreto nos elementos estruturais analisados. O indicador químico utilizado para identificar a frente carbonatada do concreto foi a fenolftaleína, em que foi empregada a seguinte proporção para dosagem da solução: 1 grama de fenolftaleína em pó, 49 gramas de álcool etílico e 50 gramas de água destilada (Figura 4). Durante a visita técnica à obra, esta solução foi aspergida com o auxílio de spray nas superfícies dos elementos de concreto armado, preferencialmente com armadura exposta ainda não recuperados. Em meio alcalino, a solução apresenta tonalidades de vermelho escuro a rosa, e passa a ser transparente para pH inferior a 9; isto indica, portanto, que quando a solução apresenta coloração, o concreto não está sujeito à carbonatação. Assim, a realização deste ensaio foi exclusivamente condicionada à verificação visual da diferença de coloração apresentada pelo concreto quando da aspersão da solução, sem a necessidade de medição da

respectiva profundidade de carbonatação.



Figura 4 – Ensaio de profundidade de carbonatação: (a) Preparação da solução de fenolftaleína em laboratório; (b) Aspersão da solução em laje de concreto armado apicoada. Fonte: autores (2018).

## 6. Resultados e discussões

### 6.1. Diagnóstico de manifestações patológicas na edificação

Durante a vistoria técnica, verificou-se que a estrutura de concreto do Museu da Rampa, quase que em sua totalidade, havia sido recentemente apicoada. Isto impôs dificuldades à análise adequada e representativa de algumas manifestações patológicas, como: manchas, fissuras, nichos e eflorescência. Desta forma, as principais manifestações patológicas detectadas foram relacionadas ao processo de corrosão da armadura, desencadeada pela carbonatação e pela ação dos íons de cloro. Trata-se de um diagnóstico esperado, uma vez que a obra está localizada em ambiente marinho e urbano, com significativo fluxo de veículos, podendo ser classificado como de forte agressividade ambiental, de acordo com a ABNT NBR 6118:2014. Além disso, a ausência de manutenção ao longo do tempo, aliada a baixos valores de cobertura, potencializaram o desenvolvimento da despassivação das armaduras por carbonatação e por íons cloreto. A Figura 5 apresenta parte da estrutura do museu antes da realização do processo de apicoamento. É possível perceber que houve o deslocamento da camada de cobertura do concreto, cuja consequência visual consiste na exposição da armadura.



Figura 5 – Deslocamento da camada de cobertura de concreto: (a) Laje; (b) Laje e viga. Fonte: adaptado de CL Engenharia e Urbanismo (2014).

A fim de identificar os prováveis agentes responsáveis pela despassivação da armadura das estruturas de concreto, foi realizado o ensaio de profundidade de carbonatação. Constatou-se que, em grande parte das estruturas ainda não recuperadas, a solução de fenolftaleína aspergida não apresentava coloração, indicando a ocorrência do fenômeno de despassivação da armadura por carbonatação (Figura 6a). Por outro lado, notou-se que estruturas mais próximas à beira do Rio Potengi, mesmo com o desenvolvimento de corrosão em estágio avançado, apresentaram coloração violeta como resultado da aspersão da mesma solução; isto representa indícios de despassivação da armadura por íons cloreto (Figura 6b).



Figura 6 – Aplicação de fenolftaleína: (a) Solução incolor em viga não recuperada e violeta em estrutura recuperada; (b) Solução violeta em marquise. Fonte: autores (2018).

Além do ensaio de profundidade de carbonatação, também foi levado em consideração, no diagnóstico das manifestações patológicas, o estado superficial da armadura. Conforme afirma Meira (2017), as formas mais comuns de corrosão em estruturas de concreto são: a generalizada irregular e puntiforme (por pites). Ainda segundo este autor, no primeiro caso, tem-se uma corrosão que resulta da despassivação da armadura por carbonatação (Figura 7), a qual é caracterizada pela corrosão ao longo da superfície extensa do aço. No segundo caso, tem-se uma corrosão desencadeada por ação dos íons cloreto, na qual percebe-se uma ação localizada em relação à ruptura da capa passivadora da armadura.



Figura 7 – Corrosão generalizada desencadeada por carbonatação em vigas. Fonte: autores (2018).

Destaca-se, neste diagnóstico, a marquise previamente apresentada; nesta estrutura, a causa do processo de corrosão foi atribuída à ação de íons de cloro, dado o resultado do

ensaio realizado in situ e a localização deste elemento estrutural na edificação. No entanto, observa-se na Figura 8b que a corrosão das barras de aço encontra-se em estágio generalizado, e esta constatação é contrária à afirmação de Meira (2017), na qual a corrosão acarretada por cloretos é desenvolvida de forma puntiforme. Uma vez que se trata de uma edificação de mais de 80 anos, o aspecto visual de corrosão generalizada na marquise pode ser atribuído ao fato de o tempo transcorrido desde a construção ter sido suficiente para o desenvolvimento da agressão por cloretos na armadura quase que em sua totalidade.

## **6.2. Soluções propostas**

Em sucessão à fase de diagnóstico das manifestações patológicas e de suas respectivas causas, dá-se início à etapa de elaboração de projetos específicos ao caso, quando ainda passível de reforço da estrutura ou recuperação estrutural. Souza e Ripper (1998) ressaltam que o sucesso do reforço ou da recuperação estrutural depende, diretamente, do correto diagnóstico dos problemas estruturais existentes e de suas respectivas causas e efeitos.

Existem diferenças nos desempenhos almejados nos processos de recuperação e reforço estrutural. Enquanto o primeiro objetiva resgatar as condições iniciais de projeto, o segundo visa superar o desempenho previsto inicialmente também em projeto (SOUZA e RIPPER, 1998; CORREA, 2013). Na obra de análise, foram realizados ambos os serviços de recuperação e reforço estrutural, com a finalidade de retomar a funcionalidade da edificação e garantir a sua segurança para o uso público.

Helene (1986) distingue três etapas para a recuperação de elementos estruturais comprometidos pelo fenômeno da corrosão: limpeza, recuperação de armadura e revestimento. Após a limpeza rigorosa do concreto e das superfícies das barras de aço, procedimento necessário para facilitar a aderência da posterior camada de cobrimento, verifica-se a necessidade ou não do emprego de armaduras de complementação. A reconstrução do cobrimento deve ser feita de modo a garantir a manutenção do meio alcalino do concreto e, conseqüentemente, da película de passivação nas barras de aço.

Os pilares, vigas e lajes originais do Museu da Rampa foram recuperados por meio da substituição da armadura comprometida e posterior revestimento com graute expansivo. Desta forma, é indispensável o escoramento prévio da estrutura antes de qualquer modificação (CL ENGENHARIA E URBANISMO, 2014). A priori, foi realizado o apicoamento do concreto, definido como o processo de remoção da camada de cobrimento que será substituída por uma camada adicional em concreto ou argamassa (SOUZA e RIPPER, 1998; GONÇALVES, 2015). O apicoamento das estruturas foi procedido até alcançar o concreto sã e exibir todas as armaduras oxidadas, que foram limpas de modo a garantir a retirada de todos os vestígios de corrosão. A Figura 8 apresenta o apicoamento de uma laje e de uma viga na edificação de análise.

De acordo com Souza e Ripper (1998), é comum o emprego de armaduras de complementação em elementos estruturais afetados pela corrosão. Para as armaduras de reforço, foram empregadas barras nervuradas de aço CA-50. Nos pilares e vigas, foram utilizados vergalhões de 16 milímetros e estribos de 6,3 milímetros, posicionados a cada 15 centímetros em toda a extensão do elemento estrutural. Nas lajes, foram utilizados vergalhões de 10 milímetros em ambas as direções para reforçar a armadura positiva, posicionados também a cada 15 centímetros ao longo de toda a área da laje (CL ENGENHARIA E URBANISMO, 2014). Estas armaduras de complementação são classificadas, conforme Souza e Ripper (1998), como aumento da seção transversal da armadura para os pilares e vigas, e reforço das armaduras positivas para as lajes.



Figura 8 – Apicoamento em estruturas de concreto armado: (a) Laje; (b) Viga, com solução incolor de fenolftaleína. Fonte: autores (2018).

As armaduras de recomposição foram fixadas na superfície do concreto original com argamassa epoxídica e, a posteriori, foi aplicada uma pintura com revestimento inibidor de corrosão (CL ENGENHARIA E URBANISMO, 2014). Souza e Ripper (1998) qualificam as argamassas de base resina epóxi como excelentes para reparos estruturais, em virtude do seu alto poder de aderência ao concreto armado e de suas elevadas resistências química e mecânica. A pintura das barras de aço impermeabiliza a armadura e previne a ocorrência de corrosão.

Por fim, o conjunto recuperado foi revestido com uma camada de 4 centímetros de espessura de graute com cimento expansivo de alta resistência (CL ENGENHARIA E URBANISMO, 2014). Esta espessura está de acordo com o cobrimento mínimo estabelecido pela ABNT NBR 6118:2014 para obras em ambientes de agressividade marinha (CAA III). O reparo com graute consiste em uma solução rápida, ideal para reparos profundos na estrutura de concreto. Para a sua aplicação, a estrutura original deve estar previamente limpa e com sua ferragem recuperada antes da aplicação do produto (GONÇALVES, 2015). A capacidade de expansão do material preenche os vazios na região de reparo; aliado a isto, o graute não apresenta retração (HELENE, 1986; SOUZA e RIPPER, 1998). A Figura 9 apresenta uma laje e duas vigas após recuperadas. O caráter de agilidade desta solução é compatível com a situação da obra pública deste estudo, que será usufruída pela população.

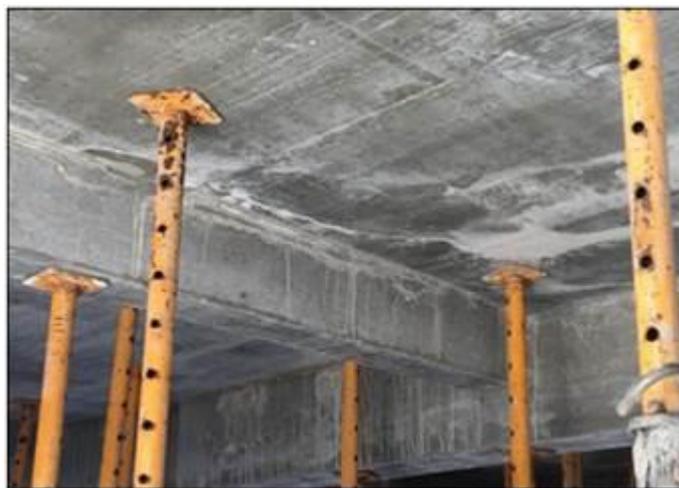


Figura 9 – Recuperação de laje e vigas de concreto armado. Fonte: autores (2018).

## **7. Conclusões**

Neste artigo, foram apresentadas as etapas de diagnóstico e prognóstico das manifestações patológicas concernentes ao processo de corrosão na estrutura de concreto armado do Museu da Rampa. A realização de ensaio e registros fotográficos in situ, aliada a uma revisão bibliográfica, permitiu identificar as causas das manifestações patológicas existentes nesta edificação. Por meio da consulta do projeto de recuperação estrutural, foi procedida uma análise do prognóstico proposto para resgatar a funcionalidade do local como museu. A metodologia deste trabalho foi adotada com o intuito de identificar de forma coerente os problemas estruturais existentes e relacioná-las com a solução identificada em projeto. Desta forma, concluiu-se que o diagnóstico consiste em uma etapa primordial para garantir a eficiência das soluções empregadas. Isto pode ser afirmado uma vez que uma correção inadequada pode agravar o respectivo problema ao invés de atenuá-lo, além de possibilitar a origem de novas falhas.

A obra de análise está inserida em circunstâncias diferenciadas, e não convencionais na literatura pertinente, por tratar-se de uma edificação de mais de 80 anos localizada em uma zona de agressividade marinha. Esta situação permitiu constatar que as condições limitantes, existentes em obra, devem ser consideradas antes da concepção de quaisquer soluções de natureza estrutural. Além disso, por ser caracterizada como uma construção quase centenária, percebe-se ainda a importância da manutenção adequada dos elementos estruturais na prevenção destas manifestações.

Embora critérios mínimos acerca da resistência e dosagem do concreto, bem como seu cobrimento e especificações relativas às armaduras, sejam especificados por norma e dependam da agressividade do ambiente, o atendimento a estes parâmetros não é o suficiente para garantir a segurança, o desempenho e a estética da estrutura. Durante a vida útil da edificação, é fundamental a realização de manutenções preventivas em técnicas e periodicidade adequadas. Portanto, deve-se visar a proteção e o bom uso da estrutura, para que exerçam a função para a qual foi projetada durante sua vida útil. Na ausência de manutenções, a estrutura necessitará da realização de procedimentos de reforço ou recuperação estrutural, e esta situação representa a realidade da obra em estudo.

Após a investigação realizada neste estudo de caso, verifica-se que os elementos estruturais comprometidos admitiram o mesmo tratamento. Iniciado pelo apicoamento e limpeza das estruturas deterioradas, a solução adotada foi seguida da colocação e colagem de armadura de complementação, revestida por pintura inibidora de corrosão. O conjunto limpo e reforçado foi então recuperado por meio da aplicação de uma camada de graute de espessura superior ao cobrimento mínimo exigido por norma. Trata-se de um procedimento que pode ser executado de maneira rápida, e esta característica pode ser considerada uma vantagem, uma vez que a estrutura de concreto de quase toda a edificação estava comprometida, de modo que era significativa a quantidade de elementos estruturais a serem recuperados. O caráter de domínio público da obra também demandava a escolha de um conjunto de soluções de rápida aplicação.

Assim, grande parte da estrutura de concreto da edificação do Museu da Rampa apresentava manifestações patológicas em estágio avançado. No entanto, sabe-se que a situação na qual o museu se encontrava poderia ter sido evitada ou retardada caso seu dimensionamento e execução tivessem considerado as condições de agressividade ambiental preconizadas pela ABNT NBR 6118:2014, bem como a necessidade de técnicas de manutenção preventiva das estruturas de concreto armado.

## Referências

- ARAÚJO, L.A., RAMOS, T.F.B. & DIÓGENES, A.G.** *Manifestações patológicas em edificação centenária no município de Granja-CE: um estudo de caso*. In: 13º Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas. Crato, URCA, 2017. Disponível em: <<http://www.urca.br/novo/portal/docs/pdf/2017/Eventos/CINPAR/CINPAR-Vol I-B.pdf>>. Acesso em: 14 maio 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** *NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento*. 3 ed. Rio de Janeiro, 2014. 238 p.
- CL ENGENHARIA E URBANISMO (Natal).** *Projeto de reforma e restauro: Museu da Rampa*. Natal: S.I., 2014. Detalhes dos reforços utilizados para a recuperação das estruturas do Museu da Rampa.
- CORREA, M.I.F.** *Implantação de programas de manutenção preventiva e corretiva em estruturas de concreto armado*. In: 9º Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação. João Pessoa, IFPB, 2013. Disponível em: <[http://www.casadagua.com/wp-content/uploads/2014/02/A1\\_126.pdf](http://www.casadagua.com/wp-content/uploads/2014/02/A1_126.pdf)>. Acesso em 14 de maio de 2018.
- FERREIRA, R.M.** *Avaliação dos ensaios de durabilidade do betão*. 2000. 246 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Guimarães, 2000. Disponível em: <[https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/40/1/Rui\\_Miguel\\_Ferreira\\_DECivil.pdf](https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/40/1/Rui_Miguel_Ferreira_DECivil.pdf)>. Acesso em: 14 maio 2018.
- FIGUEIREDO, E. P. & MEIRA, G.** *Corrosão das armaduras das estruturas de concreto*. In: BRASIL, Alconpat. Boletim Técnico. Mérida: Alconpat Internacional, 2013. Disponível em: <<http://alconpat.org.br/wp-content/uploads/2012/09/B6-Corros%C3%A3o-das-armaduras-das-estruturas-de-concreto.pdf>>. Acesso em: 01 abr. 2018.
- FUNDAÇÃO RAMPA (Natal).** *Por que "Rampa"?* 2018. Disponível em: <[http://www.fundacaorampa.com.br/af\\_rampa.htm](http://www.fundacaorampa.com.br/af_rampa.htm)>. Acesso em: 30 abr. 2018.
- GONÇALVES, E. A. B.** *Estudo de patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações*. 2015. 157 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10014879.pdf>>. Acesso em: 01 abr. 2018.
- GOOGLE.** *Google Maps*. 2018. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps>>. Acesso em: 13 maio 2018.
- HELENE, P.R.** *Corrosão de armaduras para concreto armado*. São Paulo: Pini, 1986.
- \_\_\_\_\_. *Vida Útil das Estruturas de Concreto*. In: Congresso Ibero Americano de Patologia das Construções, 4, Congresso de Controle da Qualidade, 6, 1997, Porto Alegre. Porto Alegre: CON PAT-97, 1997. v. 1, p. 1-30.
- LAPA, J.S.** *Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto*. 2012. 56 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008. Disponível em: <<http://www.cecc.eng.ufmg.br/trabalhos>>. Acesso em: 14 maio 2018.
- MEIRA, G.R.** *Corrosão de armaduras em estruturas de concreto*. João Pessoa: IFPB, 2017.
- OLIVARI, G.** *Patologia em Edificações*. 2003. 95 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2003. <<http://docplayer.com.br/12091263-Patologia-em-edificacoes.html>>. Acesso em: 14 maio 2018.
- SANTOS, M. R. G.** *Deterioração das estruturas de concreto armado – Estudo de caso*. 2012. 122 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, UFMG, Belo Horizonte, 2012. Disponível em: <<http://pos.demc.ufmg.br/novocecc/trabalhos/pg2/88.pdf>>. Acesso em: 14 maio 2018.
- SILVA, M.A.R., LIMA, E.E.P. & SILVA, J.R.PJ.** *Ataques de cloretos em concreto armado: causas, efeitos e técnicas mais utilizadas para diagnóstico, terapia e recomendações de profilaxia*. In: 13º Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas. Crato, URCA, 2017. Disponível em: <<http://www.urca.br/novo/portal/docs/pdf/2017/Eventos/CINPAR/CINPAR-Vol I-B.pdf>>. Acesso em: 14 maio 2018.
- SOUZA, V.C.M & RIPPER, T.** *Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto*. São Paulo: Pini, 1998.