

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

ENRIQUE DOUGLAS CASADO DA SILVA

**PATOLOGIA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO
EM EDIFICAÇÕES DO CAMPUS I DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**

**JOÃO PESSOA
2018**

ENRIQUE DOUGLAS CASADO DA SILVA

**PATOLOGIA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO
EM EDIFICAÇÕES DO CAMPUS I DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba como parte do requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Germano Toscano Moura.

**JOÃO PESSOA
2018**

Catálogo na publicação
Seção de Catálogo e Classificação

S586p Silva, Enrique Douglas Casado da.

PATOLOGIA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO EM EDIFICAÇÕES DO CAMPUS I DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA / Enrique Douglas Casado da Silva. - João Pessoa, 2018.

59 f. : il.

Orientação: Paulo Germano Toscano Moura.

Monografia (Graduação) - UFPB/CT.

1. Patologia no concreto armado. 2. Manifestações patológicas. 3. Diagnóstico. 4. Desempenho das edificações. I. Moura, Paulo Germano Toscano. II. Título.

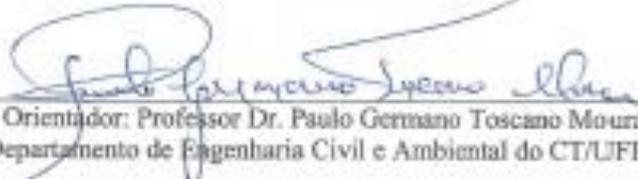
UFPB/BC

FOLHA DE APROVAÇÃO

ENRIQUE DOUGLAS CASADO DA SILVA

PATOLOGIA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO EM EDIFICAÇÕES DO CAMPUS I DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

Trabalho de Conclusão de Curso em 15/06/2018 perante a seguinte Comissão Julgadora:

 Orientador: Professor Dr. Paulo Germano Toscano Moura Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB	 Aprovado
 Examinador: Professor Dr. Enildo Tales Ferreira Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB	 APROVADO
 Examinador: Professor Dr. Ubiratan Henrique Oliveira Pimentel Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB	 APROVADO


Prof. Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga
Matrícula Siape: 1668619
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

Aos meus pais, minha esposa e linda filha,
Dedico este trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, em primeiro lugar, pois Ele me amou antes mesmo do meu nascimento, sofreu e morreu pelas minhas iniquidades, deu sua própria vida para que eu vivesse em plenitude.

Aos meus pais, por toda compreensão, amor e apoio as minhas decisões mesmo nos momentos mais difíceis. Muitas vezes abriram mão dos próprios sonhos para viver os meus, palavras me faltam para agradecer tamanha devoção. Essa vitória antes de minha, com certeza é de vocês.

Ao meu irmão mais velho, por toda ajuda e atenção nos momentos mais difíceis e corriqueiros, inclusive se dispondo para ajudar na elaboração dessa obra.

À minha esposa e companheira, pelo amor, carinho e dedicação. A você que caminha ao meu lado já por quase uma década, vivemos tantas coisas juntos, aprendendo e dando forças um ao outro, nos momentos simples e mais complexos da vida. Realmente é como dizem, formamos uma boa banda.

À minha linda filha, por me proporcionar tamanha felicidade e forças para vencer todas as dificuldades. Apesar de ainda não entender, a partir do momento que nasceu, passou a ser a pessoa mais importante da minha vida, agradeço a Deus pela sua vida, sua saúde e por seu pai.

À toda minha família e amigos, pelos momentos de apoio e descontração.

Aos amigos que a universidade proporcionou, pelo apoio, amizade e companheirismo durante todo o curso, pelas incontáveis noites em claro e por toda parceria, essa jornada teria sido muito mais difícil sem vocês. À vocês os melhores cafés que esse mundo pode oferecer!

Ao meu orientador professor Dr. Paulo Germano Toscano Moura, pelo tempo dedicado, pela disposição exemplar no ensino e pelo conhecimento compartilhado, estendendo esse agradecimento para todos os professores do Curso de Engenharia Civil.

A todos que contribuíram direta e indiretamente para a realização deste trabalho, aos pagadores de impostos, que mesmo sem entender ou até mesmo concordar, financiaram o meu estudo.

A todos vocês: Meu respeito e muito obrigado!

“Assim que tenho visto que não há coisa
melhor do que alegrar-se o homem nas suas
obras, porque essa é a sua porção; pois quem
o fará voltar para ver o que será depois dele?”

Eclesiastes 3:22

RESUMO

Apesar da evolução tecnológica e normativa na indústria da construção civil nos últimos anos, às manifestações patológicas continuam a surgir em edificações de diferentes idades. As estruturas de concreto armado interagem com o ambiente a que estão inseridas e podem sofrer perda de desempenho, diminuindo, dessa forma, o tempo de vida útil para o qual foram concebidas. Vários são os fatores que podem acelerar os processos de deterioração: o uso de materiais de baixa qualidade, projetos mal concebidos e a falta do controle das etapas de execução. Entretanto, como qualquer outro material, o concreto armado necessita de cuidados e manutenção ao longo de sua vida útil. As manifestações patológicas presentes nas edificações do *Campus I* da Universidade Federal da Paraíba motivaram a realização deste trabalho de conclusão de curso, que foi desenvolvido com o objetivo de apresentar a importância de entender as causas e origens desses problemas, direcionando as práticas preventivas e de manutenção. O trabalho traz uma investigação patológica em diferentes edificações do *Campus I*, da UFPB em João Pessoa – PB, diagnosticando os problemas através de inspeção visual e sugerindo intervenções terapêuticas adequadas para cada caso.

Palavras-chave: Patologia no concreto armado, manifestações patológicas, diagnóstico, desempenho das edificações.

ABSTRACT

Despite the technological and normative evolution in the civil construction industry in recent years, the pathological manifestations continue to appear in buildings of different ages. Reinforced concrete structures interact with the environment to which they are inserted and can suffer loss of performance, thus reducing the shelf life for which they were designed. There are a number of factors that can accelerate deterioration processes: the use of poor quality materials, ill-conceived projects, and the lack of control of the execution stages. However, like any other material, reinforced concrete needs care and maintenance throughout its life. The pathological manifestations present in the Campus I buildings of the Federal University of Paraíba motivated the completion of this course, which was developed with the purpose of presenting the importance of understanding the causes and origins of these problems, directing preventive and maintenance. The work brings a pathological investigation in different buildings of Campus I, of the UFPB in João Pessoa - PB, diagnosing the problems through visual inspection and suggesting appropriate therapeutic interventions for each case.

Key-words: Pathology in reinforced concrete, pathological manifestations, diagnosis, performance of buildings.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação esquemática do processo de carbonatação.....	32
Figura 2 – Carbonatação condicionada pela fissuração.....	33
Figura 3 – Edificação do Centro de Ciências Exatas e da Natureza.....	36
Figura 4 – Edificação do Centro de Tecnologia, bloco D.....	39
Figura 5 – Bloco F do Centro de Tecnologia.....	43
Figura 6 – Bloco M do Centro de Tecnologia.....	44
Figura 7 – Bloco de Multimídia e Informática.....	44
Figura 8 – Bloco do Centro de Ciências Sociais Aplicadas.....	53
Figura 9 – Bloco do Centro de Educação.....	53

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Lei da Evolução dos Custos para reparos em edificações em função do tempo..	17
Gráfico 2 - Distribuição relativa da incidência das manifestações patológicas.....	18

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Percentual das principais causas de patologias na construção civil.....	19
Tabela 2 – Classes de agressividade ambiental (CAA).....	25
Tabela 3 – Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto.....	25
Tabela 4 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para tolerância de 10mm.....	26
Tabela 5 – Teor máximo de íons cloreto para proteção das armaduras do concreto.....	30
Tabela 6 – Teor limite de cloretos proposto por diversas normas.....	30
Tabela 7 – Matriz de diagnóstico - Caso 1.....	37
Tabela 8 – Matriz de diagnóstico - Caso 2.....	38
Tabela 9 – Matriz de diagnóstico - Caso 3.....	40
Tabela 10 – Matriz de diagnóstico - Caso 4.....	41
Tabela 11 – Matriz de diagnóstico - Caso 5.....	42
Tabela 12 – Matriz de diagnóstico - Caso 6.....	45
Tabela 13 – Matriz de diagnóstico - Caso 7.....	46
Tabela 14 – Matriz de diagnóstico - Caso 8.....	47
Tabela 15 – Matriz de diagnóstico - Caso 9.....	48
Tabela 16 – Matriz de diagnóstico - Caso 10.....	49
Tabela 17 – Matriz de diagnóstico - Caso 11.....	50
Tabela 18 – Matriz de diagnóstico - Caso 12.....	51
Tabela 19 – Matriz de diagnóstico - Caso 13.....	52
Tabela 20 – Matriz de diagnóstico - Caso 14.....	54
Tabela 21 – Matriz de diagnóstico - Caso 15.....	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CCEN – CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA

CCSA – CENTRO DE CIÊNCIA SOCIAIS APLICADAS

CE – CENTRO DE EDUCAÇÃO

CT – CENTRO DE TECNOLOGIA

mm – MILÍMETROS

NBR – NORMA BRASILEIRA REGISTRADA

pH – POTENCIAL HIDROGENIÔNICO

UFPB – UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo Geral	15
2.2 Objetivo Específico	15
3 REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1 Patologia das construções	16
3.1.1 <i>Sintomatologia</i>	17
3.1.2 <i>Causas e Origens</i>	18
3.1.3 <i>Desempenho, vida útil e durabilidade</i>	19
3.1.4 <i>Diagnóstico e Prognóstico</i>	21
3.1.5 <i>Terapia</i>	23
3.2 Patologias no Concreto Armado	23
3.2.1 <i>Mecanismos preponderantes de deterioração relativos ao concreto</i>	27
3.2.2 <i>Mecanismos preponderantes de deterioração relativos à armadura</i>	29
4 METODOLOGIA	34
4.1 Objeto do Estudo de Caso	34
4.2 Materiais Utilizados	34
5 ESTUDO DE CASO	36
6 CONCLUSÃO	56
REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

Ao longo do desenvolvimento da construção civil a concepção das estruturas evoluiu sistematicamente, com processos de cálculos cada vez mais sofisticados e precisos, além da regulamentação e padronização dos materiais utilizados no processo construtivo. Mediante o avanço no uso de novos materiais, o concreto armado foi o que mais experimentou o uso de novos aditivos, se tornando o material mais aprimorado na engenharia civil.

O concreto, por não ser inerte, está sujeito a alterações ao longo de sua vida útil em função de interações entre os elementos que o constituem e agentes internos e externos, à exemplo de contaminações na sua preparação, ácidos, gases e micro-organismos. Dessas interações podem surgir anomalias que podem comprometer o desempenho da estrutura.

A fim de estudar as manifestações patológicas no concreto armado, foi concebida uma nova área de estudo, chamada de patologia do concreto armado.

Designa-se, genericamente por Patologia das estruturas esse novo campo da engenharia das construções que se ocupa das origens, formas de manifestação, consequências e mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas. (SOUZA E RIPPER 1998, p.14).

São diversas as causas que podem levar ao comprometimento da estrutura, podendo ser congênitas ou adquiridas na etapa de utilização, ou ainda pela ação de fenômenos físicos, entre eles, choques, incêndios, enchentes, recalques e variações de temperatura. De um modo geral, as estruturas de concreto armado apresentam falhas representativas quando o esforço solicitante for maior do que o avaliado na análise estrutural ou quando o esforço resistente está menor do que aquele para o qual a peça foi dimensionada.

As estruturas de concreto não são eternas e por isso necessitam de cuidados e manutenções para alcançar a vida útil para o qual foram concebidas.

A resistência e durabilidade de uma estrutura depende dos cuidados que se tenham com ela em todas as etapas construtivas e de utilização, desde a concepção do projeto, até as manutenções programadas para garantir a integridade dos elementos e materiais que a compõe (CÁNOVAS,1988).

O ideal é tentar evitar as patologias do concreto armado fazendo o uso de técnicas preventivas, quando não for possível, devem ser corretamente diagnosticadas e tratadas para que não ocorra perda significativa da estrutura.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Identificar e analisar as manifestações patológicas relacionadas às estruturas de concreto armado encontradas no *campus* I da Universidade Federal da Paraíba.

2.2 Objetivo Específico

- Identificar as principais manifestações patológicas encontradas no *campus*;
- Diagnosticar as principais patologias presentes;
- Propor intervenções de reparo com base nos métodos verificados na literatura.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Patologia das construções

A Patologia da construção está estreitamente associada à qualidade, embora esta última tenha avançado bastante, a exemplo da NBR 6118 de 2014, os casos patológicos ainda não diminuíram na mesma proporção e significância.

A área de conhecimento que estuda as patologias nas edificações parece ser recente, onde observamos um crescente número nos casos das manifestações patológicas, entretanto existem comprovações do ano 2000 A.C., no código de Hamurabi, que já abordavam o tema e assinalava regras para prevenir defeito nos edifícios (FREEMAN, 1993).

Antas (2010) afirma que a falta de planejamento aliado ao baixo controle de qualidade na execução, a mão de obra desqualificada e a utilização de materiais de baixa qualidade, somados a ausência de manutenção, tem sido as principais causas das despesas extras às edificações, consumindo os recursos financeiros em intervenções de reparo que poderiam ser evitadas ou minimizadas.

A esse respeito, Souza e Ripper (1998) declaram:

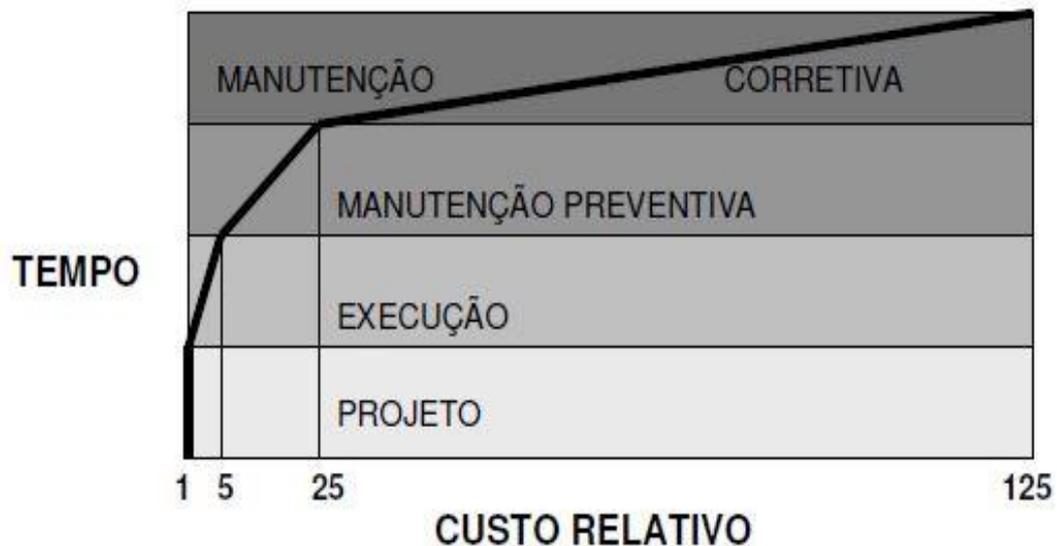
Objetivamente, as causas da deterioração podem ser as mais diversas, desde o envelhecimento “natural” da estrutura até os acidentes, e até mesmo a irresponsabilidade de alguns profissionais que optam pela utilização de materiais fora das especificações, na maioria das vezes por alegadas razões econômicas. (p.13).

Uma das grandes preocupações com o aparecimento das manifestações patológicas é a de que, boa parte dos danos possui caráter evolutivo, podendo levar a estrutura a uma situação de perigo num curto prazo (CÁNOVAS, 1988).

Helene (1992) afirma que quanto mais rápido as correções forem realizadas, mais efetivas, duráveis, fáceis de executar e baratas serão.

Segundo a Lei da Evolução dos Custos (ver gráfico 1), também conhecida por regra de Sitter (1984 apud HELENE, 1992), os custos de intervenção crescem exponencialmente quanto mais tarde for essa intervenção e pode ser assimilado ao gráfico de uma progressão geométrica de razão 5, como se observa a seguir:

Gráfico 1 - Lei da Evolução dos Custos para reparos em edificações em função do tempo



Fonte: (SITTER, 1984)

3.1.1 Sintomatologia

Os problemas patológicos, exceto casos singulares, possuem manifestação externa com características peculiares, o que possibilita a dedução de sua natureza, sua origem e os mecanismos envolvidos no fenômeno, assim como estimar suas prováveis consequências (HELENE, 1992).

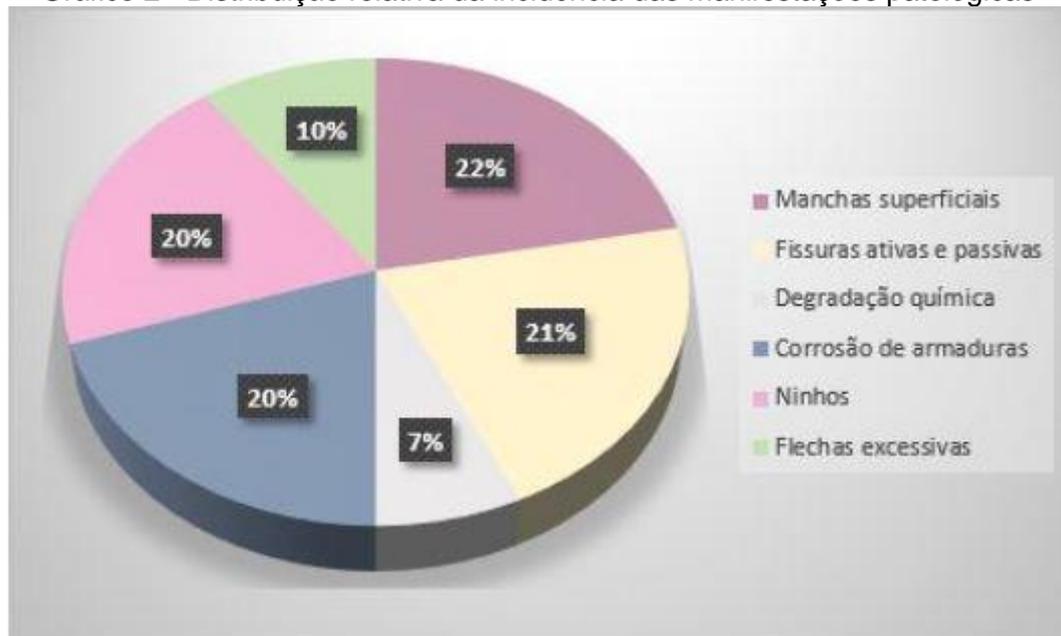
Os sintomas, também intitulados: lesões, defeitos, danos ou manifestações patológicas, podem ser analisados e classificados para orientar um primeiro diagnóstico, a partir de meticulosas observações visuais.

Para obter um diagnóstico adequado de uma manifestação patológica, segundo Tutikian e Pacheco (2013), é fundamental coletar dados, inicialmente, através de uma inspeção visual, de forma a identificar os sintomas observados, sua localização e sua intensidade.

Os sintomas mais frequentes de danos nas estruturas de concreto armado são: fissuras, flechas excessivas, manchas no concreto, eflorescências, corrosão de armaduras e ninhos de concretagem (segregação dos materiais constituintes do concreto).

Pode-se aferir no gráfico 2, a proporção desses sintomas.

Gráfico 2 - Distribuição relativa da incidência das manifestações patológicas



Fonte: (HELENE, 1992)

Através da sintomatologia que a estrutura apresenta, é preciso analisar também as causas que produziram os defeitos ou lesões existentes (CÁNOVAS, 1988).

3.1.2 Causas e Origens

Os agentes causadores de patologias podem ser: cargas, além de agentes biológicos, variações térmicas intrínsecas e extrínsecas, agentes atmosféricos, variação de umidade, incompatibilidade de materiais, entre outros.

Segundo Souza e Ripper (1998), o surgimento dos problemas patológicos indica, de maneira geral, a existência de falhas durante a execução e o controle de qualidade de uma ou mais etapas do processo de construção civil.

Muitas manifestações patológicas devem-se à necessidade de cuidados que são ignorados, seja durante o planejamento, projeto, fabricação das matérias primas, execução e uso. Das etapas previamente listadas, algumas são mais contundentes quando se aborda o surgimento de patologias, podendo destacar as fases de controle de materiais, execução e uso.

Uma classificação das principais causas de ocorrência de problemas patológicos, em função do tipo de falha cometida é apresentada na Tabela 01 disposta a seguir:

Tabela 1 – Percentual das principais causas de patologias na construção civil.

TIPOLOGIA	PERCENTUAL (%)
Causas diversas	1,6%
Disposições defeituosas	2,5%
Erros de concepção geral	3,5%
Fenômenos químicos	4,0%
Erros nas hipóteses de cálculo e ausência de estudos	8,5%
Defeitos de execução	16,5%
Deformações excessivas e sobrecargas	19,7%
Falhas resultantes de variações dimensionais	43,7%

Fonte: Adaptado pelo autor de Cánovas (1988, p. 08-09)

Ainda podem-se citar como principais agentes causadores de patologias de origem endógena na construção civil, ou seja, originadas por fatores inerentes à própria edificação, falhas decorrentes de projetos 36% a 49%, falhas de execução 19% a 30%, falhas de componentes 11% a 25% e de utilização 9% a 11% (GNIPPER; MIKALDO JR, 2007).

O conhecimento das causas e origens do processo patológico é fundamental, não apenas para que se possa determinar a terapêutica adequada, mas também para assegurar que, depois de reparada, a estrutura não volte a se deteriorar (SOUZA; RIPPER, 1998).

“Cabe ressaltar que a identificação da origem do problema permite também identificar, para fins judiciais, quem cometeu a falha.” (HELENE, 1992).

3.1.3 Desempenho, vida útil e durabilidade

Por muito tempo as prioridades dos projetistas eram centradas apenas na estabilidade das edificações e nos seus custos. As questões de desempenho eram desconsideradas ou deixadas em planos secundários (ONO, 2007).

Entanto, esse cenário tem mudado bastante, devido às exigências da NBR 15575 (ABNT, 2013), conhecida como a norma de desempenho, que versa sobre as exigências e necessidades dos usuários, com base nas condições de habitabilidade das edificações e na sua vida útil, que está relacionada com a manutenção.

Conforme Gnipper e Mikaldo Jr:

[...] o requisito de desempenho é a formulação qualitativa das propriedades a serem alcançadas pelo edifício, ou por suas partes, de maneira a atender determinadas necessidades do usuário. Os requisitos de desempenho são relativos ao uso propriamente dito da edificação, à resistência que esta deverá oferecer aos desgastes que sobre ela atuam e às consequências que ela produzirá sobre o meio ambiente. (GNIPPER; MIKALDO JR, 2007, p. 02).

A abordagem de desempenho é, primeiramente e acima de tudo, a prática de se pensar em termos de fins e não de meios, ou seja, o comportamento em uso que a edificação deve atingir, baseado em resultado de testes, se superpõe as técnicas construtivas e aos materiais que devem ser utilizados, fomentando dessa forma, o desenvolvimento tecnológico de novos materiais e suas utilizações (GIBSON, 1982).

Logo, o conceito de desempenho é uma ferramenta útil aos projetistas, que ao optarem por determinadas soluções terão previsibilidade da estrutura projetada, que deve satisfazer condições mínimas de aspectos de habitabilidade, manutenibilidade e uso, expressas através de padrões ou critérios estabelecidos pela norma técnica NBR 15575 (ABNT, 2013). Sendo assim, a capacidade da estrutura de apresentar o desempenho desejado descrito no projeto, quando exposta às condições normais para as quais foi projetada se chama durabilidade.

A Norma Brasileira 6118/2014 - Projeto de estruturas de concreto — Procedimento – conceitua que a durabilidade “consiste na capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto”.

Ainda existe uma confusão nos conceitos de durabilidade e vida útil. A vida útil é quantificação da durabilidade, que pode ser considerada como o período de tempo em que é mantida a capacidade de serviço da edificação, mantendo suas características e propriedades (HELENE, 1992).

Lapa (2008) afirma que comportamentos diferentes do previsto em projeto, como anomalias que ocorram durante a existência da edificação, que provocam interferências na segurança, desempenho e durabilidade do empreendimento são sintomas de manifestações patológicas, ou seja, é toda ocorrência na edificação que não atende aos requisitos mínimos de desempenho previstos.

Segundo a norma brasileira NBR 14037 (ABNT, 1988), que estabelece através do Manual de Operação, Uso e Manutenção das Edificações, o conceito para vida útil de uma edificação, pode ser definido como o tempo em que as propriedades da edificação permanecem acima dos limites mínimos admissíveis, quando a mesma se

presta às atividades para as quais foram projetadas e sofre medidas de manutenção descritas no respectivo Manual de Uso, Operação e Manutenção.

O concreto foi considerado por muito tempo, um material de grande durabilidade. Após a década de 70 houve alterações no cimento para adequá-lo as novas técnicas e tendências construtivas, que aliado a erros de projeto e execução, além da falta de manutenção, resultou em estruturas deterioradas. A partir da década de 80, foi refeita toda a parte de normas de concreto, introduzindo-se inclusive o conceito de vida útil das estruturas de concreto (BOTELHO; MARCHETTI, 2013).

Cremonini destaca que:

[...] as edificações são constituídas por diversos tipos de materiais e componentes, os quais sofrem um processo de degradação quando em contato com o meio. Este processo leva a uma perda de desempenho da edificação até que se atinja um nível mínimo, a partir do qual se caracteriza um defeito [...] o processo de degradação de um componente pode ser estimado através de curvas de desempenho no tempo. O conhecimento destas curvas permite fazer uma programação de atividades e desenvolver sistemas de manutenção. (CREMONINI, 1988, p. 23-24).

A vida útil de projeto da edificação só poderá ser atingida quando estiverem sendo seguidas as diretrizes do Manual de uso, operação e manutenção da edificação. Quando não há manutenção adequada, a edificação passa por um processo de envelhecimento precoce, perdendo o seu desempenho, o que leva ao comprometimento de diversos fatores de caráter estético, social e econômico, além dos riscos de segurança ao usuário (SANTOS, 2014).

3.1.4 Diagnóstico e Prognóstico

O diagnóstico das patologias pode ser caracterizado como a identificação e descrição do mecanismo, das causas, origem e natureza dos defeitos. Descobrir as principais causas dos problemas não é simples, tendo em vista o número de processos apresentados pelas diversas etapas construtivas (CREMONINI, 1988).

De acordo com Tutikian e Pacheco (2013), o diagnóstico de uma patologia não pode ser realizado de maneira imediata, mas deve ser fruto da consideração de todo o processo evolutivo do caso, visto que uma manifestação pode se apresentar de maneira diferente durante cada fase do mesmo.

Para se obter um diagnóstico completo e adequado é necessário que cada aspecto do problema patológico seja esclarecido, a saber, dos sintomas, mecanismo, das causas, origem e consequência do evento.

A observação local acompanhada de um relatório fotográfico pode fornecer dados significativos à solução do problema, no levantamento de campo é importante à utilização de instrumentos que possam medir a amplitude dos defeitos, como nível, fio de prumo, higrômetro, termômetro de contato, pacômetro, lupa graduada, dentre outros. As informações escritas obtidas através do estudo das plantas, cadernos de encargos e memoriais descritivos devem ser analisadas. Sempre que possível devem ser feitos ensaios no local e de laboratório, entre esses ensaios podem ser destacados a esclerometria, a verificação da carbonatação e do teor de cloreto no concreto, a determinação do potencial de corrosão, amostras de armadura retiradas da estrutura, ultrassonografia e a prova de carga (SANTUCCI, 2015).

O diagnóstico da manifestação patológica nos permite estabelecer parâmetros quanto ao estado de conservação da edificação, auxiliando na tomada de decisão quanto ao tipo de intervenção adequada. Quando não for possível estabelecer a causa do problema de maneira exata, as decisões do responsável técnico deverão ser explícitas, levando em consideração o dever ético do profissional para com a engenharia (Zuchetti apud HELENE, 2003).

Tutikian e Pacheco (2013) conceituam prognósticos como um levantamento das hipóteses de evolução do problema, indicando o que pode vir a acontecer, necessário para a definição da conduta que deve ser seguida após o estabelecimento do diagnóstico em questão.

A definição da terapêutica a ser adotada é precedida pela coleta de dados e adequação do diagnóstico. As definições de conduta, à exemplo da escolha do tipo de material a ser usado, mão de obra e equipamentos, abrangem decisões especificadas pelo responsável técnico. As alternativas de intervenção são ponderadas com o objetivo de identificar o melhor custo/benefício, levando a consideração da hipótese de reincidência do problema, dessa forma, o prognóstico da situação é feito a fim de julgar a mais adequada e menos onerosa solução (DO CARMO, 2003).

Segundo Oliveira (2013), são levantadas hipóteses de evolução do problema a partir do diagnóstico para decidir sobre a intervenção diante da manifestação patológica, baseando-se em dados fornecidos pela tipologia do problema, seu estágio

de desenvolvimento, as características gerais da edificação e as condições de exposição a que está submetida.

Cabe ao responsável técnico apresentar um prognóstico que venha a elucidar as consequências que podem surgir, caso não sejam efetuadas as medidas corretivas propostas para a eliminação do problema. Desta forma, é fundamental a indicação de quais são estas medidas, contemplando a terapia adequada a ser implantada (TUTIKIAN; PACHECO, 2013).

3.1.5 Terapia

É competência da terapia, estudar a solução e a correção dos problemas patológicos. Para que as medidas terapêuticas obtenham êxito, é necessário que o diagnóstico da questão tenha sido bem elaborado. A definição da conduta a ser seguida pode incluir pequenos reparos localizados até uma recuperação generalizada da estrutura. Em todos os casos é sempre recomendável que sejam adotadas medidas de proteção da estrutura, através de um programa de manutenção periódica que leve em consideração a vida útil prevista, a agressividade das condições ambientais de exposição, entre outros fatores (HELENE, 1992).

As especificações do desempenho pretendido e o nível de qualidade exigido para a intervenção são os parâmetros que definem a terapêutica, a melhor alternativa é a que apresenta os níveis requeridos a um menor custo. Para efeito de análise dos custos deve-se levar em consideração o volume de investimento a ser aplicado até o fim da vida útil da edificação, pois alguns procedimentos não cumprem os requisitos de desempenho desejados durante muito tempo (DO CARMO, 2003).

A escolha de uma alternativa de intervenção é viável se houver a disponibilidade de recursos tecnológicos para sua execução, dentre esses recursos pode-se citar as técnicas utilizadas para projetar e controlar a qualidade dos serviços, além dos materiais e equipamentos necessários.

3.2 Patologias no Concreto Armado

O concreto armado se caracteriza pela mistura íntima de cimento, agregados, água, eventualmente aditivos e o aço. O concreto participa como o material que

contribui para absorver o esforço de compressão, e o aço principalmente o de tração (DURMÊT, 2008).

Por muito tempo o concreto armado foi considerado um material perene, entretanto esse conceito foi revisado, levando em consideração a grande quantidade de edificações que apresentam problemas patológicos nos seus componentes estruturais.

Lapa afirma que:

Os processos principais que causam a deterioração do concreto podem ser agrupados, de acordo com sua natureza, em mecânicos, físicos, químicos, biológicos e eletromagnéticos [...] Os processos de degradação alteram a capacidade de o material desempenhar as suas funções, e nem sempre se manifestam visualmente. Os três principais sintomas que podem surgir isoladamente ou simultaneamente são: a fissuração, o destacamento e a desagregação (LAPA, 2008, p. 9).

Para uma melhor compreensão dos diversos processos de deterioração do concreto armado surgiram duas classificações, que interagem entre si. As causas intrínsecas são aquelas em que o processo de deterioração é inerente à própria estrutura, ou seja, as que se originam dos materiais e das peças estruturais, durante as fases de execução ou utilização, por falhas humanas, por questões próprias ao material concreto e por ações externas, inclusive acidentes. Já as causas extrínsecas podem ser vistas como os fatores que atacam a estrutura de fora para dentro, durante a fase de concepção ou ao longo de sua vida útil (SOUZA; RIPPER, 1998).

A corrosão do aço tem sido umas das principais manifestações patológicas nas estruturas de concreto armado, deve-se entender este processo para impedir sua ocorrência, a espessura de cobrimento de concreto é o que protege a armadura, formando uma película de caráter passivo (MEDEIROS *et al.*, 2011).

Faz-se necessário conhecer as condições ambientais nos quais a estrutura estará inserida para poder projetar e executar corretamente o cobrimento, quanto maior for a agressividade ambiental, maior deverá ser a proteção para que a estrutura tenha o desempenho adequado ao longo de sua vida útil.

A NBR 6118 (ABNT, 2014) define respectivamente, as classificações de agressividade do ambiente, a qualidade do concreto e o cobrimento nominal mínimo a serem utilizados, de acordo com as Tabelas 02, 03 e 04. Após a classificação da agressividade ambiental, pode-se definir a qualidade mínima do concreto.

Tabela 2 - Classes de agressividade ambiental (CAA)

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: (ABNT: NBR 6118, 2014)

Tabela 3 – Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: (ABNT: NBR 6118, 2014)

Por ser relativamente fácil mensurar a resistência à compressão do concreto, esta passou a ser a principal propriedade especificada nos projetos. Acredita-se que as demais propriedades como estanqueidade, módulo de elasticidade e resistência a intempéries estão relacionadas com a resistência a compressão e podem ser deduzidas dos resultados da mesma (MEHTA E MONTEIRO, 2014).

O aumento da relação a/c gera enfraquecimento da matriz causado pelo aumento da porosidade, diminuindo dessa forma, a resistência do concreto.

Por último verificam-se quais os valores estabelecidos para o cobrimento mínimo, que depende do tipo de concreto, podendo ser armado ou protendido, e do elemento estrutural que será dimensionado.

Tabela 4 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para tolerância de 10mm

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		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

^a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

^b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

^c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Fonte: (ABNT: NBR 6118, 2014)

A deterioração do concreto é um fenômeno natural devido ao envelhecimento da estrutura. Entretanto, quando o cobrimento não é projetado e executado adequadamente, a espessura insuficiente faz com que os agentes agressores cheguem até a armadura de maneira precoce, ocasionando a sua corrosão.

Para facilitar a compreensão dos mecanismos de envelhecimento e deterioração da estrutura, é conveniente separar os mecanismos preponderantes relativos ao concreto dos da armadura.

3.2.1 Mecanismos preponderantes de deterioração relativos ao concreto

De acordo com a NBR 6118 a deterioração relativa ao concreto pode ser resultado de 03 (três) processos distintos: lixiviação, expansão por sulfato e reação álcali-agregado (ABNT, 2014).

a) Lixiviação do Concreto

A lixiviação do concreto é causada essencialmente pelo contato da estrutura com a água, que por eletrolise, pode dissolver e carregar o hidróxido de cálcio formado no processo de hidratação do cimento (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Os íons de cálcio, produto da lixiviação, reagem facilmente com o CO₂ presente na atmosfera, resultando no aparecimento de crostas brancas de carbonato de cálcio na superfície do concreto, conhecidas como eflorescências. Qualquer peça de concreto está sujeita ao processo de lixiviação, entretanto, pode-se evitar esse problema fazendo o uso de aditivos no cimento, a exemplo das pozolanas. Estas, substituem o hidróxido de cálcio por silicatos de cálcio hidratados, melhorando a durabilidade da matriz cimentícia frente ao ataque por espécies químicas ácidas (NITA, 2006).

A lixiviação pode criar problemas para além das questões estéticas, como é o caso da entrada de substâncias nocivas às armaduras e ao próprio concreto. A penetração de CO₂, por exemplo, tem o potencial de causar a corrosão das armaduras do concreto, causando perda significativa da resistência mecânica do concreto (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

b) Reação Álcali-Agregado

A reação álcali-agregado é definida pela NBR 15577-1 (ABNT, 2008, p. 2) como uma “reação química entre alguns constituintes presentes em certos tipos de agregados e componentes alcalinos que estão dissolvidos na solução dos poros do concreto”.

Alguns agregados reagem com o potássio, sódio e hidróxido de cálcio no cimento, formando um gel expansivo que fissa o concreto, esta reação é chamada álcali-agregado. Sabe-se que a expansão se dá pela exposição do gel a umidade,

gerando tensões internas capazes de fissurar o concreto em torno dos agregados (ANDRADE, 2005).

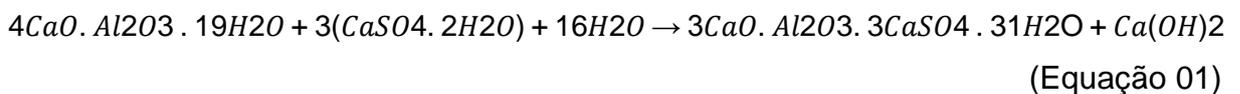
Este mecanismo está condicionado ao contato simultâneo do cimento e do agregado reativo com a água, esta reação pode passar despercebida por muito tempo fazendo-se necessário a realização de exames de dimensão microscópica para melhor diagnóstico (OLIVARI, 2003).

As fissuras geradas pela reação álcali-agregado permitem o aumento da umidade do concreto acelerando ainda mais este processo patológico, além da possibilidade de se tornar mecanismo de causa para outras patologias, como por exemplo, a corrosão da armadura devido a carbonatação e ação de cloretos. (FUSCO, 2008).

c) Ataque de Sulfatos

Consiste em um processo físico-químico que se dá pela expansão da pasta cimentícia pela ação dos sulfatos que podem estar presentes nos agregados e até no próprio cimento. Esses compostos são potencialmente danosos ao concreto, caracterizado pela ação expansiva que gera altas tensões capazes de fissurar o concreto, sendo os sulfatos de sódio e cálcio mais comuns em solos, águas e processos industriais, os sulfatos de magnésio são os mais perigosos, contudo são os mais raros (LAPA, 2008).

O sulfato de cálcio reage com o aluminato tricálcio hidratado e forma um sal conhecido como Etringita (OLIVARI, 2003), conforme demonstrado na Equação 01:



No concreto endurecido, a formação da etringita resultante do ataque de sulfato pode levar à expansão, favorecendo o surgimento de fissuras, permitindo dessa forma, a penetração de CO₂ e íons de cloreto, acelerando o processo de corrosão da armadura (OLIVARI, 2003).

3.2.2 Mecanismos preponderantes de deterioração relativos à armadura

De acordo com a NBR 6118 a deterioração relativa à armadura corresponde ao processo de despassivação da mesma que pode ocorrer através de 02 (dois) processos distintos: a carbonatação e ação de cloretos (ABNT, 2014). “A película passiva é a grande defesa da armadura e a garantia de que esta não sofrerá corrosão.” (CASCUDO, 1997, p.41).

a) Ação dos Cloretos

Os íons cloreto podem ser introduzidos intencionalmente no concreto, como agente acelerador de pega e endurecimento, e podem vir através de processos industriais, maresia ou névoa de ambiente marinho (CASCUDO, 1997).

Souza e Ripper (1988) destacam que, os cloretos podem ser involuntariamente adicionados ao concreto a partir da utilização de agregados e águas contaminadas, já o ácido muriático utilizado em tratamentos de limpeza de fachadas, pode penetrar ao concreto, devido a sua estrutura porosa ou a presença de fissuras no elemento.

A esse respeito, é preciso considerar que:

Os mecanismos de transporte que levam ao movimento e concentração iônica dos cloretos no concreto são os seguintes: absorção capilar, difusão iônica, permeabilidade sob pressão e migração iônica. O transporte não apenas dos cloretos, mas de outras substâncias dissolvidas, de líquidos em geral e de gases no interior do concreto, é decisivamente influenciado pela estrutura porosa da pasta de cimento endurecida. (CASCUDO, 1997, p.42).

A NBR 12655 (ABNT, 2015) limita a presença de Cl^- a 0,4% em relação à massa de cimento, tendo o mesmo padrão de exigência de normas estrangeiras, como pode ser visto na Tabela 5 e 6.

Tabela 5 – Teor máximo de íons cloreto para proteção das armaduras do concreto

Classe de agressividade (5.2.2)	Condições de serviço da estrutura	Teor máximo de íons cloreto (Cl⁻) no concreto % sobre a massa de cimento
Todas	Concreto protendido	0,05
III e IV	Concreto armado exposto a cloretos nas condições de serviço da estrutura	0,15
II	Concreto armado não exposto a cloretos nas condições de serviço da estrutura	0,30
I	Concreto armado em brandas condições de exposição (seco ou protegido da umidade nas condições de serviço da estrutura)	0,40

Fonte: (ABNT: NBR 12655, 2015)

Vale ressaltar que a referida norma proíbe o uso de aditivos contendo cloretos em sua composição em estruturas de concreto armado ou protendido.

Tabela 6 – Teor limite de cloretos proposto por diversas normas.

Normas	Teor de Cl⁻ para concreto armado (%)
EH – 88 (espanhola)	0,40
Pr EM-206 (espanhola)	0,40
BS-81110/85 (inglesa – British Standard)	0,20 – 0,40*
ACI-318/83 (norte americana – American Concrete Institute)	0,15 – 0,30 – 1,00**

* O limite varia em função do tipo de cimento;

** O limite varia em função da agressividade ambiental.

Fonte: (CASCUDO, 1997)

A determinação do teor de cloretos no concreto é essencial para avaliar a necessidade de reparo em estruturas existentes, bem como para verificar se os materiais usados se enquadram nos requisitos mínimos de durabilidade. Para realizar os ensaios é necessário retirar uma amostra de pó do concreto, a concentração dos íons pode ser feita quimicamente ou através de análise de fluorescência de Raio-X. (FIGUEIREDO, 2005)

Segundo Souza e Ripper (1998), os ensaios para determinar o teor de cloreto são fortemente recomendados, visto que, a utilização de concreto com cloretos pode

resultar em corrosão eletroquímica ou eletrolítica quando as peças estruturais se encontram próximas a correntes elétricas de alta tensão.

Para evitar o ataque dos íons cloretos é recomendável dificultar a inserção do mesmo no concreto. O uso de cimento composto com adição de escória ou material pozolânico, o revestimento adequado das armaduras e o controle de fissuração estão entre as principais medidas preventivas recomendadas pela NBR 6118.

Sobre os efeitos nas armaduras Cascudo (1997), aponta três teorias:

1ª) Teoria do Filme de Óxido

Os íons penetram no filme de óxido passivante através dos poros ou fissuras. Alternadamente os cloretos podem dispersar-se coloidalmente no filme de óxido, tornando mais fácil a sua penetração.

2ª) Teoria da Adsorção

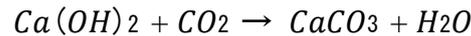
Os íons Cl^- são adsorvidos na superfície do metal em competição com o oxigênio dissolvido ou com íons de hidroxila. O cloreto promove a hidratação dos íons metálicos, promovendo a sua dissolução.

3ª) Teoria do Complexo Transitório

Os íons cloreto competem com os íons hidroxila para produção de íons ferrosos pela corrosão. Forma-se então um complexo solúvel de cloreto de ferro que pode difundir-se a partir das áreas anódicas destruindo a camada protetora e permitindo a continuação do processo corrosivo. O complexo se rompe a certa distância do eletrodo, liberando hidróxido de ferro e o íon cloreto que realimenta o processo.

b) Carbonatação

A carbonatação consiste na redução do pH da pasta de cimento do concreto, de valores entre 12 e 14 para valores inferiores a 9. Segundo Souza e Ripper (1998), esse processo físico-químico tem como agente precursor o gás carbônico, que se transporta da superfície para o interior do concreto, reagindo com os minerais do cimento hidratado, principalmente com o hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$), formando o carbonato de cálcio ($CaCO_3$), como se pode observar na equação 02.

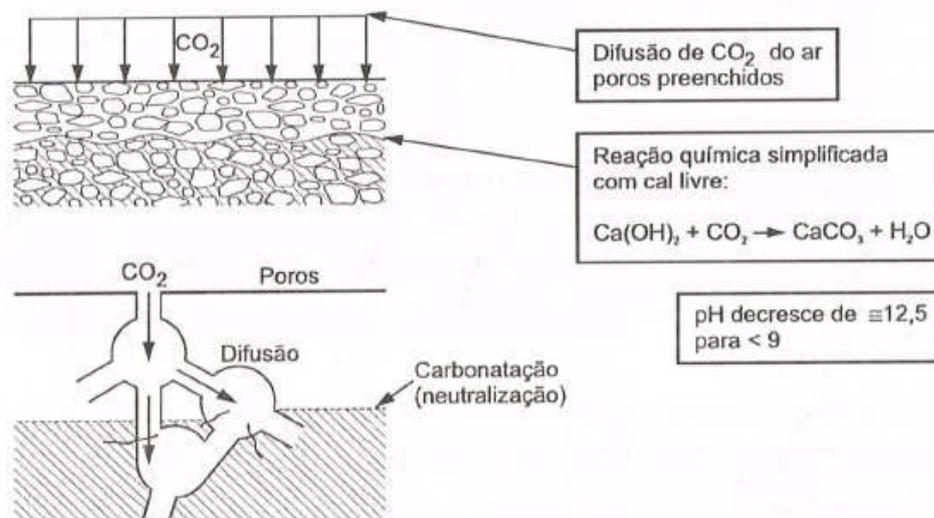


(Equação 02)

A redução do pH se dá pelo consumo de hidróxido de cálcio. Entretanto, esse processo ocorre lentamente e tende a diminuir com o tempo. Isto pode ser explicado pela hidratação crescente do cimento, além do próprio carbonato de cálcio, que preenche os poros superficiais, dificultando que o gás carbônico alcance o interior do concreto (CASCUDO, 1997).

A Figura 1 mostra como ocorre o processo de carbonatação.

Figura 1 – Representação esquemática do processo de carbonatação



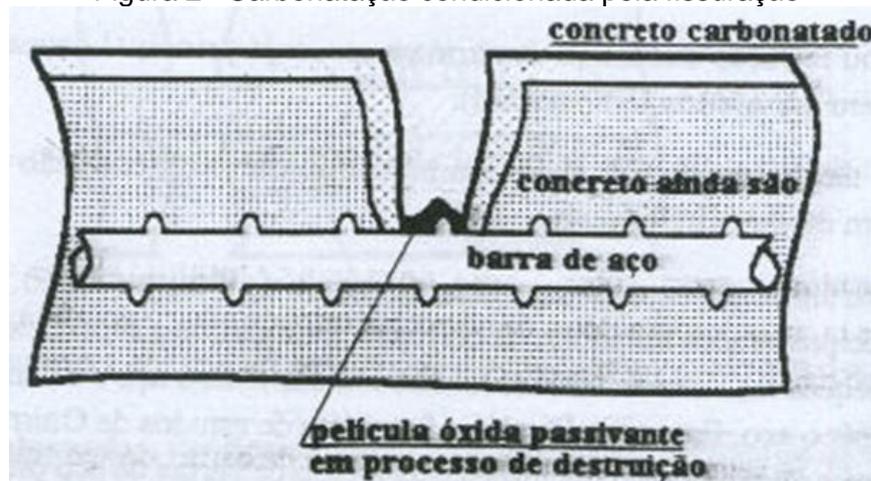
Fonte: (CASCUDO, 1997)

Souza e Ripper (1998) declaram que:

A carbonatação em si, e se ficasse restrita a uma espessura inferior à da camada de cobertura das armaduras, seria até benéfica para o concreto, pois aumentaria as suas resistências químicas e mecânicas. A questão é que, em função da concentração de CO₂ na atmosfera e da porosidade e nível de fissuração do concreto, a carbonatação pode atingir a armadura, quebrando o filme óxido que a protege, corroendo-a. (SOUZA e RIPPER, 1988, p.75).

Ainda sobre o tema os autores afirmam que quando houver fissuras no concreto com abertura maior do que 0,4 mm, o processo de carbonatação será acelerado, implantando, inevitavelmente, a corrosão das barras da armadura, como se observa na Figura 2.

Figura 2– Carbonatação condicionada pela fissuração



Fonte: (SOUZA e RIPPER, 1998)

Conforme Cascudo (1997), quando a capa de passivação é descaracterizada, o aço se corrói de forma generalizada como se estivesse simplesmente exposto à atmosfera sem qualquer proteção.

No concreto carbonatado o risco de corrosão por ação de agentes agressores, como os cloretos, aumenta de forma significativa. A probabilidade de que seja desencadeado um processo de corrosão em uma barra de aço imersa em concreto carbonatado e contaminado por uma concentração de cloretos igual a 0,4% do seu peso em cimento, é 4 vezes maior do que se o concreto não estivesse carbonatado (SOUZA e RIPPER, 1998).

As medidas preventivas, assim como as relacionadas ao ataque dos cloretos, consistem em dificultar a penetração dos agentes agressivos no interior do concreto. A NBR 6118 indica ações preventivas que podem minimizar o efeito da carbonatação, dentre elas, a utilização de um concreto de baixa porosidade, cobrimento adequado das armaduras e um maior controle de fissuração.

Um método simples para avaliar a carbonatação em um elemento de concreto armado resulta da aplicação de fenolftaleína ou timolftaleína na superfície exposta. O hidróxido de cálcio livre reage adquirindo coloração típica (vermelho carmim), enquanto as partes já carbonatadas permanecem incolores (CASCUDO, 1997).

4 METODOLOGIA

O presente estudo tem como objetivo a pesquisa e coleta de dados de manifestações patológicas em edificações de concreto armado, e a busca por soluções. Sendo assim caracterizado como estudo de caso.

O trabalho foi realizado mediante uma revisão bibliográfica sobre patologias em concreto armado, em seguida as manifestações patológicas observadas no *campus* I da Universidade Federal da Paraíba foram registradas e catalogadas por meio de imagens. Depois dessa identificação foram feitos os diagnósticos preliminares e determinadas as terapias adequadas a cada caso.

4.1 Objeto do Estudo de Caso

A Universidade Federal da Paraíba (UFPB) foi criada pela Lei Estadual nº 1.366, de 02 de dezembro de 1955 e instalada sob o nome de Universidade da Paraíba como resultado da junção de algumas escolas superiores (LIMEIRA e FORMIGA, 1986).

As edificações em análise referem-se às instalações do Campus I da UFPB, localizado na cidade de João Pessoa, Estado da Paraíba.

O Campus I compreende 13 (treze) centros de ensino, sendo eles: Centro de Ciências Exatas e da Natureza (CCEN); Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes (CCHLA); Centro de Ciências Médicas (CCM); Centro de Ciências da Saúde (CCS); Centro de Ciências Sociais Aplicadas (CCSA); Centro de Educação (CE); Centro de Tecnologia (CT); Centro de Ciências Jurídicas (CCJ); Centro de Biotecnologia (CBiotec); Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional (CTDR); Centro de Comunicação, Turismo e Artes (CCTA); Centro de Informática (CI) e Centro de Energias Alternativas Renováveis (CEAR).

4.2 Materiais Utilizados

Para realizar um ensaio de inspeção visual é necessária a utilização de alguns equipamentos básicos que auxiliem neste processo. Para efetuar o levantamento desses dados foram utilizados:

- Equipamento para registro fotográfico;
- Trena;

- Lápis;
- Prancheta; e
- Lanterna.

5 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo será apresentado um estudo de caso teórico sobre as principais patologias encontradas nas edificações do *campus* I da Universidade Federal da Paraíba, começando pelas manifestações encontradas no CCEN.

Figura 3 - Edificação do Centro de Ciências Exatas e da Natureza



Fonte: (Autor, 2018)

A falta de proteção contra a umidade e deficiência na drenagem superficial da região em destaque, ver Figura 03, acarretou o acúmulo de águas retidas pelo elemento que conecta os pilares, o que é explicado pela presença dos sintomas patológicos na região da base dos mesmos. A seguir, apresenta-se outros casos onde será discutido manifestações patológicas semelhantes com maior detalhamento de causas e efeitos.

Tabela 7 – Matriz de diagnóstico - Caso 1

ITEM	PROBLEMA PATOLÓGICO	DESCRIÇÃO POR INSPEÇÃO VISUAL	MANIFESTAÇÕES DETECTADAS	POSSÍVEL CAUSA	DIAGNÓSTICO
1		Manifestação localizada em pilar externo de Bloco do Centro de Ciências Exatas e da Natureza (CCEN).	Desagregação do concreto e corrosão de armadura.	<p>1) Acúmulo de água na base da peça estrutural.</p> <p>2) Concreto de baixa qualidade (porosidade).</p> <p>3) Insuficiência de cobrimento da armadura.</p>	Corrosão de Armaduras.

Fonte: (AUTOR, 2018)

Sugestões Terapêuticas:

- 1) Remover cuidadosamente o concreto afetado e os produtos da corrosão;
- 2) Reconstituir a seção original da armadura;
- 3) Na presença de agentes agressivos, efetuar a correção com primer que acarretará na proteção da armadura;
- 4) Reforçar o componente estrutural aumentando as dimensões originais através de reforço (garantir cobrimento adequado).

Tabela 8 – Matriz de diagnóstico - Caso 2

ITEM	PROBLEMA PATOLÓGICO	DESCRIÇÃO POR INSPEÇÃO VISUAL	MANIFESTAÇÕES DETECTADAS	POSSÍVEL CAUSA	DIAGNÓSTICO
2		<p>Manifestação localizada em pilar externo de Bloco do Centro de Ciências Exatas e da Natureza (CCEN).</p>	<p>Desagregação do concreto e corrosão de armadura.</p>	<p>1) Insuficiência de cobrimento da armadura. 2) Concreto de baixa qualidade (porosidade). 3) Acúmulo de água na base da peça estrutural.</p>	<p>Corrosão de Armaduras.</p>

Fonte: (AUTOR, 2018)

Sugestões Terapêuticas: As mesmas indicadas para o item 1.

O Centro de Tecnologia (CT) da Universidade Federal da Paraíba corresponde à antiga Escola Superior de Engenharia da Paraíba, que teve a construção de suas edificações inauguradas no ano de 1952, mas só em 28 de fevereiro de 1974, as instalações foram destinadas ao atual Centro de Tecnologia da UFPB (LIMEIRA e FORMIGA, 1986). Sendo assim, as edificações de 1952, foram construídas sob o regulamento da norma técnica intitulada Norma Brasileira número 1 (NB - 1) de 1950.

As lajes de cobertura dos blocos antigos do CT são compostas por painéis inclinados, sendo do tipo plissadas (seção “W”), como mostra a Figura 04. As lajes são apoiadas nos vértices inferiores em vigas paralelas ao menor sentido das lajes componentes, e nas extremidades dos blocos.

Figura 4 – Edificação do Centro de Tecnologia, bloco D



Fonte: (AUTOR, 2018)

A seguir encontram-se as principais manifestações patológicas localizadas nessas lajes.

Tabela 9 – Matriz de diagnóstico – Caso 3

ITEM	PROBLEMA PATOLÓGICO	DESCRIÇÃO POR INSPEÇÃO VISUAL	MANIFESTAÇÕES DETECTADAS	POSSÍVEL CAUSA	DIAGNÓSTICO
3		Manifestação localizada em Laje de Coberta do bloco D (CT).	Corrosão da armadura e manchas de umidade.	<p>1) Insuficiência de cobertura da armadura.</p> <p>2) Falha no sistema de impermeabilização</p> <p>3) Desconsideração dos esforços gerados pela rotação dos painéis (ponto crítico).</p>	Corrosão de Armaduras.

Fonte: (AUTOR, 2018)

Sugestões Terapêuticas:

- 1) Remover o concreto afetado e os produtos da corrosão;
- 2) Reconstituir a seção original da armadura (quando houver perda de seção transversal ou rompimento);
- 3) Na presença de agentes agressivos, efetuar a correção com primer (pintura anticorrosiva);
- 4) Reforçar o componente estrutural aumentando as dimensões originais (garantir cobertura adequado).

Tabela 10 – Matriz de diagnóstico – Caso 4

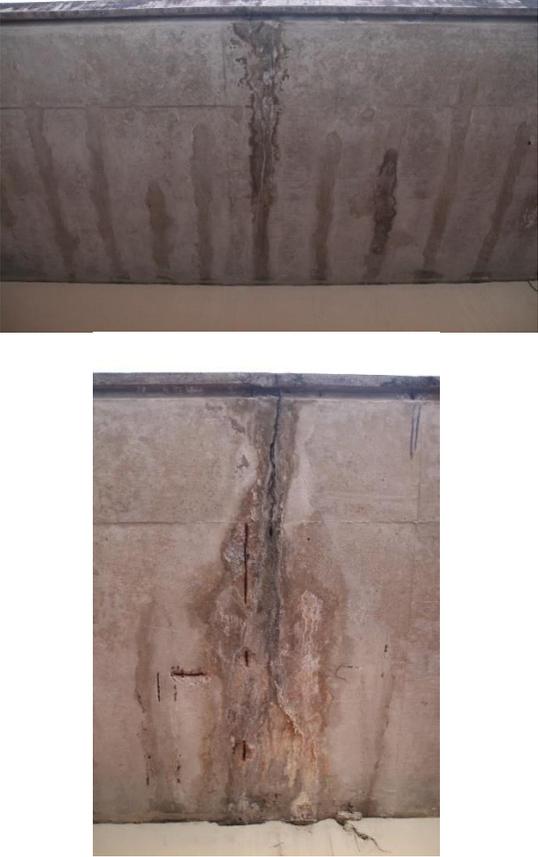
ITEM	PROBLEMA PATOLÓGICO	DESCRIÇÃO POR INSPEÇÃO VISUAL	MANIFESTAÇÕES DETECTADAS	POSSÍVEL CAUSA	DIAGNÓSTICO
4		Manifestação localizada em laje de cobertura do bloco A (CT).	Corrosão de armadura.	Insuficiência de cobrimento da armadura.	Corrosão de Armaduras.

Fonte: (AUTOR, 2018)

Sugestões Terapêuticas:

- 1) Remover o concreto afetado e os produtos da corrosão;
- 2) Reconstituir a seção original da armadura (quando houver perda de seção transversal ou rompimento);
- 3) Na presença de agentes agressivos, efetuar a correção com primer (pintura anticorrosiva);
- 4) Reforçar o componente estrutural aumentando as dimensões originais (garantir cobrimento adequado).

Tabela 11 – Matriz de diagnóstico – Caso 5

ITEM	PROBLEMA PATOLÓGICO	DESCRIÇÃO POR INSPEÇÃO VISUAL	MANIFESTAÇÕES DETECTADAS	POSSÍVEL CAUSA	DIAGNÓSTICO
5		<p>Manifestação localizada em Laje de Coberta do bloco B (CT).</p>	<p>Eflorescência, corrosão da armadura, manchas de umidade e de corrosão.</p>	<p>1) Falha no sistema de impermeabilização. 2) Insuficiência de cobrimento da armadura.</p>	<p>1) Lixiviação do Concreto. 2) Corrosão de Armaduras.</p>

Fonte: (AUTOR, 2018)

Sugestões Terapêuticas: As mesmas indicadas para o Caso 4.

A maioria dos problemas patológicos nas lajes inclinadas do Centro de Tecnologia apresentam tentativas prévias de reparo, entretanto, percebe-se a reincidência dos mesmos. Conforme explicado no início do trabalho, conhecer as causas do processo patológico é fundamental para assegurar que, depois de reparada, a estrutura não volte a se deteriorar.

A seguir, serão apresentados os problemas patológicos de maior relevância encontrados nos blocos F, M e de Multimídia e Informática, também situados no Centro de Tecnologia.

Figura 5 – Bloco F do Centro de Tecnologia



Fonte: (AUTOR, 2018)

Figura 6 – Bloco M do Centro de Tecnologia



Fonte: (AUTOR, 2018)

Figura 7 – Bloco de Multimídia e Informática



Fonte: (AUTOR, 2018)

Tabela 12 – Matriz de diagnóstico – Caso 6

ITEM	PROBLEMA PATOLÓGICO	DESCRIÇÃO POR INSPEÇÃO VISUAL	MANIFESTAÇÕES DETECTADAS	POSSÍVEL CAUSA	DIAGNÓSTICO
6		<p>Manifestação localizada em Brise de Concreto Armado do bloco F (CT).</p>	<p>Desagregação do concreto e corrosão de armadura.</p>	<p>1) Insuficiência de cobrimento da armadura. 2) Concreto de baixa qualidade (porosidade).</p>	<p>Corrosão de Armaduras.</p>

Fonte: (AUTOR, 2018)

Sugestões Terapêuticas:

- 1) Remover o concreto afetado e os produtos da corrosão;
- 2) Reconstituir a seção original da armadura (quando houver perda de seção transversal ou rompimento);
- 3) Na presença de agentes agressivos, efetuar a correção com primer (pintura anticorrosiva);

Tabela 13 – Matriz de diagnóstico – Caso 7

ITEM	PROBLEMA PATOLÓGICO	DESCRIÇÃO POR INSPEÇÃO VISUAL	MANIFESTAÇÕES DETECTADAS	POSSÍVEL CAUSA	DIAGNÓSTICO
7		Manifestação localizada em Laje de Coberta do bloco M (CT).	Eflorescência, manchas de umidade e de corrosão.	Falha no sistema de impermeabilização.	1) Lixiviação do Concreto. 2) Corrosão de Armaduras.

Fonte: (AUTOR, 2018)

Sugestões Terapêuticas:

- 1) Remover o concreto afetado e os produtos da corrosão;
- 2) Reconstituir a seção original da armadura (quando houver perda de seção transversal ou rompimento);
- 3) Na presença de agentes agressivos, efetuar a correção com primer (pintura anticorrosiva);

Tabela 14 – Matriz de diagnóstico – Caso 8

ITEM	PROBLEMA PATOLÓGICO	DESCRIÇÃO POR INSPEÇÃO VISUAL	MANIFESTAÇÕES DETECTADAS	POSSÍVEL CAUSA	DIAGNÓSTICO
8		Manifestação localizada em Laje de Coberta do bloco M (CT).	Aparecimento de trincas e fissuras no concreto, manchas de umidade e de corrosão	1) Falha no sistema de impermeabilização. 2) Concreto de baixa qualidade	Corrosão de Armaduras

Fonte: (AUTOR, 2018)

Sugestões Terapêuticas:

- 1) Remover o concreto afetado e os produtos da corrosão;
- 2) Reconstituir a seção original da armadura (quando houver perda de seção transversal ou rompimento);
- 3) Na presença de agentes agressivos, efetuar a correção com primer (pintura anticorrosiva);
- 4) Recuperar o componente estrutural, mantendo suas dimensões, através de argamassas poliméricas base cimento, epóxi ou poliéster.

Tabela 15 – Matriz de diagnóstico – Caso 9

ITEM	PROBLEMA PATOLÓGICO	DESCRIÇÃO POR INSPEÇÃO VISUAL	MANIFESTAÇÕES DETECTADAS	POSSÍVEL CAUSA	DIAGNÓSTICO
9		<p>Manifestação localizada em pilar no último pavimento do bloco M (CT), próximo a junta de movimentação do edifício.</p>	<p>Trinca na direção da armadura principal</p>	<p>1) Junta de movimentação estrutural mal executada. 2) Movimentação térmica da estrutura.</p>	<p>Fissura de junta movimentação (dilatação)</p>

Fonte: (AUTOR, 2018)

Sugestões Terapêuticas:

- 1) Devido a abertura da trinca, deve-se injetar resinar epóxi elástica.

Tabela 16 – Matriz de diagnóstico – Caso 10

ITEM	PROBLEMA PATOLÓGICO	DESCRIÇÃO POR INSPEÇÃO VISUAL	MANIFESTAÇÕES DETECTADAS	POSSÍVEL CAUSA	DIAGNÓSTICO
10		<p>Manifestação localizada em Laje Nervurada do bloco de Multimídia e Informática (CT).</p>	<p>Fissuras de Punção</p>	<p>1) Altura insuficiente do capitel. 2) Armadura de punção insuficiente.</p>	<p>Punção em Laje</p>

Fonte: (AUTOR, 2018)

Sugestões Terapêuticas:

- 1) Reforço com parafusos protendidos;
- 2) Reforço com colar metálico entre o pilar e a base inferior da laje.

Tabela 17 – Matriz de diagnóstico – Caso 11

ITEM	PROBLEMA PATOLÓGICO	DESCRIÇÃO POR INSPEÇÃO VISUAL	MANIFESTAÇÕES DETECTADAS	POSSÍVEL CAUSA	DIAGNÓSTICO
11		Manifestação localizada em Laje Nervurada do bloco de Multimídia e Informática (CT).	1) Trincas. 2) Mudança da seção original.	1) Fôrma de baixa qualidade ou reutilizada além da sua capacidade. 2) Escoramento inadequado.	Corrosão de Armaduras

Fonte: (AUTOR, 2018)

Sugestões Terapêuticas:

- 1) Remover o concreto afetado e os produtos da corrosão;
- 2) Na presença de agentes agressivos, efetuar a correção com primer (pintura anticorrosiva);
- 3) Recuperar a seção, mantendo sua dimensão original, através de argamassas poliméricas base cimento, epóxi ou poliéster.

Tabela 18 – Matriz de diagnóstico – Caso 12

ITEM	PROBLEMA PATOLÓGICO	DESCRIÇÃO POR INSPEÇÃO VISUAL	MANIFESTAÇÕES DETECTADAS	POSSÍVEL CAUSA	DIAGNÓSTICO
12		Manifestação localizada em Laje Nervurada do bloco de Multimídia e Informática (CT).	Elemento sem continuidade de massa de concreto.	Vibração insuficiente na concretagem.	1) Ninhos de concretagem. 2) Corrosão de Armaduras

Fonte: (AUTOR, 2018)

Sugestões Terapêuticas:

- 1) Remover o concreto afetado e os produtos da corrosão;
- 2) Na presença de agentes agressivos, efetuar a correção com primer (pintura anticorrosiva);
- 3) Recuperar a seção, mantendo sua dimensão original, através de argamassas poliméricas base cimento, epóxi ou poliéster.

Tabela 19 – Matriz de diagnóstico – Caso 13

ITEM	PROBLEMA PATOLÓGICO	DESCRIÇÃO POR INSPEÇÃO VISUAL	MANIFESTAÇÕES DETECTADAS	POSSÍVEL CAUSA	DIAGNÓSTICO
13		Manifestação localizada em Laje Nervurada do bloco de Multimídia e Informática (CT)	Eflorescência, manchas de umidade e de corrosão.	Falha no sistema de impermeabilização.	1) Lixiviação do Concreto. 2) Corrosão de Armaduras.

Fonte: (AUTOR, 2018)

Sugestões Terapêuticas:

- 1) Remover o concreto afetado e os produtos da corrosão;
- 2) Reconstituir a seção original da armadura (quando houver perda de seção transversal ou rompimento);
- 3) Na presença de agentes agressivos, efetuar a correção com primer (pintura anticorrosiva).
- 4) Recuperar a seção, mantendo suas dimensões, através de argamassas poliméricas base cimento, epóxi ou poliéster.

A seguir, serão apresentadas as patologias encontradas nos blocos do Centro de Ciências Sociais Aplicadas (CCSA) e Centro de Educação (CE), respectivamente.

Figura 8 – Bloco do Centro de Ciências Sociais Aplicadas



Fonte: (AUTOR, 2018)

Figura 9 – Bloco do Centro de Educação



Fonte: (AUTOR, 2018)

Tabela 20 – Matriz de diagnóstico – Caso 14

ITEM	PROBLEMA PATOLÓGICO	DESCRIÇÃO POR INSPEÇÃO VISUAL	MANIFESTAÇÕES DETECTADAS	POSSÍVEL CAUSA	DIAGNÓSTICO
14		Manifestação localizada em viga e pilares de bloco do CCSA.	Trinca Horizontal	1) Sujeira na execução. 2) ausência ou inadequação de tratamento de juntas de concretagem	Fissura de Junta de Concretagem

Fonte: (AUTOR, 2018)

Sugestões Terapêuticas:

- 1) Devido a abertura da trinca, deve-se injetar resina epóxi elástica.

Tabela 21 – Matriz de diagnóstico – Caso 15

ITEM	PROBLEMA PATOLÓGICO	DESCRIÇÃO POR INSPEÇÃO VISUAL	MANIFESTAÇÕES DETECTADAS	POSSÍVEL CAUSA	DIAGNÓSTICO
15		Manifestação localizada em pilar externo do Centro de Educação (CE)	Desagregação do concreto e corrosão de armadura	1) Insuficiência de cobrimento da armadura 2) Concreto de baixa qualidade (porosidade)	Corrosão de Armaduras

Fonte: (AUTOR, 2018)

Sugestões Terapêuticas:

- 1) Remover o concreto afetado e os produtos da corrosão;
- 2) Reconstituir a seção original da armadura (quando houver perda de seção transversal ou rompimento);
- 3) Na presença de agentes agressivos, efetuar a correção com primer (pintura anticorrosiva);
- 4) Reforçar o componente estrutural aumentando as dimensões originais (garantir cobrimento adequado).

6 CONCLUSÃO

As manifestações patológicas das estruturas de concreto armado podem decorrer de diversos fatores, dessa forma, a realização de estudos que buscam investigar, caracterizar e diagnosticar essa problemática são indispensáveis para que a recuperação dos elementos danificados seja feita de forma eficiente. Além de que, ao se entender as causas e origens desses problemas, pode-se traçar critérios preventivos para garantir o desempenho das edificações, corroborando com a constante evolução do processo produtivo e o correto uso das edificações.

As manifestações patológicas identificadas na Universidade Federal da Paraíba em alguns blocos, são semelhantes àquelas outras existentes em outros edifícios dessa universidade. Pode-se observar que a maioria dos problemas encontrados estão relacionados ao processo de corrosão de armaduras. Por outro lado, edificações antigas, à exemplo das do centro de tecnologia que foram construídas sob os auspícios da antiga Norma NB-1, embora com mais de 50 anos de edificadas, apresentaram um quadro patológico mais leve em relação a outras edificadas bem mais recente. Isto mostra que a atenuação da corrosão das armaduras não só requer aumentos do cobrimento conforme preceitua a norma atual, mas principalmente, de acompanhamento tecnológico e fiscalização austera.

As iniciativas de reparo devem possuir controle tecnológico e execução adequada para que os problemas não reincidam antes do previsto, resultando em manutenções ineficientes e dispendiosas, como ficou observado nas tentativas de reparo nas lajes dos blocos do Centro de Tecnologia.

Por último, cabe salientar que mesmo com a melhoria das técnicas construtivas, compatibilidade dos projetos, capacitação da mão de obra e uso de materiais de qualidade, ainda assim, as manifestações patológicas podem continuar surgindo, dentre os motivos, aqueles inerentes às características intrínsecas dos próprios materiais. Dessa forma, é preciso entender a importância do diagnóstico precoce das patologias nas edificações. Estruturas que tem seu diagnóstico precoce apresentam medidas de reparo menos onerosas e metodologias de execução mais simples. Por isso, toda edificação deve possuir um programa eficiente de inspeção e manutenção para assegurar a durabilidade da estrutura e a otimização dos recursos.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS

____. NBR 12655: **Concreto de Cimento Portland – Preparo, Controle e Recebimento – Procedimentos**. Rio de Janeiro, 2015.

____. NBR 14037: **Manual de Operação, Uso e Manutenção das Edificações – Conteúdo e Recomendações para Elaboração e Apresentação**. Rio de Janeiro, 1998.

____. NBR 6118: **Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimentos**. Rio de Janeiro, 2014.

____. NBR 15575-5: **Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, 2013.

____. NBR 15577-1: **Agregados – Reatividade álcali-agregado. Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto**. Rio de Janeiro, 2008.

ANDRADE, T. **Tópicos sobre Durabilidade do Concreto**. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005.

BOTELHO, M. H. C.; MARCHETTI, O. **Concreto Armado Eu te amo**. 7º ed vol 1: São Paulo, Blucher: 2013.

CÁNOVAS, M. F. **Patologia e Terapia do Concreto Armado**. Tradução de M. C. Marcondes; C. W. F. dos Santos; B. Cannabrava. 1ª ed. São Paulo: Ed. Pini, 1988.

CASCUDO, O. **O Controle da Corrosão de Armaduras em Concreto: Inspeção e Técnicas Eletroquímicas**. 1ª ed. Goiânia: Editora UFG, 1997.

CREMONINI, R. A. **Incidência de manifestações patológicas em unidades escolares da região de Porto Alegre: Recomendações para projeto, execução e manutenção**. Porto Alegre: UFRGS, 1988.

DO CARMO, Paulo Obregon. **Patologia das construções**. Santa Maria, Programa de atualização profissional – CREA – RS, 2003.

FIGUEIREDO, E. P. **Efeitos da carbonatação e de cloretos no concreto**. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005.

FREMAN, I. L. **Building pathology: a state-of-the-art report**. CIB 86. ed. Netherlands: [s.n.], 1993.

FUSCO, P. B. **Tecnologia do concreto estrutural**. São Paulo: Pini, 2008. 179 p.

GIBSON, E.J., Coord., **Working with the performance approach in building**. Rotterdam. CIB W060. 1982. (CIB State of the Art Report n. 64).

GNIPPER, S. F.; MIKALDO, JR. J. **Patologias frequentes em sistemas prediais hidráulicosanitários e de gás combustível decorrentes de falhas no processo de produção do projeto**. Curitiba, 2007. Disponível em: < www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=27&Cod=319 >. Acesso em: 12 de mai. de 2018.

GRAMACHO, D. R. **Caracterização E Aproveitamento Do Resíduo Sólido Proveniente Do Processamento Industrial Do Óleo De Mamona**. Dissertação, Mestrado em Química – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2012.

HELENE, P. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. São Paulo: PINI, 1992.

HELENE, P. Manual de Reparo, **Proteção e Reforço de Estruturas de Concreto**. Editora Reabilitar, São Paulo, 2003.

IANTRAS, L. C. **Estudo de Caso: Análise de Patologias Estruturais em Edificação de Gestão Pública**. Monografia, Especialização - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010. IBRACON, 2005.

LAPA, J. S. **Patologia, Recuperação E Reparo Das Estruturas De Concreto**. Monografia, Especialização em Construção Civil - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

LIMEIRA, M. das D.; FORMIGA, Z. da S. **UFPB: Implicações Políticas e Sociais de sua História. UFPB/NDIHR**. João Pessoa, n.1, abr. 1986.

MEDEIROS, M. H. F.; ANDRADE, J. J. O.; HELENE, P. **Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto**. Geraldo Cechella (Ed.). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: IBRACON, 2011.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 1994.

NITA, C. **Utilização de Pozolanas em Compósitos de Cimento Reforçados com Fibras de Celulose e PVA**. Dissertação, Mestrado em Engenharia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

OLIVARI, G. **Patologia em edificações**. São Paulo, 2003.

OLIVEIRA, D. **Levantamento de causas de patologias na construção civil**. Rio de Janeiro, 2013.

ONO, R. **Parâmetros para garantia da qualidade do projeto de segurança contra incêndio em edifícios altos**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 97-113, jan./mar. 2007.

SANTOS, C. F. **Patologia de estruturas de concreto**. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2014.

SANTUCCI, Jô. Patologia e desempenho das construções. **Crea-RS – Conselho em revista**, Porto Alegre, n. 107, p. 26-31, abr. 2015.

SITTER, W. R. **Costs for servisse life optimization. The “law of lfives”**. In: CEB-RILEM. Durability of concrete structures. Proceedings of the international workshop held in Copenhagen, on 18-20 May 1983. Copenhagen, 1984.

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

TUTIKIAN, B; PACHECO; M. **Boletín Técnico - Inspección, Diagnóstico y Prognóstico en la Construcción Civil**. Merida, 2013.