



Centro Universitário de Brasília - UNICEUB
Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas - FATECS
Curso: Engenharia Civil

IVES DA CUNHA ARRUDA

Análise de metodologias de manutenção em estruturas de concreto armado.

Brasília
2018

IVES DA CUNHA ARRUDA

Análise de metodologias de manutenção em estruturas de concreto armado.

Trabalho de Curso apresentado como um dos requisitos para a conclusão do curso de Engenharia Civil do UniCEUB - Centro Universitário de Brasília.

Orientadora: Prof^a Dra.Sc Patrícia Cristina Cunha Nunes de Oliveira Fontoura

Brasília
2018

IVES DA CUNHA ARRUDA

Análise de metodologias de manutenção em estruturas de concreto armado.

Trabalho de Curso apresentado como um dos requisitos para a conclusão do curso de Engenharia Civil do UniCEUB - Centro Universitário de Brasília.

Orientadora: Prof^a Dra.Sc Patrícia Cristina Cunha Nunes de Oliveira Fontoura

Brasília, 29 de junho de 2018

Banca Examinadora

Prof^a Patrícia Cristina Cunha Nunes de Oliveira Fontoura
Orientadora, Dra.Sc

Prof^o Sergio Luiz Garavelli, Dr. Sc
Examinador Interno

Prof^o Jocinez Nogueira, Msc.
Examinador Interno

“Tudo posso naquele que me fortalece. ”

Filipenses 4:13

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus pela oportunidade de trilhar mais um caminho de conhecimento na minha vida e por ter me abençoado para poder chegar até aqui.

Agradeço a minha família, pelo apoio e suporte em todos os momentos.

Aos amigos que sempre acreditaram no êxito dessa jornada.

A minha namorada pelo apoio incondicional.

Aos amigos de sala, especialmente aos grandes amigos Daniel Ázara e Gustavo Afonso, por todos os momentos de apoio e aprendizados que construímos juntos.

Ao UniCEUB, por proporcionar um curso de alto padrão e com uma estrutura que favorece ao aprendizado.

Agradeço aos grandes mestres, que além de ensinar conteúdos, serviram como espelhos, inspirando-me a ser um bom profissional.

Agradeço a minha orientadora Patrícia Cunha, pela dedicação e profissionalismo durante todo o período de construção desse trabalho.

RESUMO

Uma estrutura de concreto armado é projetada e construída para que seja durável, segura, funcional e tenha uma estética agradável ao usuário final durante a sua vida útil prevista. Para que esses requisitos sejam alcançados, se faz necessário que as fases de projeto e execução sejam realizadas de forma criteriosa, tendo em vista que estatisticamente são as duas fases que mais causam patologias em estruturas de concreto armado. Também é preciso que um plano constante de manutenção seja estabelecido, já que a falta deste também é responsável por uma parcela considerável dos danos encontrados. Assim sendo, a atenção às etapas de projeto, execução e manutenção irão favorecer a durabilidade e a vida útil da estrutura. São várias as metodologias de manutenção de patologias em estruturas: a proposta pela NBR5674/2012, pela instrução do Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia (IBAPE), a metodologia proposta por Lichtenstein, por Eliane Kraus de Castro, o Código Modelo MC-90 do CEB-FIP, por Klein et al. entre outras, que vão desde a análise visual das edificações a ensaios laboratoriais dos elementos afetados. As instrumentações citadas, quando usadas para o diagnóstico de patologias em estruturas de concreto armado, podem apresentar uma subjetividade nos dados apresentados e por consequência um plano de manutenção não muito eficaz, com um alto custo para a realização ou ainda não se adequam a um tipo ou outro de estrutura. Esse trabalho teve como base a análise de duas metodologias: a primeira que quantifica o dano nas estruturas e que tende a trazer dados mais precisos e ações corretivas mais eficazes e a segunda, que apresentou o método de inspeções prediais, adotados pelas normativa do IBAPE. A reflexão sobre essas metodologias foi pautada na análise de uma única obra avaliada pelos dois métodos, confrontado os dados alcançados. A conclusão foi a de que as duas metodologias podem ser aplicadas para o diagnóstico de patologias e tomada de decisões, a Metodologia de Manutenção favorece a análise global a respeito da estabilidade estrutural, trazendo uma melhor análise para edificações com bastante comprometimento, já a normativa do IBAPE, traz uma análise mais ampla para patologias de gravidade média e leve, tendo em vista que não se atem apenas a elementos estruturas, como a Metodologia de Manutenção, e estabelece uma ordem de prioridade para tomada de decisões sobre os danos encontrados.

Palavras chave: Patologia das construções, Manual IBAPE, Manutenção Predial

ABSTRACT

A reinforced concrete structure is designed and constructed to be durable, safe, functional and has a pleasant aesthetic to the end user during its expected lifetime. In order for these requirements to be met, it is necessary that the design and execution phases be performed in a judicious way, considering that they are statistically the two phases that most cause pathologies in reinforced concrete structures. It is also necessary that a constant plan of maintenance be established, since the lack of this one is responsible for a considerable portion of the found damages. Therefore, attention to the design, execution and maintenance stages favors the durability and the useful life of the structure. Several methodologies for diagnosing pathologies in structures are proposed: NBR5674/2012, Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia (IBAPE) instruction, Lichtenstein methodology, Eliane Kraus de Castro methodology, Model Code MC-90 of CEB-FIP , Klein et al. among others, ranging from the visual analysis of the buildings to laboratory tests of the affected elements. The aforementioned instrumentations, when used for the diagnosis of pathologies in reinforced concrete structures, may present a subjectivity in the presented data and consequently a maintenance plan that is not very effective, a high cost for the realization or does not conform to a type or another one of structure. This work was based on two methodologies: the first one that quantifies the damage in the structures and with that it brought more accurate data and more effective corrective actions, Castro (1994); the second, brought the methods adopted by the IBAPE - Brazilian Institute of Engineering Assessments and Skills. The reflection on these methodologies was based on the analysis of a single work evaluated by the two methods, comparing the data obtained. The conclusion was that the two methodologies can be applied to the diagnosis of pathologies and decision making, the Maintenance Methodology favors the global analysis regarding the structural stability, bringing a better analysis for buildings with a great compromise, already the norm of the IBAPE, brings a broader analysis to pathologies of medium and mild gravity, considering that they are not limited to structural elements, such as the Maintenance Methodology, and establishes an order of priority for decision making on the damages found.

Key words: Pathology of buildings, Manual IBAPE, Building Maintenance

Lista de Tabelas

Tabela 1: Classes de agressividade ambiental – CAA.....	14
Tabela 2: Correspondência entre classe de agressividade e qualidade de concreto	15
Tabela 3: Cobrimento nominal (cm) das armaduras para concreto armado	16
Tabela 4: Abertura máxima da fissura.....	21
Tabela 5: Classificação dos níveis de deterioração do elemento.....	29
Tabela 6: Classificação dos níveis de deterioração a estrutura	30
Tabela 9: Tabela GUT (Gravidade, Urgência e Tendência)	34
Tabela 7: Definição do Gde da Laje (térreo)	39
Tabela 8: Pilar	40
Tabela 10: Tabela GUT para as patologias verificadas.....	41
Tabela 11: Prioridade para manutenção dos danos	42

Lista de Figuras

Figura 1: Relação entre desempenho e vida útil de uma estrutura de concreto.....	18
Figura 2: Fases de desempenho de uma estrutura durante sua vida útil.....	19
Figura 3: Lei dos Cinco	20
Figura 4: Elementos da fissura.....	22
Figura 5: Configurações genéricas de fissuras em função do carregamento.....	23
Figura 6 Processo de carbonatação do concreto	25
Figura 7: Formulação para grau do dano com $F_p=10$	28
Figura 8: Fluxograma de cálculo do Grau de Deterioração da Estrutura	31
Figura 9: Patologias na Laje do Térreo	37
Figura 10: Patologia Pilar em quarto do 3º andar.....	37
Figura 11: Patologias na parede da escada do 3º andar.....	38
Figura 12: Patologia em janela da cozinha do 3º andar	38
Figura 13: Patologias no poço de acesso à cobertura	38

Sumário

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	12
2.1 Objetivo Geral	12
2.2 Objetivo Específico	12
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1 Durabilidade	18
3.2 Vida Útil	17
3.3 Patologia das Estruturas	20
3.3.1 Fissuração	21
3.3.2 Desagregação do Concreto	23
3.3.3 Carbonatação	24
3.3.4 Esfoliação	25
3.3.5 Corrosão da armadura	25
3.3.3 Carbonatação	25
3.4 METODOLOGIA DE DIAGNÓSTICO E MANUTENÇÃO DE ESTRUTURAS	26
3.4.1 Metodologia para manutenção de estruturas de concreto armado	26
3.4.2 Norma de Inspeção Predial Nacional	32
4. METODOLOGIA	35
5. OBJETO ANALISADO	36
5.1 Aplicação da Metodologia de Manutenção	39
5.2 Aplicação da Norma de Inspeção Predial	40
6. CONCLUSÃO	41
7. BIBLIOGRAFIA	43
APÊNDICE A – Caderno de Inspeções Adaptado	44
ANEXO A – Caderno de Inspeções	48

1. Introdução

No Brasil, é comum encontrar estruturas prediais feitas em concreto armado. Essa tecnologia de construção é empregada desde o século XVIII, mas teve seu auge a partir da década de 50 com o desenvolvimento industrial brasileiro. Estruturas mais robustas e duráveis se fizeram necessárias para atender a uma grande demanda provocada pelo crescimento populacional e do comércio, além do fato da mão-de obra, disponível em abundância na época, contemplar satisfatoriamente esse sistema construtivo.

Apesar de todo o crescimento das construções, o conhecimento sobre o concreto estava limitado apenas ao comportamento mecânico da estruturas, projetos e execuções visavam, em sua grande maioria, atender os requisitos de estabilidade da estrutura sem prever outros problemas que poderiam aparecer com o seu envelhecimento. Hoje se sabe que uma estrutura de concreto armado deve atender não apenas questões referentes a sua estabilidade, mas também devem ser funcionais, ou seja, devem estar aptas a cumprir o papel pela qual foi projetada, e deve ser esteticamente confortável.

Azevedo (2011) em seu artigo, diz que apesar de todos os avanços dos processos construtivos e na tecnologia dos materiais, a ocorrência de danos relacionados ao comportamento estrutural e na sua interação com os outros sistemas, ainda é muito recorrente. Caracterizam-se esses danos como manifestações patológicas ou simplesmente patologias.

As patologias influenciam a capacidade mecânica, funcional e/ou a estética de uma edificação, acarretando uma queda em seu desempenho. Normalmente essas patologias são decorrentes do seu envelhecimento e do uso indevido da estrutura. Outros fatores que influenciam o aparecimento de patologias estão relacionados com a qualidade dos materiais de construções usados, erros nos projetos de concepção da estrutura e no processo de execução da obra, entre outros.

As correções dos problemas patológicos de uma estrutura devem ser definidas a partir de análises sobre esses danos. As análises são pautadas por uma série de normas e metodologias, que irão informar a intensidade dos danos encontrados e a urgência para as intervenções necessárias.

Nesse trabalho, será apresentada a Metodologia de Manutenção de Estruturas de Concreto Armado, que quantifica os danos na estrutura, trazendo um caráter mais

objetivo para análise desses danos, e a Norma de Inspeção Predial Nacional, que traz um maior detalhamento da NBR 5674:2-12, a respeito dos processos de inspeções e classificação dos danos em edificações. As duas metodologias serão aplicadas em um edifício residencial e os resultados obtidos serão comparados.

2. Objetivos

2.1 Objetivo geral

O objetivo desse trabalho é realizar um estudo comparativo entre metodologias e normas de diagnóstico e manutenção de estruturas.

2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

- Descrever a Metodologia para Manutenção de Estruturas de Concreto Armado, no estudo apresentado por Eliane Kraus de Castro, e a Norma de Inspeção Predial Nacional do Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia.
- Apresentar resultados da aplicação das duas metodologias analisadas em um edifício residencial.

3. Revisão Bibliográfica

3.1 Durabilidade

Uma estrutura de concreto armado é projetada para ser durável. Deve resistir a fatores ambientais, ataques químicos e aos carregamentos impostos à estrutura, dentre outros fatores. Segundo CARVALHO e FILHO (2016), para que se atinja a durabilidade esperada, é preciso que se entenda não como um fator isolado, mas como um conjunto de medidas importantes, que devem ser obedecidas para que a edificação conserve sua segurança, estabilidade e comportamento adequado em serviço. Para se entender esse conjunto de medidas, a ABNT NBR 6118:2014, estabelece requisitos mínimos que deverão ser observados durante as fases de construção da estrutura e de sua posterior utilização. Esses requisitos são divididos em três grupos:

- **Grupo 01:** capacidade resistente dos elementos construtivos.
- **Grupo 02:** desempenho em serviço da estrutura
- **Grupo 03:** durabilidade (resistência à influência do ambiente)

O grupo 01 está associado à ruptura da estrutura, o grupo 02 se relaciona a danos como fissuração excessiva, deformações inconvenientes e vibrações indesejáveis e o grupo 03 está relacionado com a conservação da estrutura, para o qual não há a necessidade de reparos com altos custos. (CARVALHO e FILHO, 2016)

Os estudos relativos a durabilidade de uma estrutura, estão associados a correspondência entre os fatores do ambiente, o concreto e a geometria da estrutura. A deterioração do concreto em virtude das ações ambientais ou ainda de falhas na concepção estrutural, comprometerá de forma direta a durabilidade da edificação como um todo. Somando-se aos fatores que afetam a durabilidade das estruturas citados acima, tem-se os materiais utilizados em obra como elementos que podem gerar falhas nas estruturas. (MEDEIROS et al., 2011)

A durabilidade nas estruturas de concreto tem como condicionante, à sua capacidade resistir aos efeitos do ambiente em que ela se encontra. Esses efeitos vão agir na edificação independentemente de outros fatores. As ações químicas e físicas

do local fazem parte de um conjunto de classes de agressividade, que segundo a NBR 6118:2014, se dividem em quatro grupos, conforme descritos na Tabela 1.

Ao se observar as classes de agressividade ambiental, é possível prever como os elementos da estrutura irão sofrer deteriorações oriundas do transporte de líquidos e gases, presentes no ambiente, para dentro do concreto. (SOUZA e RIPPER, 1998)

Tabela 1: 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 ^{1 2}	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹	Grande
		Industrial ^{1 2}	
IV	Muito Forte	Industrial ^{1 3}	Elevado
		Respingos de maré	

¹ Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível 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)

² Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes de estruturas protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.

³ Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose de papel, armazém de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: ABNT NBR 6118:2014

O avanço e a melhora nas tecnologias de produção de materiais, que vem desde o final do século XIX, tem se apresentando de maneira positiva dentro da construção civil. A inserção do cimento Portland ganha importância no processo construtivo, pois é tido como o principal aglomerante para a fabricação do concreto, conferindo-lhe boa resistência mecânica (AZEVEDO, 2011).

Existem características do concreto que devem ser observadas para que a durabilidade da estrutura não seja comprometida:

- As classes de resistência de concreto, atribuídas para diferentes tipos de carregamento.
- A relação água/cimento, que influencia na qualidade do concreto, por estar associada à porosidade deste, quando endurecido. A Tabela 2,

apresenta a relação entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto, segundo a NBR 6118:2014.

- Outras características como a densidade, compacidade, permeabilidade, capilaridade e fissuração, também estão relacionadas com a quantidade de água misturada no cimento e agregados, conferindo qualidade ao concreto. (SOUZA e RIPPER, 1998)

Tabela 2: Correspondência entre classe de agressividade e qualidade de concreto

Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$
NOTAS					
1 o concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.					
2 CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.					
3 CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.					

Fonte: ABNT NBR 6118:2014

Outros itens, referentes ao uso do concreto no elemento estrutural devem ser observados afim de se evitar danos: dosagem do concreto e da mistura, transporte, lançamento, adensamento, cura, remoção de formas e escoramentos, junta de concretagem, junta de dilatação e acabamento das superfícies do concreto armado.

Apesar de todos os avanços na tecnologia de materiais, não é incomum a presença de danos, devido a problemas de composição ou de mal uso dos materiais na construção. Essas falhas são decorrentes da sua utilização fora das especificações previstas em norma, fazendo com que o material não resista às ações ambientais ou que seu desempenho seja menor que o previsto, afetando diretamente a durabilidade da estrutura.

Além da análise da agressividade do ambiente e das características dos materiais, a elaboração do projeto de uma edificação deve ser feita de maneira que favoreça sua durabilidade, contemplando as recomendações normativas. (AZEVEDO, 2011)

Conforme SOUZA e RIPPER (1998), as fases de projeto, preliminar ou executivo, vão apresentar falhas no futuro, se baseados em estudos preliminares deficientes ou anteprojetos equivocados. Falhas em estruturas decorrentes da fase

de projeto, podem estar relacionadas à elementos inadequados, falta de compatibilização entre estrutura e arquitetura, especificação inadequada dos materiais, detalhamento insuficiente ou apresentando erros, detalhes construtivos de difícil execução, representações fora de um padrão, erros de dimensionamento.

A inobservância dos requisitos de norma ao se projetar uma edificação, pode provocar problemas na estrutura que vão desde a ruptura dos elementos até a diminuição da capacidade de serviço por conta de deformações ou fissurações excessivas. (CARVALHO e FILHO, 2016)

Um item importante, para que sejam evitados danos nos elementos estruturais da construção, segundo a NBR 6118:2014, é o cobrimento das armaduras. Esse requisito deve ser perfeitamente cumprido na fase de execução da estrutura, caso contrário a armadura poderá ficar exposta às ações das intemperes do ambiente. A Tabela 3 apresenta o cobrimento mínimo para diferentes elementos estruturais e sua relação com as classes de agressividade ambiental.

Tabela 3: Cobrimento nominal (cm) das armaduras para concreto armado

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV ³
		Cobrimento nominal em mm			
Concreto armado	Laje ²	20	25	35	45
	Pilar e Viga	25	30	40	50
Concreto protendido ¹	Todos	30	35	45	55

¹ Cobrimento nominal da armadura passiva que envolve a bainha ou os fios, cabos e cordoalhas, sempre superior ao especificado para o elemento de concreto armado, devido aos riscos de corrosão fragilizante sob tensão.

² Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassas de revestimento e acabamento tais como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros tantos, as exigências desta tabela podem ser substituídas por 7.4.7.5, respeitando um cobrimento nominal de ≥ 15 mm.

³ Nas faces inferiores de lajes e vigas de reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras em ambientes química e intensamente agressivos, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Além do cobrimento, a abertura de fissuras deve ser observada, não devendo ultrapassar valores entre 0,2 a 0,4 mm, caso contrário, podem gerar problemas na estrutura por conta da infiltração de água.

Após a fase construtiva, a edificação é entregue ao usuário, com isso é dado a ele a responsabilidade sobre os cuidados a serem tomados, para que as características da estrutura sejam mantidas pelo tempo estabelecido em projeto. Caso ocorra um uso indevido ou não sejam obedecidas as ações de prevenção programadas, o desempenho da edificação será certamente afetado.

Com a entrega do Manual do Proprietário, que é um conjunto de orientações claras e precisas, para o usuário do imóvel, os danos referentes ao uso da estrutura tendem a ser menos recorrentes. Esse manual contém todas as orientações de uso e os projetos da instalação (arquitetônicos, instalações, fundações, estruturas, entre outros). Cabe ao usuário cumprir com os requisitos expostos no manual, favorecendo assim a durabilidade da edificação. (AZEVEDO, 2011)

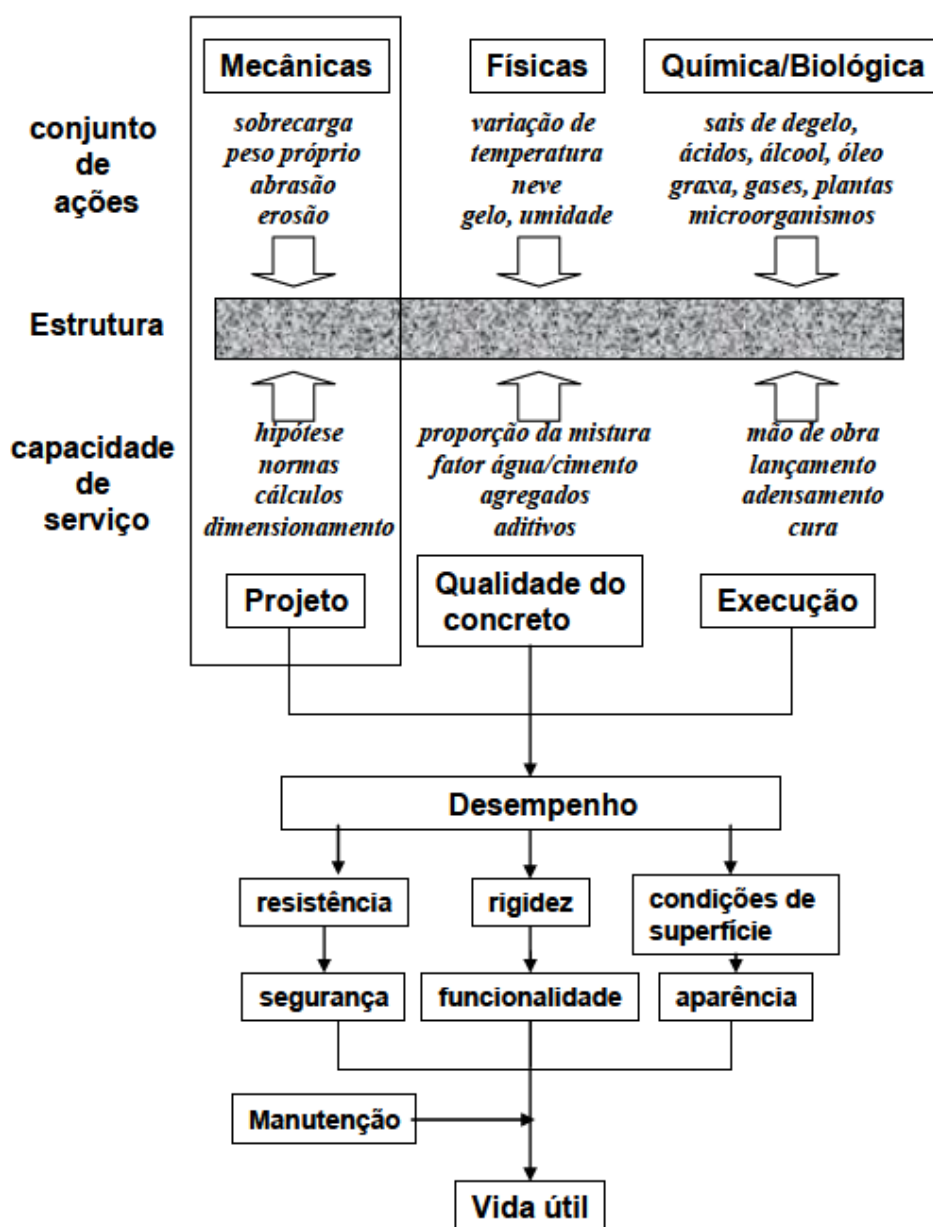
Ainda no que se refere ao uso da estrutura, tem-se que o excesso de carregamento pode gerar danos. Não é incomum em edificações residenciais, que os usuários façam uma mudança de destinação para uma instalação comercial, onde a alocação de equipamentos e produtos promovam um aumento de carga, provocando danos a estrutura. Outros fatores para desenvolvimento de danos, é a utilização de produtos químicos nocivos à estrutura, as modificações indevidas e a falta de manutenção preventiva.

A vida útil está associada ao desempenho, conforme representada na Figura 1, relacionando o conjunto de ações que afetam a estrutura, como as ações mecânicas, físicas, químicas e biológicas e as associa com os elementos capazes de resistir a essas ações, como a elaboração dos projetos, a qualidade do concreto a ser usado e a execução da estrutura. A relação das ações com a capacidade de serviço, colaboram para o desempenho satisfatório, no qual a estrutura deve se apresentar resistente, rígida, segura, funcional e com estética agradável. Para que o desempenho seja satisfatório durante todo o período de vida útil previsto, se faz necessário um plano de manutenção periódica na estrutura.

3.2 Vida Útil

Se entende por vida útil de uma estrutura, o período de tempo desejado para que a mesma consiga desempenhar as funções para as quais foi projetada, sem que se tenha que passar por grandes intervenções, como uma manutenção corretiva, por exemplo. A Figura 2 representa a relação entre o desempenho da estrutura e a sua vida útil, e como as intervenções podem garantir que o desempenho mínimo seja mantido.

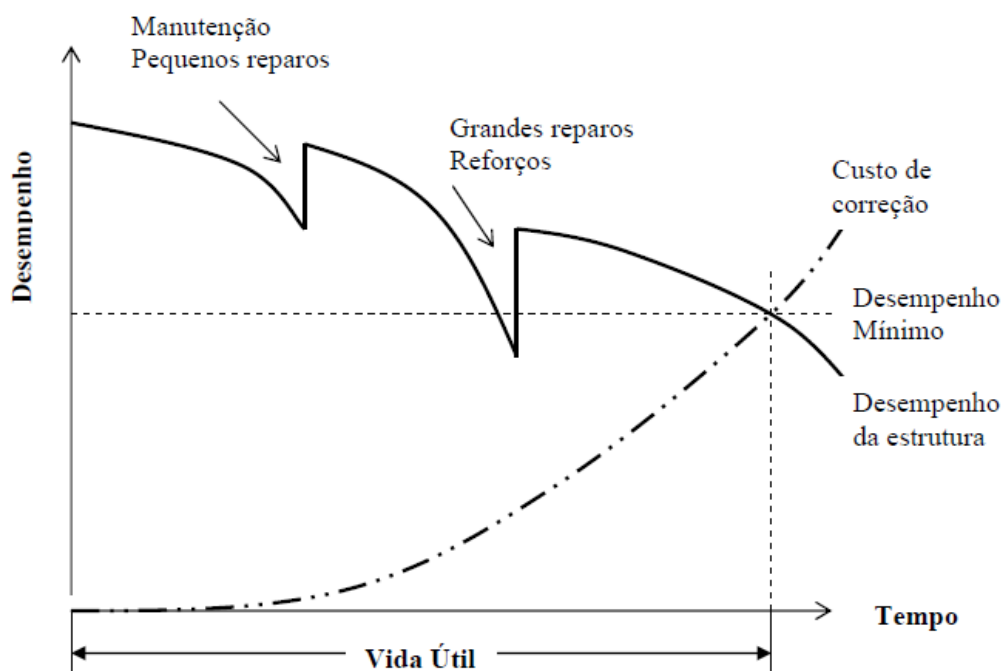
Figura 1: Relação entre desempenho e vida útil de uma estrutura de concreto



Tem-se como ideia dentro das normativas, que a vida útil de projeto (VUP), gira em torno de 50 a 60 anos, porém essa determinação é um tanto quando subjetiva, tendo em vista que uma série de fatores podem alterar, para mais ou para menos, esse período. (MEDEIROS et al., 2011)

O fator determinante para se estabelecer o fim da vida útil é a corrosão da armadura, que se dá por carbonatação ou por difusão de cloretos, tendo em vista que pode estar ocorrendo, sem que a estrutura apresente fissuras excessivas ou até mesmo colapso de elementos estruturais. (MEDEIROS et al., 2011)

Figura 2: Fases de desempenho de uma estrutura durante sua vida útil

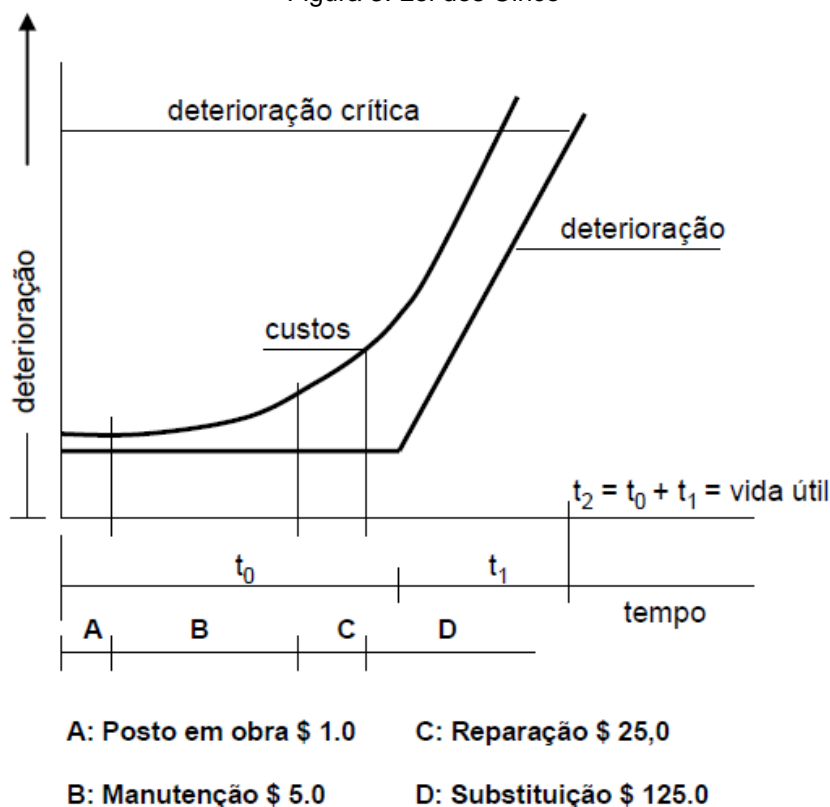


Fonte: BOLDO, 2002

Um sistema adequado de manutenção favorece a vida útil e o desempenho de uma estrutura, porém os custos de manutenção crescem exponencialmente a medida em que se torna tardia. Os valores a serem gastos com manutenção, podem ser analisados pela Lei dos Cinco, representada pela Figura 3, desenvolvida por Sitter (1986 *apud* CASTRO, 1994, p.10). Essa formulação, prevê os custos de manutenção dentro de uma progressão geométrica de ordem cinco. Exemplificado, se 1 dólar é gasto, por unidade de área construída, nas fases de projeto e execução, as manutenções periódicas equivaleriam a 5 dólares, durante toda a vida útil da estrutura. Na falta de um plano de manutenção, reparos emergenciais seriam necessários,

acarretando um custo de 25 dólares por unidade de área, e sem manutenção periódica ou mesmo emergenciais, os custos seriam de 125 dólares, por unidade de área, para um grande reparo ou mesmo substituição do elemento com dano. (CASTRO, 1994)

Figura 3: Lei dos Cinco



Fonte: Castro (1994)

3.3 Patologia das Estruturas

As patologias, como objeto desse estudo, estão relacionadas às falhas em estruturas. São mais recorrentes devido a falhas nas fases de projeto e execução. Em uma breve comparação, na Europa, casos de patologia se equilibram nessas duas fases, enquanto no Brasil, a execução é a fase em que mais se encontra erros que geram falhas nas estruturas. (CASTRO, 1994)

No estudo das patologias em edificações os danos devem ser caracterizados, determinando a origem e o grau em que a estrutura foi afetada, e medidas de correção devem ser adotadas. Em alguns casos, não se pode associar uma patologia a uma única causa, tendo em vista que, uma falha pode ter sua origem na associação de várias patologias diferentes. Nesse trabalho, serão apresentadas patologias comuns em estruturas de concreto armado.

3.3.1 Fissuração

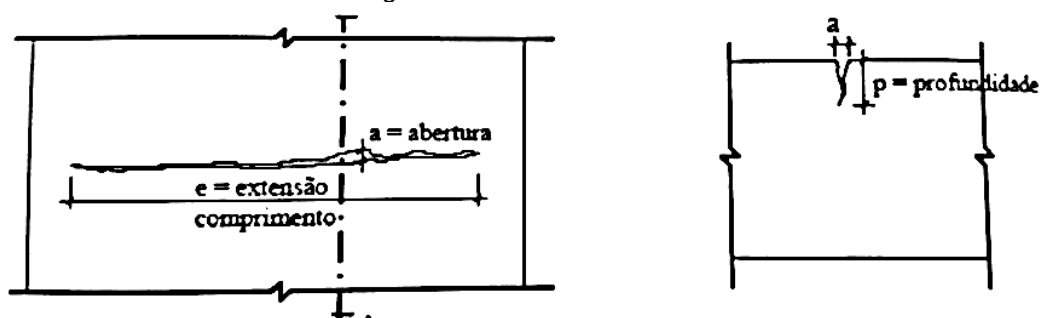
Fissuras são aberturas na estrutura de concreto, causadas pela retração do concreto (plástica ou térmica), expansão devido a reações químicas ou por tensões de tração devido ao carregamento da estrutura, essa última ocorre quando as tensões são maiores que a capacidade resistente do concreto.

As fissuras possuem três características geométricas a serem analisados: abertura, comprimento e profundidade, conforme representados na Figura 4. A abertura da fissura é abordada na ABNT NBR 6118:2014 como situação normal em elementos de concreto, porém, deve se garantir que as aberturas não ultrapassem espessuras máximas em relação a classe de agressividade ambiental na qual a edificação se encontra (Tabela 4)

Tabela 4: Abertura máxima da fissura

Tipo de estruturas de concreto	Classe de agressividade ambiental (CAA) e tipo de protensão	Exigência relativas à fissuração	Combinação de ações em serviços a utilizar
Concreto simples	CAA I a CAA IV	Não há	---
Concreto armado	CAA I	ELS-W $w_k \leq 0,4\text{mm}$	Combinação frequente
	CAA II e CAA III	ELS-W $w_k \leq 0,3\text{mm}$	
	CAA IV	ELS-W $w_k \leq 0,2\text{mm}$	
Concreto protendido nível 1 (protensão parcial)	Pré-tração com CAA I ou Pós-tração com CAA I e II	ELS-W $w_k \leq 0,2\text{mm}$	Combinação frequente
Concreto protendido nível 2 (protensão limitada)	Pré-tração com CAA II ou Pós-tração com CAA III e IV	Verificar as duas combinações abaixo	
		ELS-F	Combinação frequente
		ELS-D ¹	combinação quase permanente
Concreto protendido nível 3 (protensão completa)	Pré-tração com CAA III e IV	Verificar as duas combinações abaixo	
		ELS-F	Combinação rara
		ELS-D ¹	combinação frequente
¹ A critério do projetista, o ELS-D pode ser substituído pelo ELS-DP com $a_p = 25\text{mm}$			
NOTAS 1 As definições de ELS-D encontram-se em 3.2. 2 Para as classes de agressividade ambiental CAA III e IV exige-se que as cordoalhas não aderentes tenham protensão especial na região de suas ancoragens.			

Figura 4: Elementos da fissura



Fonte: FILHO e HELENE, 2011

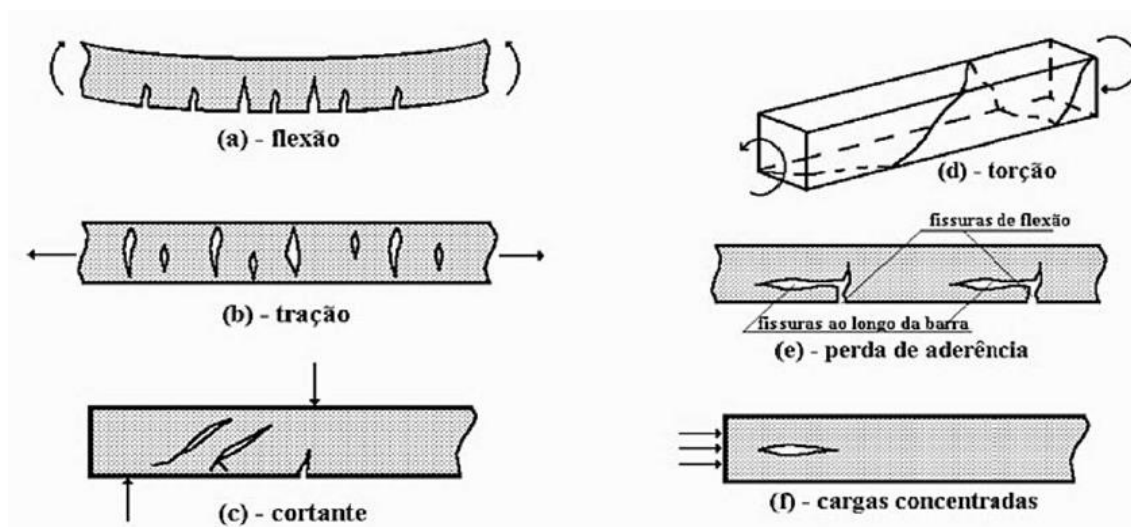
A fissuração proveniente da retração plástica ou térmica é comum nos elementos recém concretados, ocorre devido a evaporação excessiva da água do concreto ainda no período da pega. Outra causa de fissuração é no assentamento do concreto, cuja fissuras são provocadas pela falta de aderência do concreto nas barras. As fissuras causadas por retração do concreto podem não ser tão preocupantes no que se refere à segurança da estrutura, tendo em vista que não apresentam crescimento no decorrer do tempo, já a fissuração causada por pela falta de aderência do concreto na barra são mais nocivas, pois acompanham a linha de desenvolvimento da armadura, e ocorrendo um agrupamento dessas fissuras, acarretará uma perda total de aderência, facilitando o acesso direto de agentes agressores que causam corrosão nas armaduras. (SOUZA e RIPPER, 1998)

Quando o carregamento atuante, no elemento de concreto, for maior que sua capacidade resistiva, podem ocorrer fissuras. A Figura 5 relaciona tipos de fissurações ocasionadas pelos diferentes carregamentos que atuam em uma viga, por exemplo. As aberturas são crescentes, principalmente nas zonas de maior sollicitação da estrutura. Esse crescimento é observado pela progressão do comprimento e da abertura da fissura e pelo surgimento de novas fissuras. (FILHO e HELENE, 2011)

A nível de projeto, a verificação do estado limite de formação das fissuras (ELS-F) e o estado limite de aberturas das fissuras (ELS-W) são de extrema importância, pois a partir de suas análises, o projetista prevê como as fissuras irão se comportar nos elementos de concreto. Segundo Carvalho e Filho (2016, p.181) ao “[...] ELS-W

atribui-se uma maior importância, pois sua análise demonstra a situação em que as fissuras se apresentam com aberturas iguais ao máximo especificado.”

Figura 5: Configurações genéricas de fissuras em função do carregamento



Fonte: SOUZA e RIPPER,1998

3.3.2 Desagregação do Concreto

Desagregação do concreto é um tipo de patologia que interfere na sua propriedade monolítica, onde há a separação física de placas de concreto, segundo SOUZA (1998). Com a peça desagregada, ocorre uma perda da sua capacidade resistente. Esse tipo de patologia, em muitos casos, está associado com a fissuração. Um conjunto de fissuras em uma peça pode levar ao descolamento de placas de concreto, principalmente no cobrimento da armadura.

Durante a fase de execução da edificação, pode ocorrer desagregação do concreto, pela formação de juntas de concretagem não previstas, oriundas de movimentação lateral das fôrmas ou fuga da nata do cimento através das fôrmas. A desagregação se dá pela formação de fissuras, enfraquecimento do elemento devido às juntas de concretagem, falta de adesão à armadura ou com o enfraquecimento do próprio concreto. (SOUZA e RIPPER, 1998)

Apesar de ser um material com rigidez considerável, o concreto pode sofrer desagregação por meio de processos de corrosão, no qual ocorrerá a destruição de sua estrutura por meio de reações químicas entre seus componentes e os ácidos, sais e bases presentes no meio ambiente. A corrosão do concreto classifica-se em três

formas: corrosão por lixiviação, corrosão química devido a reação iônica e corrosão por expansão. Estas, dependem do elemento químico que irá reagir com o concreto.

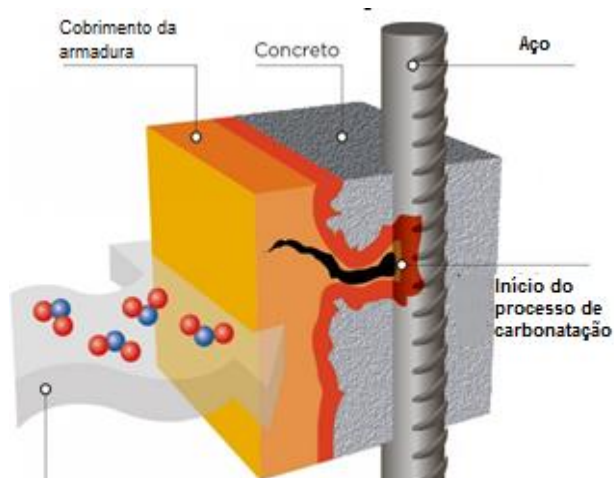
3.3.3 Carbonatação

Segundo CUNHA e HELENE (2001), a carbonatação é um dos principais fatores que inicia a corrosão das armaduras, afetando com isso a vida útil da estrutura. Essa patologia apresenta interferência na estabilidade global e na segurança da edificação, além de onerar de forma significativa os processos de manutenção.

A carbonatação surge a partir da dissolução do CO_2 , presente no ar atmosférico, sobre o cimento hidratado, ocorrendo a reação e formação do carbonato de cálcio, substância química que reduz o pH do concreto. Concretos muito porosos ou fissurados, tem a tendência apresentar um alto grau de carbonatação em ambientes com alta concentração de CO_2 . A carbonatação, conforme representado na figura 6, atinge a armadura, quebrando sua película protetora e corroendo-a. (SOUZA e RIPPER, 1998)

A identificação de um elemento de concreto sob efeito de carbonatação, pode ser feito por análises visuais e técnicas eletroquímicas. As técnicas eletroquímicas se apresentam mais eficientes, pois além do caráter não destrutivo e da rapidez, apresentam resultados satisfatórios, mesmo que o elemento não tenha sofrido grande deterioração, informando quantitativamente e qualitativamente o estado superficial do aço e a taxa de corrosão da armadura. Já as análises visuais, são realizadas a partir do emprego de substâncias químicas na área de concreto afetada. São utilizadas a fenolftaleína e a timolftaleína, que através de reações químicas com a solução alcalina do concreto, conseguem apresentar, através de coloração característica, mudanças de pH do concreto devido a ação do dióxido de carbono. As desvantagens das técnicas visuais é que, normalmente, são ensaios destrutivos e os resultados apresentam apenas o teor de carbonatos presentes. (CUNHA e HELENE, 2001)

Figura 6 Processo de carbonatação do concreto



Fonte: D.ANTÓNIO, 2014

3.3.4 Esfoliação

A esfoliação é uma patologia que se caracteriza pelo aparecimento de lascas na camada superficial do concreto. Podem ocorrer por diversos motivos, entre eles choques aleatórios, por corrosão da armadura, por expansão de sulfatos presentes em águas, por pressão no interior do concreto. (CASTRO, 1994)

3.3.5 Corrosão da armadura

A corrosão da armadura em um elemento de concreto é uma patologia que reduz a vida útil da estrutura, gera altos custos de manutenção, gera instabilidade, falta de segurança e desconforto estético. A corrosão das armaduras apresenta sinais visuais característicos com manchas marrom-avermelhadas ou esverdeadas sobre a superfície do elemento.

O cobrimento insuficiente do elemento, associado com um processo de carbonatação são fatores que iniciam a patologia. O cobrimento funciona como uma barreira física e química (por meio da reserva alcalina do concreto), afim de evitar que elementos agressivos do ambiente atinjam a armadura diretamente. Já a carbonatação altera o pH alcalino da armadura, causando uma instabilidade química do filme de óxidos passivantes, que impedem o processo de corrosão. (CUNHA e HELENE, 2001)

3.4 Metodologias de Diagnósticos e Manutenção de Estruturas

O detalhamento da análise de patologias em estruturas de concreto é crucial para se determinar o grau do dano. O levantamento de dados deve levar em consideração:

- O ambiente, mais especificamente a classe de agressividade,
- Observação e medição dos elementos afetados, utilizando instrumentação para aferir recalques e deformações, análises de agentes agressores (cloretos, carbonatação), medição de fissuras, identificação de corrosão da armadura.
- Análises dos projetos da edificação, da execução da construção e do seu uso. (SOUZA e RIPPER, 1998)

Após o levantamento, os dados obtidos devem ser minuciosamente analisados. A origem e a intensidade dos danos presentes na estrutura devem ser identificadas.

As técnicas de análises de danos, o passo a passo de inspeções em edificações, são parte integrante das metodologias de manutenção de estruturas e de normas, que ao longo de vários anos vêm se aprimorando, com o objetivo de diminuir a subjetividade das análises dos dados.

Este trabalho tem por objetivo analisar uma metodologia e uma norma de manutenção de estruturas de concreto armado. Será apresentada a Metodologia de Manutenção de Estruturas de Concreto Armado proposta por Eliane Kraus de Castro e a Norma de Inspeção Predial, elaborada pelo Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia – IBAPE.

3.4.1 Metodologia para manutenção de estruturas de concreto armado

A metodologia para manutenção de estrutura de concreto armado apresentada nesse trabalho, tem por base a proposta desenvolvida por Eliane Kraus de Castro em seu trabalho de mestrado pela Universidade de Brasília, no ano de 1994. A proposta busca estabelecer um grau de dano para as patologias. Seu desenvolvimento partiu da metodologia de Klein et ali (1991), normalmente aplicada em obras de arte

especiais, mas com algumas alterações, afim de que se adequem a análises das edificações convencionais. Essas adequações, se basearam no modelo desenvolvido por Tuutti (1992), o qual faz um estudo do processo de corrosão de armaduras.

A aplicação da metodologia parte, primeiramente, de um processo de inspeção da edificação, para isso, utiliza-se um caderno de inspeções, apresentado no Anexo A desse trabalho. Ensaio sobre os elementos da estrutura poderão ser aplicados para obter uma resposta rápida sobre ações de carbonatação do concreto, presença de cloretos e deficiências no revestimento. Os referidos ensaios não foram realizados para a elaboração desse trabalho.

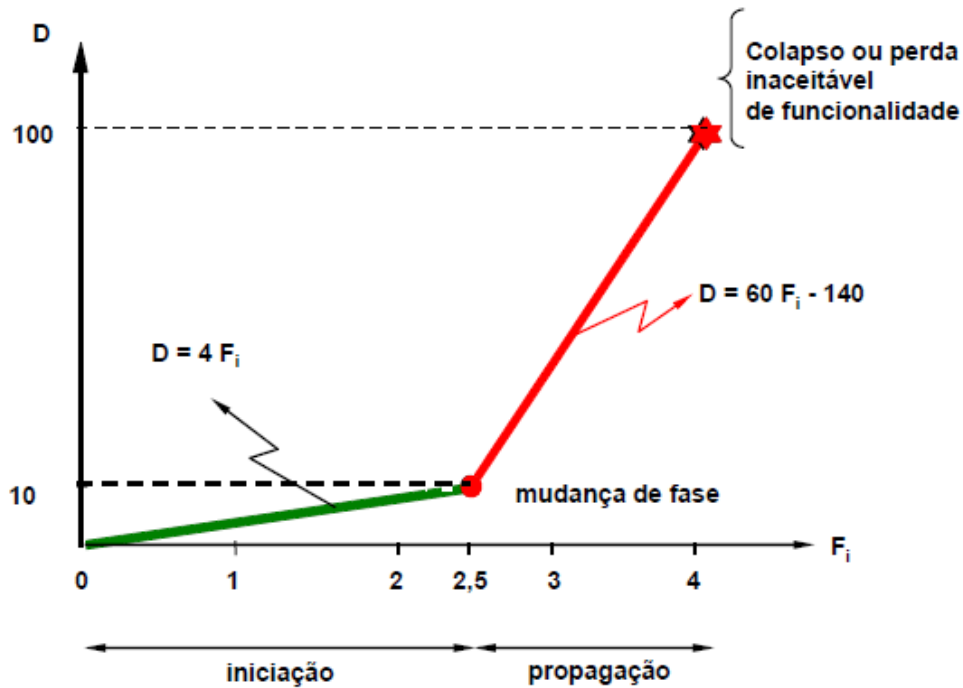
De posse das informações obtidas nas inspeções, são montadas matrizes de desempenho, nas quais os elementos são divididos em famílias (pilares, vigas, lajes, cortinas, escadas e rampas, reservatórios superior e inferior, blocos, juntas de dilatação e elementos de composição arquitetônica). Dentro de cada família, são listadas as manifestações patológicas mais comuns e mais relevantes. Estas são associadas a um fator de ponderação de dano, que irá quantificá-la mediante às condições de estética, funcionalidade e segurança previstas nos manuais ou normas. Esse fator, tem sua pontuação variando de 1 a 10. Na matriz de cada elemento, é atribuído ao dano um fator de intensidade, que o classifica de acordo com a gravidade e a manifestação do dano sobre o elemento. Esse fator é dado a partir de uma pontuação de 0 a 4 pontos, sendo o fator de intensidade 4 o mais crítico.

O grau do dano (D) depende diretamente do fator de ponderação (Fp) e do fator de intensidade (Fi). Para se chegar a uma formulação geral sobre o grau do dano, analisa-se graficamente, conforme representado na Figura 7, os dados de uma patologia, dentro de um fator de ponderação mais desfavorável, $Fp=10$.

A iniciação e a propagação do dano são dados mediante ao fator de intensidade, em uma escala de 0 a 4. A mudança de fase, representada na Figura 7, é indicada sob um valor intermediário (2,5) entre uma lesão tolerável (2,0) e uma lesão grave (3,0). Com isso, chega-se às seguintes formulações para determinação do grau do dano:

$$D = 0,4 Fi \cdot Fp, \quad \text{para } Fi \leq 2,5$$

$$D = (6 Fi \cdot 14) \cdot Fp, \quad \text{para } Fi > 2,5$$

Figura 7: Formulação para grau do dano com $F_p=10$ 

Fonte: CASTRO, 1994

O estado mais crítico para o grau do dano é $D=100$, que corresponde a um $F_i=4$. Para $D<10$, não são necessárias intervenções imediatas no elemento, porém, para graus de danos próximos ao valor 10, já se faz necessário o planejamento de manutenções preventivas, as quais irão evitar a propagação e a intensificação do dano. Para $D>10$, intervenções passam a ser necessárias e imprescindíveis, pois a propagação do dano se dá de forma mais rápida e aguda.

Um próximo passo é a definição do grau de deterioração do elemento (Gde). É levando em consideração, além do valor atribuído para o grau do dano, o número de danos (m) detectados no elemento. As seguintes expressões determinam o grau de deterioração:

$$Gde = Dmax, \quad \text{para } m \leq 2$$

$$Gde = Dmax + \frac{\sum_{i=1}^{m-1} D(i)}{m-1}, \quad \text{para } m > 2$$

As expressões acima indicam que para a quantificação do dano de um elemento, deve ser levado em consideração o dano de maior grau. Caso o número de danos encontrados na inspeção do elemento seja maior que dois, deve-se somar ao grau de dano máximo, a média aritmética dos demais danos. A partir do cálculo do *Gde*, é possível se estabelecer medidas a serem adotadas em relação aos danos do elemento analisado. A Tabela 5 apresenta uma escala que relaciona essas medidas e o grau de deterioração encontrado.

Tabela 5: Classificação dos níveis de deterioração do elemento

Nível de Deterioração	Gde	Medidas a serem adotadas
Baixo	0-15	Estado aceitável
Médio	15-50	Observação periódica e necessidade de intervenção a médio prazo
Alto	50-80	Observação periódica minuciosa e necessidade de intervenção a curto prazo
Crítico	>80	Necessidade de intervenção imediata para restabelecer funcionalidade e/ou segurança

Fonte: CASTRO, 1994

É necessário que se determine também o grau de deterioração da família do elemento, que é dado pela média aritmética dos graus de deterioração dos elementos mais danificados dentre os analisados para cada família. Na formulação, tomou-se por base a ocorrência de todos os danos possíveis no elemento, com um fator de intensidade $F_i=2,5$ (valor correspondente de mudança da fase de iniciação para a propagação do dano. Dentro dessa hipótese, obteve-se um *Gde* aproximadamente igual a 15. Definiu-se, portanto, esse valor como limite, pois traz consistência nos resultados de danos e nas intervenções sobre os elementos mais danificados. Para família de elementos que apresentem $Gde < 15$ para todos os elementos analisados, o $Gdf = 0$. A seguinte expressão, traz o cálculo do grau de deterioração da família, com n sendo o número de elementos com $Gde \geq 15$:

$$Gdf = \frac{\sum_{i=1}^n Gde(i)}{n}, \text{ para } Gde \geq 15$$

A parte final da metodologia é a definição do grau de deterioração da estrutura como um todo, onde é levando em consideração os diferentes graus de deterioração de todas as famílias de elementos. Esses graus, ainda são afetados por um fator de relevância estrutural da família de elementos (Fr). Esse fator evidencia a importância

de cada família no conjunto da obra. Os fatores de relevância são definidos, dentro da metodologia, da seguinte forma:

- Elemento de composição Arquitetônica.....**Fr: 1,0**
- Reservatório Superior.....**Fr: 2,0**
- Escada/Rampa, Reservatório Inferior, Cortinas, Lajes Secundária.....**Fr: 3,0**
- Lajes, Fundações, Vigas Secundárias, Pilares Secundários.....**Fr: 4,0**
- Vigas e Pilares Principais.....**Fr: 5,0**

A formulação para definir o grau do dano da estrutura associa o grau de deterioração da família, juntamente com o fator de relevância estrutura de cada família, e sum segundo fator, k , que corresponde ao número de elementos presentes na edificação. Com isso, o grau do dano da estrutura é definido a parti da expressão abaixo:

$$Gd = \frac{\sum_{i=1}^k Fr(i).Gde(i)}{\sum_{i=1}^k Fr(i)}$$

Os valores obtidos para o grau do dano, fornecem parâmetros para classificação do nível de deterioração da estrutura. A Tabela 6, indica qual a situação global da estrutura e quais medidas interventivas deverão ser tomadas.

Tabela 6: Classificação dos níveis de deterioração a estrutura

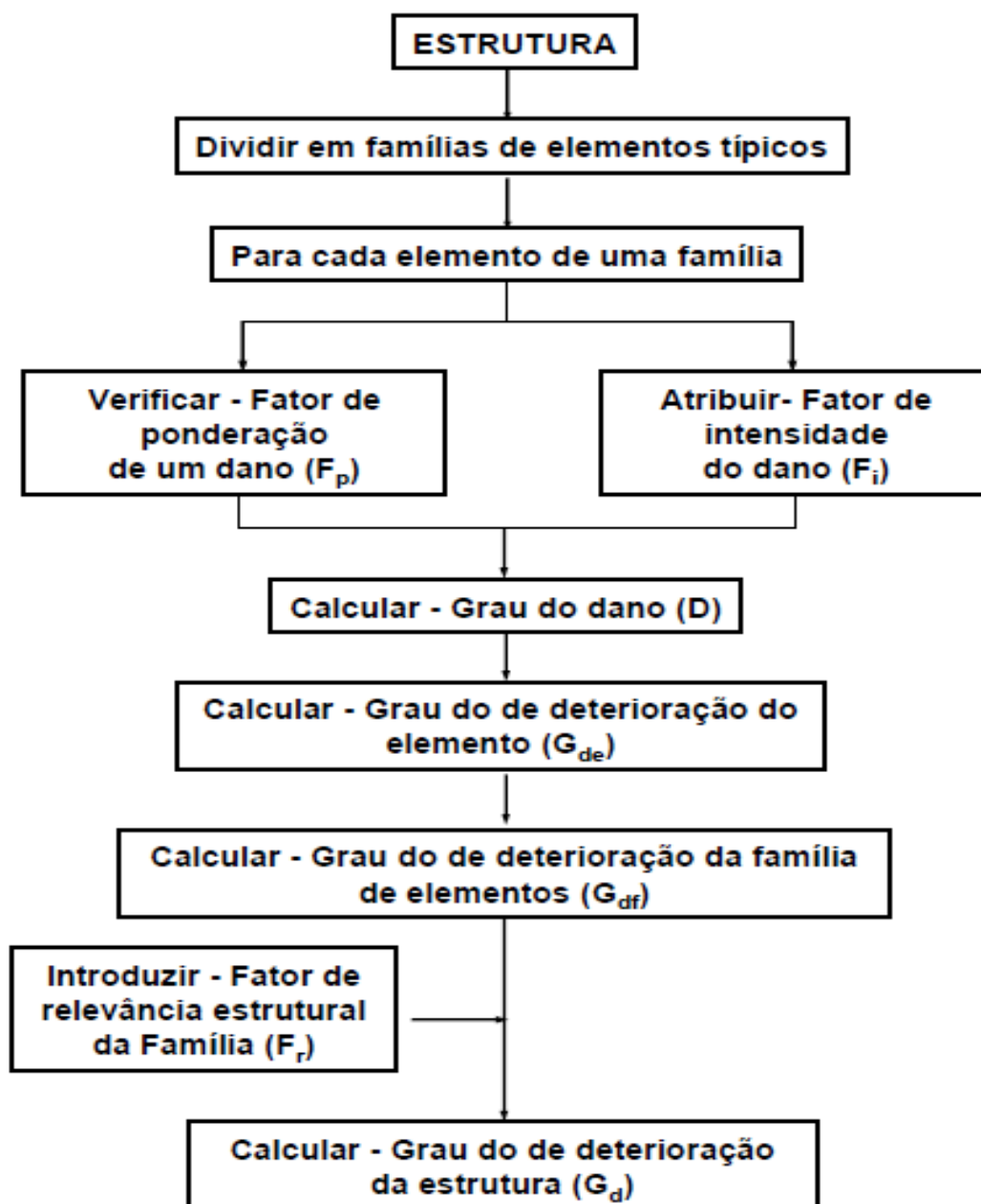
Nível de Deterioração	Gd	Medidas a serem adotadas
Baixo	0-15	Estado aceitável
Médio	15-40	Observação periódica e necessidade de intervenção a médio prazo
Alto	40-60	Observação periódica minuciosa e necessidade de intervenção em curto prazo
Crítico	>60	Necessidade de intervenção imediata para restabelecer funcionalidade e/ou segurança

(CASTRO, 1994)

As medidas a serem adotadas não devem levar em consideração apenas os resultados obtidos para o grau do dano da estrutura, pois muitas vezes, a estrutura

como um todo pode apresentar um estado aceitável, porém, um ou outro elemento da estrutura deve receber uma intervenção a médio ou curto prazo, conforme os dados obtidos através do cálculo de grau de deterioração do elemento, ou seja, a análise global é importante, mas a atenção aos elementos de forma isolada também deve ser levada em consideração. O fluxograma completo para a definição do grau do dano é representado pela Figura 8.

Figura 8: Fluxograma de cálculo do Grau de Deterioração da Estrutura



Fonte: CASTRO, 1994

3.4.2 Norma de Inspeção Predial Nacional

A Norma de Inspeção Predial Nacional foi disponibilizada no ano de 2012, em substituição à norma anterior, de 2009. Atende as recomendações da ABNT NBR5674 – Manutenção de Edificações: Procedimentos.

O Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia, é um órgão federativo formado por profissionais de engenharia, arquitetura, agronomia. Seu objetivo é a difusão de informações e avanços técnicos por meio da elaboração de normas e pesquisas, a seus filiados, em âmbito estadual.

A norma elaborada pelo IBAPE, tem por objetivo fixar diretrizes, conceitos, convenções, notações, critérios e procedimentos relativos a inspeção predial. Visa ainda, orientar os planos de inspeção de maneira mais detalhada, tendo em vista que, a NBR 5674, indica a realização das inspeções e relaciona a documentação necessária, porém não aborda de forma detalhada, como essas inspeções deverão ser realizadas. A metodologia de inspeção foi adaptada no objeto de estudo desse trabalho, o Apêndice A apresenta modelo de caderno de inspeção utilizado.

Para a elaboração de um laudo de inspeção predial, conforme relatado por esta norma, o primeiro passo a ser executado é a determinação do nível de inspeção. Este se divide em três níveis:

- **Nível 01:** quando realizada em edificações mais simples, com atividades técnicas, operacionais e de manutenção menos complexas. A inspeção pode ser elaborada por profissionais habilitados em uma especialidade.
- **Nível 02:** a edificação apresenta complexidade média em suas atividades técnicas, operacionais e de manutenção. Normalmente a edificação apresenta vários pavimentos, existe um sistema de manutenção onde são contratadas empresas terceirizadas para a realização de manutenção em elementos específicos (bombas d'água, portões, reservatórios, etc)
- **Nível 03:** edificações com alto grau de complexidade técnica, operacional e de manutenção. Vários pavimentos com a presença de sistemas automatizados. As manutenções nesse nível, seguem,

obrigatoriamente, todos os pontos indicados pela NBR 5674. As inspeções são realizadas por profissionais habilitados e de várias especialidades diferentes.

A segundo passo é a análise da documentação disponível sobre a edificação. São requeridos documentos administrativos, técnicos, de manutenção e de operação da edificação, deve-se ainda realizar uma entrevista junto aos usuários da edificação, síndico, gestores prediais, responsáveis técnicos, afim de averiguar eventuais problemas, modificações e manutenções pelas quais a edificação tenha passado.

Uma quarta etapa, é a vistoria dos sistemas construtivos e seus elementos. Essa verificação deve se basear na complexidade da edificação e no nível de inspeção estipulado na primeira etapa de elaboração do laudo. A norma recomenda que a vistoria tenha uma abrangência mínima sobre os seguintes sistemas e elementos: estrutura, impermeabilização, instalações hidráulicas e elétricas, revestimentos internos e externos em geral, esquadrias, revestimentos externos em geral, esquadrias, elevadores, climatização, exaustão mecânica, ventilação, coberturas, telhados, combate a incêndio e SPDA – Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas.

A etapa seguinte é a classificação das anomalias e falhas, constatadas na vistoria, e da não conformidade dos sistemas e elementos construtivos, sobre o que foi previsto: nas recomendações do fabricante (no caso se equipamentos), nos manuais técnicos em geral, nos projetos da edificação e nas normas de regulamentação de construções. As anomalias podem ser classificadas como endógenas, quando sua origem é da própria edificação, sendo estas decorrentes de erros de projeto, execução e/ou qualidade dos materiais utilizados, podem ser exógenas, quando sua origem é externa à edificação, podem ser naturais, quando são provocadas por fenômenos da natureza, e se classificam ainda como anomalias funcionais, quando ocorre pela degradação do sistema construtivo devido ao seu envelhecimento. As falhas, segundo a norma do IBAPE, ocorrem devido à falta de planejamento, execução, gerenciamento e controle do plano de manutenção.

Após a vistoria e classificação das falhas e anomalias na edificação, é determinado o seu grau de risco, tendo por parâmetro o risco ao usuário, ao ambiente e ao patrimônio. Três graus são apresentados pela norma: o grau crítico, apresenta grandes riscos à saúde do usuário, comprometimento da vida útil da edificação, perda

excessiva de desempenho, podendo paralisar seus serviços, e um alto custo para a realização de manutenção e recuperação. O grau médio, apresenta uma diminuição parcial do desempenho da edificação, porém seus serviços não são paralisados. O grau mínimo apresenta pequenos danos, influenciando na estética ou em alguns serviços oferecidos pela edificação.

Após a classificação das falhas e anomalias, deverá ser feita uma análise sobre elas, definindo-se a ordem de prioridade para a tomada de providências, segundo as recomendações técnicas. A prioridade leva em conta o grau do risco e a intensidade das anomalias e falhas, utilizando-se para isso metodologias de gerenciamento de riscos como GUT (Metodologia de Gravidade, Urgência e Tendência) e a FEMEA (Metodologia de Análise do Tipo e Efeito da Falha), ou ainda pela análise crítica dos responsáveis pela inspeção predial. Nesse trabalho foi aplicado a metodologia GUT para determinar a ordem de prioridade, baseando-se na tabela GUT apresentada nas Normas Técnicas para Engenharia Diagnosticas de Edificações, propostas por Gomide, Cabral e Gullo (2009).

Para a análise dos danos verificados no objeto de estudo, utilizou-se a Tabela GUT, apresentada na Tabela 9, que pondera as patologias e atribui graus para gravidade, urgência e tendência.

Tabela 7: Tabela GUT (Gravidade, Urgência e Tendência)

Grau	Gravidade	Peso
Total	perdas de vidas humanas, no meio ambiente ou do próprio edifício	10
Alta	ferimentos em pessoas, danos ao meio ambiente ou ao edifício	8
Média	desconfortos, deterioração do meio ambiente ou do edifício	6
Baixa	pequenos incômodos ou pequenos prejuízos financeiros	3
Nenhuma		1
Grau	Urgência	Peso
Total	evento em ocorrência	10
Alta	evento prestes a ocorrer	8
Média	evento prognosticado para breve	6
Baixa	evento prognosticado para adiante	3
Nenhuma	evento imprevisto	1
Grau	Tendência	Peso
Total	evolução imediata	10
Alta	evolução em curto prazo	8
Média	evolução em médio prazo	6
Baixa	evolução em longo prazo	3
Nenhuma	não vai evoluir	1

Fonte: GOMIDE, NETO e GULLO (2009)

As recomendações técnicas deverão ser apresentadas de forma clara e simplificada, para que seja facilmente compreendida.

A próxima etapa para elaboração do laudo de inspeção é a avaliação das manutenções e do uso da edificação. O responsável técnico sobre o serviço, deve verificar se há coerência entre as normas e instruções técnicas de engenharia com o plano de manutenção, e se este está adequado à idade da edificação. Deve verificar se não há impeditivos para a realização dos serviços de manutenção e se as condições de segurança, para o mantenedor e usuários, são obedecidas durante a execução da manutenção.

Caso não seja apresentado o plano de manutenção a edificação, deverão ser analisados os registros das atividades realizadas.

Todos os elementos analisados deverão ser considerados para a classificação da qualidade das manutenções. Essa classificação é dada em três termos: “atende”, “atende parcialmente” e “não atende”.

As condições de uso são avaliadas de acordo com os critérios previstos em projeto. Na falta de parâmetros operacionais de sistemas da edificação inspecionada, o responsável técnico deverá consultar as normas, instruções e/ou leis que subsidiem sua análise. Caso a edificação seja ocupada e utilizada dentro dos parâmetros previstos em projeto, seu uso é classificado como REGULAR, caso contrário, a edificação é classificada como IRREGULAR. O uso irregular de uma edificação poderá comprometer seu desempenho e segurança.

A última etapa do laudo de inspeção é a recomendação de uso da edificação de forma que favoreça a sustentabilidade.

4. Metodologia

A elaboração desse trabalho foi desenvolvida a partir de revisão bibliográfica referente às patologias em estruturas e sobre metodologia de diagnóstico e manutenção. Foi realizada a aplicação das metodologias analisadas em um objeto de estudo.

Os conceitos sobre durabilidade e estrutura foram abordados de forma a subsidiar as análises posteriores. Sob a mesma ótica, foram apresentados os conceitos e características das patologias verificada no objeto de estudo.

No desenvolvimento desse estudo, foi apresentado a Metodologia para Manutenção de Estruturas de Concreto Armado, na proposta de Eliane Kraus de Castro, e a Norma de Inspeção Predial Nacional, elaborada pelo Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia.

A comparação da metodologia e da norma, foi feita a partir da análise do objeto de estudo dentro de cada método, utilizando-se os resultados da inspeção realizada *in loco* para a verificação de patologias.

Tendo em vista a dificuldade de acesso a documentos, plantas e alguns locais, esse estudo utilizou apenas os dados obtidos pela inspeção visual.

5. Objeto Analisado

A vistoria ocorreu em edifício residencial, situado na região de Taguatinga Norte – DF. A edificação é composta por 3 módulos, com 3 andares em cada módulo. A estrutura é de concreto armado, revestido com alvenaria em blocos e com fachada revestida com pastilhas cerâmicas. A cobertura é composta por uma laje e calhas, impermeabilizadas com manta asfáltica aluminizada e transitável, coberta ainda por um telhado de telhas de amianto. O prédio se destina a moradia. Não foram obtidos os dados sobre a construção do prédio, bem como os documentos relativos a projetos de arquitetura, estrutura, fundações e instalações.

Os elementos inspecionados que apresentaram algum tipo de dano foram: laje do térreo, junto ao *shaft* do primeiro bloco, poço de acesso à cobertura, parede próxima a escada do 3º andar. Ainda no 3º andar, foi vistoriado o apartamento 301, verificou-se patologias em um pilar de um dos quartos e no enquadramento da janela da cozinha. Devido a indisponibilidade dos projetos estruturais, não foi possível nomear adequadamente os elementos analisados.

Na laje do térreo foram observadas as seguintes patologias: desagregação, falta de cobertura e manchas de corrosão, representados da Figura 9.

Figura 9: Patologias na Laje do Térreo



Fonte: Autor,2018

No pilar do 3º andar foi detectado: esfoliação, fissuras, infiltração, apresentados na Figura 10.

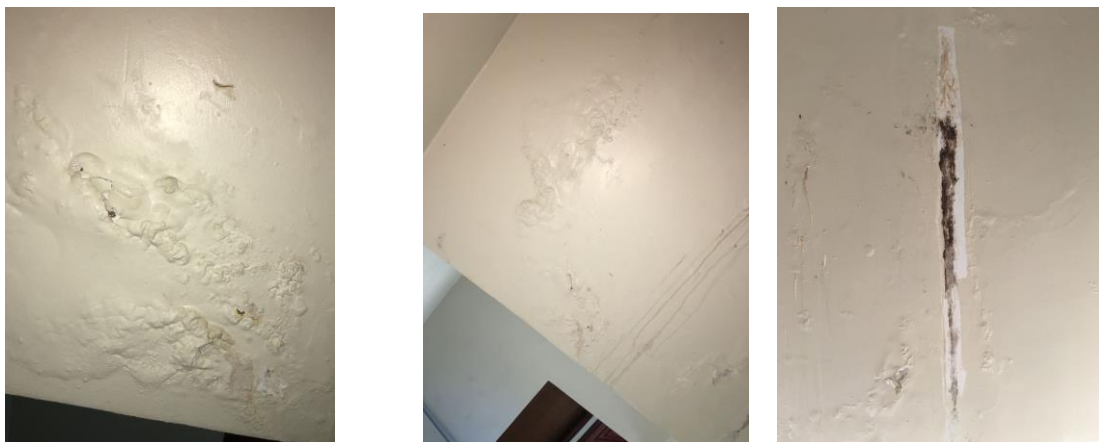
Figura 10: Patologia Pilar em quarto do 3º andar



Fonte: Autor,2018

Na parede junto a escada do 3º andar, foram detectados eflorescência, manchas e infiltrações, representado na Figura 10.

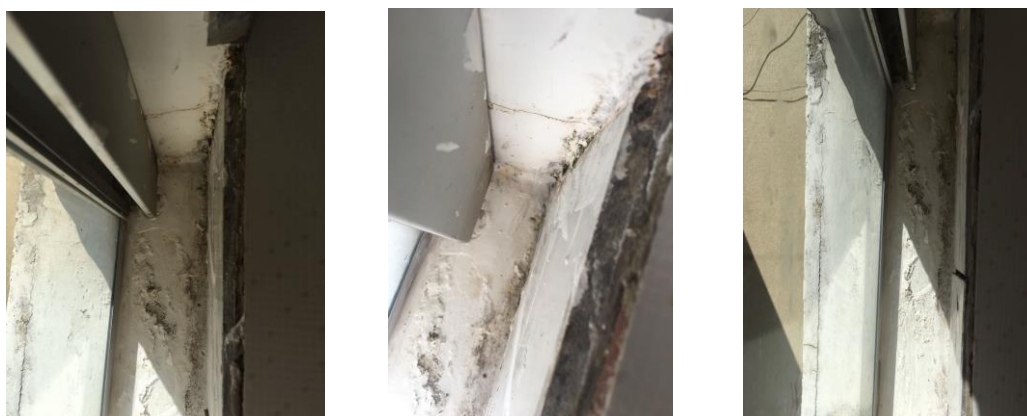
Figura 11: Patologias na parede da escada do 3º andar



Fonte: Autor,2018

Na janela da cozinha foram encontradas: eflorescência, fissuras, infiltração e manchas, conforme representado na Figura 12.

Figura 12: Patologia em janela da cozinha do 3º andar



Fonte: Autor,2018

No acesso à cobertura foram detectadas as seguintes patologias: esfoliação e fissuras, evidenciados pela Figura 13.

Figura 13: Patologias no poço de acesso à cobertura



Fonte: Autor,2018

5.1 Aplicação da Metodologia de Manutenção

A aplicação da Metodologia para Manutenção de Estruturas de Concreto Armado foi realizada em dois elementos estruturais: na laje junto ao *shaft* e no pilar do 3º andar. Foi definido o dano (*D*) do elemento, o grau de deterioração do elemento (*Gde*) para os dois elementos conforme representados nas Tabelas 7 e 8. Para a inspeção, foi utilizado o Caderno de Inspeções, apresentado no Apêndice A.

O grau de dano da família (*Gdf*) foi calculado para a estrutura de laje, tendo em vista que apresentou $Gde > 15$. E a partir da determinação do *Gdf*, foi definido o grau do dano da estrutura (*Gd*).

Tabela 8: Definição do *Gde* da Laje (térreo)

Elemento	Laje próxima ao shaft		
Local	Térreo		
Danos	<i>Fp</i>	<i>Fi</i>	D
segregação	5	0	0
lixiviação	3	0	0
esfoliação	8	0	0
desagregação	7	3	28
cobrimento deficiente	6	2	4,8
manchas de corrosão	7	2	5,6
flechas	10	1	4
fissuras	10	0	0
carbonatação	7	0	0
infiltração	6	0	0
presença de cloretos	10	0	0
manchas	5	0	0
		Gde	32,8

Fonte: Autor, 2018

Para o elemento pilar, foi calculado apenas o grau de dano do elemento, já que, por apresentar $Gde < 15$, não é necessário o cálculo do *Gdf* e o *Gd*.

Tabela 9: Pilar

Elemento	Pilar secundário		
Local	Cômodo 3º andar		
Danos	Fp	Fi	D
desvio de geometria	8	0	0
recalque	10	0	0
infiltração na base	6	0	0
segregação	6	0	0
lixiviação	5	0	0
esfoliação	8	2	6,4
desagregação	7	0	0
sinais de esmagamento	10	0	0
cobrimento deficiente	6	0	0
manchas de corrosão	7	0	0
fissuras	10	1	4
carbonatação	7	0	0
presença de cloretos	10	0	0
manchas	5	0	0
		Gde	10,4

Fonte: Autor,2018

5.2 Aplicação da Norma de Inspeção Predial

A Tabela 10 apresenta o peso para cada dano, dentro do estabelecido pela Tabela GUT. A associação de cada um desses fatores é chamada de matriz GUT. Essa matriz estabelece valores numéricos a partir da gravidade, urgência e tendência de cada dano. O resultado numérico organiza por ordem decrescente de valor, a prioridade para a tomada de ações.

Tabela 10: Tabela GUT para as patologias verificadas

Falha	Gravidade	Urgência	Tendência	GxUxT
Laje térreo com armadura exposta e com sinais de corrosão	6	3	3	54
Problema da na junta de dilatação entre os blocos	6	3	3	54
trinca no pilar em cômodo do 3º andar	6	3	3	54
Infiltração a janela da cozinha, no 3º andar	3	8	8	192
Parede em corredor no 3º andar	1	3	3	9
Poço de acesso ao telhado	3	3	3	27

Fonte: Autor,2018

6. Conclusão

Pela inspeção visual, a princípio, verificou-se que a edificação apresenta poucos problemas em sua estrutura, sendo o deslocamento de pastilhas o dano mais evidente, porém, a administração do prédio, faz, de forma constante, a remoção de pastilhas e aplicação de impermeabilizante sobre a camada de reboco aparente. Para os danos encontrados, que não passaram por um processo de manutenção, aplicou-se as metodologias de análises expostas nesse trabalho. A inspeção foi apenas visual, não sendo necessárias análises laboratoriais.

Os resultados da aplicação da Metodologia de Manutenção de Estruturas de Concreto Armado, para os elementos de laje e pilar analisados, mostram que as patologias presentes no elemento, apresentam um grau de dano igual a 32,8. Esse valor dentro da classificação dos níveis de deterioração, segundo a Tabela 6, apresenta um nível médio, cuja as medidas a serem adotadas devem ser a observação periódica e a necessidade de intervenção em médio prazo. Pela metodologia de Manutenção, para se construir o grau do dano da estrutura como um todo, deve-se associar os Gde de cada elemento com patologia, porém não foram encontrados outros elementos estruturais apresentando danos no mesmo pavimento da laje (térreo). Com isso, a definição do dano é feita de forma isolada. A laje analisada apresenta um *Gde*: 32,8, que é um grau médio de dano, segundo a Tabela 5, devendo ocorrer observações periódicas e intervenções a médio prazo.

Para o pilar, localizado em cômodo do 3º andar da edificação, foi realizado apenas o cálculo do Gde, pois de acordo com a metodologia, $Gde < 15$, o Gdf é igual a 0, por consequência, não entra no cálculo do Gd da estrutura. A análise isolada do elemento, de acordo com a Tabela 5, apresenta um nível de deterioração baixo,

porém, por se tratar de um pilar, outros ensaios são recomendados. Para se ter uma noção da gravidade da patologia, o pilar deveria ser escarificado para determinar se a fissura atinge o pilar ou apenas a camada de reboco sobre ele. Para esse trabalho não foram abordados ensaios destrutivos nos elementos analisados.

Na análise da estrutura pela Norma de Inspeção Predial Nacional, as patologias verificadas foram ponderadas em sua totalidade, tendo em vista que o método fornece uma classificação de danos tanto para os elementos estruturais como para os não estruturais. Com a aplicação da metodologia GUT, indicada pela norma, as patologias avaliadas foram colocadas em ordem de prioridades. Nesta análise, a ordem de ação, apresentada da Tabela 10, está voltada para os danos que têm uma propagação mais rápida, tendo em vista que não existem com gravidade alta.

Tabela 11: Prioridade para manutenção dos danos

Prioridade	Falha	GxUxT
1º	Infiltração na janela da cozinha, no 3º andar	192
2º	Problema da na junta de dilatação entre os blocos	54
3º	Laje térreo com armadura exposta com sinais de corrosão	54
4º	Trinca no pilar em cômodo do 3º andar	54
5º	Poço de acesso ao telhado	27
6º	Parede em corredor no 3º andar	9

Fonte: Autor,2018

Na comparação entre os dois métodos utilizados, tem-se que na Metodologia de Manutenção, são abordadas várias patologias, tabelando os mais diferentes sintomas, favorecendo a objetividade da análise. Já na Norma de Inspeção as análises são, de certa forma, subjetivas, com isso, os laudos podem estar diretamente associados com a expertise do avaliador. Observa-se, ainda, a abrangência na análises dos danos, não ficando restrita apenas a elementos estruturais da edificação.

Em situações mais simples, como a analisada, as medidas a serem tomadas são bem parecidas, quanto à necessidade de intervenções, porém, em uma situação mais crítica, a utilização da Metodologia de Manutenção pode ser mais favorável para intervenções relativas à segurança e desempenho.

7. Bibliografia

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Manutenção de edificações**. Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. NBR 5674. Rio de Janeiro, 2012.
- _____. **Projeto de estruturas de concreto**. Procedimento. NBR 6118. Rio de Janeiro, 2014
- ANDRADE, T.; SILVA, A. J. D. C. E. Considerações sobre Durabilidade, Patologia e Manutenção das Estruturas. In: ISAIA, G. C. **Concreto – Ensino, Pesquisa e Realizações**. [S.I.]: IBRACON, 2005.
- ARAÚJO, J. M. D. **Curso de Concreto Armado**. Rio Grande: Dunas, 2014.
- AZEVEDO, M. T. D. Patologia das Estruturas de Concreto. **Concreto: Ciências e Tecnologia**, p. 1095-1128, 2011.
- BOLDO, P. **Avaliação Quantitativa de Estruturas de Concreto Armado de Edificações no Âmbito do Exército Brasileiro**. Universidade de Brasília. Brasília, p. 295. 2002.
- CARVALHO, R. C.; FILHO, J. R. D. F. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado segundo a NBR 6118**: 2014. São Carlos: EduFSCar, 2016.
- CASTRO, E. K. D. **Desenvolvimento de Metodologia para Manutenção de Estruturas de Concreto**. Universidade de Brasília. Brasília, p. 129. 1994.
- CUNHA, A. C. Q. D.; R.L.HELENE, P. Despassivação das armaduras de concreto por ação da carbonatação. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**, São Paulo, 2001. 13.
- D.ANTÔNIO, H. G. <http://www.clubedoconcreto.com.br>. **Clube do Concreto**, 2014. Disponível em: <<http://www.clubedoconcreto.com.br/2014/06/durabilidade-do-concreto-processo-de.html>>. Acesso em: 10 maio 2018.
- FILHO, L. C. P. D. S.; HELENE, P. Análise de Estruturas de Concreto com Problemas de Resistência e Fissuração. **Concreto: Ciência e Tecnologia**, p. 1128-1174, 2011.
- GOMIDE, L. T.; NETO, J. C. P. F.; GULLO, M. A. **Normas Técnicas para Engenharia Diagnóstica em Edificações**. São Paulo: PINI, 2009.
- IBAPE - INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA. **Norma de Inspeção Predial Nacional**. São Paulo: [s.n.], 2012. 17 p.
- LICHTENSTEIN, N. B. **Patologia das Construções**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 1986.
- MEDEIROS, M. H. F. D.; ANDRADE, J. J. D. O.; HELENE, P. Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto. In: ISAIA, G. C. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. [S.I.]: IBRACON, 2011.

SOUZA, V. C. M. D.; RIPPER, T. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. 1^a. ed. São Paulo: PINI, 1998.

Apêndice A – Caderno de Inspeção Adaptado

A elaboração do caderno de inspeções, foi feito uma transcrição do modelo de inspeção proposto por Castro (1994), adaptado para o formato de formulários do google, onde os dados já são tabulados automaticamente.

Inspeção Predial

1. Nome do Elemento

2. LOCALIZAÇÃO DO ELEMENTO: ambiente, pav. superior, pav. térreo, etc.

3. segregação

Marcar apenas uma oval.

- 1 - superficial e pouco significativa em relação às dimensões da peça;
- 2 - significativa em relação às dimensões da peça;
- 3 - profunda em relação às dimensões da peça, com ampla exposição da armadura
- 4 - perda relevante da seção da peça.

4. eflorescência

Marcar apenas uma oval.

- 1 - início de manifestação;
- 2 - manchas de pequenas dimensões;
- 3 - manchas acentuadas, em grandes extensões.

5. esfoliação

Marcar apenas uma oval.

- 2 - pequenas escamações do concreto;
- 3 - lascamento, de grandes proporções, com exposição da armadura;
- 4 - lascamento acentuado com perda relevante de seção.

6. desagregação

Marcar apenas uma oval.

- 2 - início de manifestação;
- 3 - manifestações leves;
- 4 - por perda acentuada de seção e esfrelamento do concreto.

7. cobrimento

Marcar apenas uma oval.

- 1 - menores que os previstos em norma sem, no entanto, permitir a localização da armadura;
- 2 - menor do que o previsto em norma, permitindo a localização da armadura ou armadura exposta em pequenas extensões;
- 3 - deficiente com armaduras expostas em extensões significativas.

8. manchas decorrosão/ corrosãoda armadura

Marcar apenas uma oval.

- 2 - manifestações leves;
- 3 - grandes manchas e/ou fissuras de corrosão;
- 4 - corrosão acentuada na armadura principal, com perda relevante de seção.

9. flechas

Marcar apenas uma oval.

- 1 - não perceptíveis a olho nu;
- 2 - perceptíveis a olho nu, dentro dos limites previstos em norma;
- 3 - superiores em até 40% às previstas na norma;
- 4 - excessivas.

10. recalque

Marcar apenas uma oval.

- 2 - indícios, pelas características de trincas na alvenaria;
- 3 - recalque estabilizado com fissuras em peças estruturais;
- 4 - recalque não estabilizado com fissuras em peças estruturais.

11. fissuras

Marcar apenas uma oval.

- 1 - aberturas menores do que as máximas previstas em norma;
- 2 - estabilizadas, com abertura até 40% acima dos limites de norma;
- 3 - aberturas excessivas; estabilizadas;
- 4 - aberturas excessivas; não estabilizadas.

12. carbonatação

Marcar apenas uma oval.

- 1 - localizada, com algumas regiões com $\text{pH} < 9$, sem atingir a armadura;
- 2 - localizada, atingindo a armadura, em ambiente seco;
- 3 - localizada, atingindo a armadura, em ambiente úmido;
- 4 - generalizada, atingindo a armadura, em ambiente úmido.

13. infiltração

Marcar apenas uma oval.

- 1 - indícios de umidade;
- 2 - pequenas manchas;
- 3 - grandes manchas;
- 4 - generalizada.

14. presença de cloretos

Marcar apenas uma oval.

- 2 - em elementos no interior sem umidade;
- 3 - em elementos no exterior sem umidade;
- 4 - em ambientes úmidos.

15. manchas

Marcar apenas uma oval.

- 2 - manchas escuras de pouca extensão, porém significativas;
- 3 - manchas escuras em todo o elemento estrutural

16. sinais de esmagamento

Marcar apenas uma oval.

- 3 - desintegração do concreto na extremidade superior do pilar, causada por sobrecarga ou movimentação da superestrutura; fissuras diagonais isoladas;
- 4 - fissuras de cisalhamento bidiagonais, com intenso lascamento (esmagamento) do concreto devido ao cisalhamento e a compressão com perda substancial de seção; deformação residual aparente; exposição e início de flambagem de barras da armadura;

17. desvio de geometria

Marcar apenas uma oval.

- 2 - pilares e cortinas com excentricidade $\leq h/100$ (h = altura)
- 3 - pilares e cortinas com excentricidade $\geq h/100$

18. junta de dilatação obstruída

Marcar apenas uma oval.

- 2 - perda de elasticidade do material da junta;
- 3 - presença de material não compressível na junta.

19. fissuras vizinhas as juntas de dilatação

Marcar apenas uma oval.

- 2 - lajes com início de fissuras adjacentes às juntas;
- 3 - grande incidência de lajes com fissuras adjacentes às juntas;
- 4 - idem, com prolongamento das fissuras em vigas e/ou pilares de suporte.

20. infiltração na base

Marcar apenas uma oval.

- 3 - indícios de vazamento em tubulações enterradas que podem comprometer as fundações;
- 4 - vazamentos em tubulações enterradas causando erosão aparente junto as fundações.

21. deslocamento por empuxo

Marcar apenas uma oval.

- 3 - deslocamento lateral no sentido horizontal, com excentricidade, porém estável;
- 4 - deslocamento lateral no sentido horizontal, instável.

Anexo A – Caderno de Inspeção

1 - INTRODUÇÃO

O presente caderno de inspeção destina-se à implementação de uma metodologia para inspeção de edificações usuais de concreto armado, para auxiliar engenheiros e técnicos da área de manutenção e recuperação de estruturas.

O objetivo das inspeções é analisar o desempenho da estrutura nos aspectos de segurança, funcionalidade e estética.

Os resultados das vistorias possibilitarão definir as ações necessárias à garantia ou aumento da durabilidade da estrutura.

2 - PARÂMETROS DE INSPEÇÃO

2.1 - NOME DO ELEMENTO: identificar claramente o elemento vistoriado.

2.2 - LOCALIZAÇÃO DO ELEMENTO: ambiente, pav. superior, pav. térreo, etc.

2.3 - TIPOS DE DANOS EM ESTRUTURAS

2.3.1 - CONCEITUAÇÃO:

- a) **Segregação(nichos ou ninhos):** deficiência de concretagem, exposição de agregados, devido a dosagem inadequada, diâmetro máximo característico do agregado graúdo não condizente com as dimensões da peça, lançamento e adensamento inadequados e taxas excessivas de armaduras.
- b) **Eflorescência:** aparecimento de manchas brancas na superfície, proveniente das águas que penetram no concreto, carregando a cal liberada na hidratação do cimento que é extremamente solúvel em águas, principalmente puras e brandas. Ocorrem freqüentemente nas fissuras em lajes, podendo, com o tempo formar estalactites.
- c) **Desagregação:** fenômeno característico de ataque químico no concreto com perda da capacidade aglomerante da pasta, causando a separação dos agregados.
- d) **Esfoliação:** ocorrência de lascas que se destacam do concreto por vários motivos, como por exemplo: proveniente de choques, por corrosão da armadura, por pressão ou expansão no interior do concreto, etc.
- e) **Carbonatação:** o dióxido de carbono, CO_2 , presente no ar penetra através da rede de poros do concreto e reage com os constituintes alcalinos da pastas de cimento, principalmente com o hidróxido de cálcio. A carbonatação da cal reduz o pH da fase aquosa do concreto e provoca a despassivação das armaduras. Pode ser detectada por meio de um ensaio simples, através da utilização da fenolftaleína com indicador. A parte do concreto fica incolor ($pH < 8,5$) e a parte não carbonatada permanece vermelho-carmim.
- f) **Fissuração inaceitável:**
NB-1/78 - considera-se que a fissuração é nociva quando a abertura das fissuras na superfície

do concreto ultrapassa os seguintes valores:

- 1) 0,1 mm para peças não protegidas, em meio agressivo;
- 2) 0,2 mm para peças não protegidas, em meio não agressivo;
- 3) 0,3 mm para peças protegidas.

g) **Flechas excessivas:**

NB-1/78, considera que:

- 1) as flechas medidas a partir do plano que contém os apoios, quando atuarem todas as ações, não ultrapassarão $1/300$ do vão teórico, exceto no caso de balanços para os quais não ultrapassarão $1/500$ do seu comprimento teórico;
- 2) o deslocamento causado pelas cargas acidentais não será superior a $1/500$ do vão teórico e $1/250$ do comprimento teórico dos balanços.

h) **Deficiências de cobrimento**

NB-1/78, considera que: qualquer barra da armadura, inclusive de distribuição, de montagem e estribos, deve ter cobrimento de concreto pelo menos igual ao seu diâmetro, mas não menor que:

- 1) para concreto revestido com argamassa de espessura mínima de..... 1 cm;
 - em lajes no interior de edifícios..... 0,5 cm
 - em paredes no interior de edifícios..... 1,0 cm
 - em lajes e paredes ao ar livre..... 1,5 cm
 - em vigas, pilares e arcos no interior de edifícios..... 1,5 cm
 - em vigas, pilares e arcos ao ar livre..... 2,0 cm
- 2) para concreto aparente:
 - no interior de edifícios..... 2,0 cm
 - ao ar livre..... 2,5 cm
- 3) para concreto em contato com o solo..... 3,0 cm
- 4) para concreto em meio fortemente agressivo..... 4,0 cm

i) **Manchas de corrosão:** manchas marrom-avermelhadas ou esverdeadas na superfície do elemento estrutural devido à lixiviação do óxido de corrosão formado sobre as armaduras.

j) **Presença de cloretos:** devido ao emprego de aditivos a base de cloretos na execução do concreto, principalmente em concretos pré-moldados ou a penetração de cloretos provenientes do meio ambiente (como por exemplo regiões marítimas), ou contaminação. Como consequência podemos ter: fissuras generalizadas sobre a armadura e manchas escurecidas devido a retenção de umidade, criando fungos no concreto.

k) **Manchas:** devido ao aparecimento de fungos, mofo e etc., por exemplo manchas negras nas fachadas.

l) **Infiltração:** danos na impermeabilização, deficiência no escoamento de águas pluviais, vazamento em tubulações.

Obs. A umidade que poderá ser encontrada em alguns elementos, não foi considerada como um dano específico para evitar uma superposição de manifestações de danos, pois está sendo considerada na carbonatação, presença de cloretos e infiltração.

2.4 - FATOR DE PONDERAÇÃO DO DANO (F_p)

É o fator que visa quantificar a importância relativa de um determinado dano no que se refere às condições gerais de estética, funcionalidade e segurança dos elementos de uma família, tendo em vista as manifestações patológicas passíveis de serem neles detectadas. Para sua definição são estabelecidos os problemas mais relevantes quanto aos aspectos de durabilidade e segurança estrutural. Assim, para cada manifestação patológica, e em função da família de elementos que apresentam o problema, foi estabelecido um grau numa escala de 1 a 10. Uma determinada manifestação patológica pode ter fatores de ponderação diferentes de acordo com as características da família onde o elemento se insere, dependendo das consequências que o dano possa acarretar.

2.5 - FATOR DE INTENSIDADE DO DANO (F_i)

Este fator, classifica o nível de gravidade e a evolução de uma manifestação de dano em um determinado elemento, segundo uma escala de 0 a 4, como segue:

- sem lesões	$F_i = 0$
- lesões leves	$F_i = 1$
- lesões toleráveis	$F_i = 2$
- lesões graves	$F_i = 3$
- estado crítico	$F_i = 4$

A Tabela A.1 mostra os vários tipos de danos passíveis de serem encontrados em edificações usuais com uma classificação, onde se identifique o nível de gravidade das lesões e sua intensidade, segundo suas características específicas.

2.6 - GRAU DO DANO (D)

O grau do dano será calculado em função do fator de ponderação do dano (F_p) e o do fator de intensidade do dano (F_i). Esta função está definida na metodologia da pesquisa e não deverá ser preenchido na inspeção.

3 - MATRIZES DAS FAMÍLIAS DOS ELEMENTOS DE UMA EDIFICAÇÃO

A Tabela A.2 mostra os vários tipos de matrizes para as famílias de elementos estruturais mais comuns de edificações usuais, com os danos possíveis e respectivos fatores de ponderação do dano utilizados na pesquisa.

Tabela A.1 - Classificação dos danos e fatores de intensidade (F_i)

Tipos de danos	Fator de intensidade do dano - Tipos de manifestação
segregação	<ol style="list-style-type: none"> 1 - superficial e pouco significativa em relação às dimensões da peça; 2 - significativa em relação às dimensões da peça; 3 - profunda em relação às dimensões da peça, com ampla exposição da armadura; 4 - perda relevante da seção da peça.
eflorescência	<ol style="list-style-type: none"> 1 - início de manifestação; 2 - manchas de pequenas dimensões; 3 - manchas acentuadas, em grandes extensões.
esfoliação	<ol style="list-style-type: none"> 2 - pequenas escamações do concreto; 3 - lascamento, de grandes proporções, com exposição da armadura; 4 - lascamento acentuado com perda relevante de seção.
desagregação	<ol style="list-style-type: none"> 2 - início de manifestação; 3 - manifestações leves; 4 - por perda acentuada de seção e esfarelamento do concreto.
cobrimento	<ol style="list-style-type: none"> 1 - menores que os previstos em norma sem, no entanto, permitir a localização da armadura; 2 - menor do que o previsto em norma, permitindo a localização da armadura ou armadura exposta em pequenas extensões; 3 - deficiente com armaduras expostas em extensões significativas.
manchas de corrosão/ corrosão da armadura	<ol style="list-style-type: none"> 2 - manifestações leves; 3 - grandes manchas e/ou fissuras de corrosão; 4 - corrosão acentuada na armadura principal, com perda relevante de seção.
flechas	<ol style="list-style-type: none"> 1 - não perceptíveis a olho nu; 2 - perceptíveis a olho nu, dentro dos limites previstos em norma; 3 - superiores em até 40% às previstas na norma; 4 - excessivas.
recalque	<ol style="list-style-type: none"> 2 - indícios, pelas características de trincas na alvenaria; 3 - recalque estabilizado com fissuras em peças estruturais; 4 - recalque não estabilizado com fissuras em peças estruturais.
fissuras	<ol style="list-style-type: none"> 1 - aberturas menores do que as máximas previstas em norma; 2 - estabilizadas, com abertura até 40% acima dos limites de norma; 3 - aberturas excessivas; estabilizadas; 4 - aberturas excessivas; não estabilizadas.

Tabela A.1 - Classificação dos danos e fatores de intensidade (F_i) (cont.)

Tipos de dano	Fator de intensidade do dano - Tipos de manifestação
carbonatação	1 - localizada, com algumas regiões com $pH < 9$, sem atingir a armadura; 2 - localizada, atingindo a armadura, em ambiente seco; 3 - localizada, atingindo a armadura, em ambiente úmido; 4 - generalizada, atingindo a armadura, em ambiente úmido.
infiltração	1 - indícios de umidade; 2 - pequenas manchas; 3 - grandes manchas; 4 - generalizada.
presença de cloretos	2 - em elementos no interior sem umidade; 3 - em elementos no exterior sem umidade; 4 - em ambientes úmidos.
manchas	2 - manchas escuras de pouca extensão, porém significativas; 3 - manchas escuras em todo o elemento estrutural
sinais de esmagamento	3 - desintegração do concreto na extremidade superior do pilar, causada por sobrecarga ou movimentação da superestrutura; fissuras diagonais isoladas; 4 - fissuras de cisalhamento bidiagonais, com intenso lascamento (esmagamento) do concreto devido ao cisalhamento e a compressão com perda substancial de seção; deformação residual aparente; exposição e início de flambagem de barras da armadura;
desvio de geometria	2 - pilares e cortinas com excentricidade $\leq h/100$ (h = altura) 3 - pilares e cortinas com excentricidade $\geq h/100$
junta de dilatação obstruída	2 - perda de elasticidade do material da junta; 3 - presença de material não compressível na junta.
fissuras vizinhas as juntas de dilatação	2 - lajes com início de fissuras adjacentes às juntas; 3 - grande incidência de lajes com fissuras adjacentes às juntas; 4 - idem, com prolongamento das fissuras em vigas e/ou pilares de suporte.
infiltração na base	3 - indícios de vazamento em tubulações enterradas que podem comprometer as fundações; 4 - vazamentos em tubulações enterradas causando erosão aparente junto as fundações.
deslocamento por empuxo	3 - deslocamento lateral no sentido horizontal, com excentricidade, porém estável; 4 - deslocamento lateral no sentido horizontal, instável.