



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS – FATECS
CURSO: ENGENHARIA CIVIL

ELIAS HANNA MOKDISSI NETO

AVALIAÇÃO QUANTITATIVA E QUALITATIVA DAS
MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DE UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL
NO DISTRITO FEDERAL: ESTUDO DE CASO

Brasília

2013

ELIAS HANNA MOKDISSI NETO

**AVALIAÇÃO QUANTITATIVA E QUALITATIVA DAS
MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DE UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL
NO DISTRITO FEDERAL: ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado como um dos requisitos para a conclusão do curso de Engenharia Civil da Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas do Centro Universitário de Brasília.
Orientadora: Prof.^a Irene de Azevedo Lima Joffily.

Brasília

2013

ELIAS HANNA MOKDISSI NETO

**AVALIAÇÃO QUANTITATIVA E QUALITATIVA DAS
MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DE UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL
NO DISTRITO FEDERAL: ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado como um dos requisitos para
a conclusão do curso de Engenharia Civil
da Faculdade de Tecnologia e Ciências
Sociais Aplicadas do Centro Universitário
de Brasília.

Orientadora: Prof.^a Irene de Azevedo
Lima Joffily

Brasília, 05 de dezembro de 2013.

Banca Examinadora

Eng^a. Civil: Irene de Azevedo Lima Joffily, M.Sc.
Orientadora

Eng^o. Civil: João da Costa Pantoja, D.Sc.
Examinador Interno

Eng^a. Civil: Luciana Nascimento Lins, M.Sc.
Examinador Externo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO.....	13
1.1.1 <i>Objetivo Geral</i>	13
1.1.2 <i>Objetivo Específico</i>	13
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 DURABILIDADE E VIDA ÚTIL DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO.....	14
2.2 MANUTENÇÃO PREDIAL.....	18
2.3 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS.....	20
2.3.1 <i>Carbonatação no Concreto</i>	21
2.3.2 <i>Contaminação do Concreto por Cloretos</i>	26
2.3.3 <i>Corrosão das Armaduras das Estruturas de Concreto Armado</i>	28
2.3.4 <i>Lixiviação e Eflorescência</i>	31
2.3.5 <i>Fissuras, Trincas e Rachaduras</i>	32
2.3.6 <i>Outras Manifestações Patológicas</i>	35
2.3 MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE ESTRUTURAS DE CONCRETO	37
2.3.2 <i>Metodologia de KLEIN et al (1991)</i>	38
2.3.3 <i>Metodologia de CASTRO (1994)</i>	39
2.3.4 <i>Alterações à Metodologia de Castro (1994) – Proposta por Lopes (1998)</i>	40
2.3.5 <i>Propostas de Alteração na Metodologia Feita por Boldo (2002)</i>	41
2.3.6 <i>Definição dos Parâmetros de Acordo com as Alterações Feitas por Boldo (2002)</i>	42
2.4 MÉTODO PARA A AVALIAÇÃO PREDIAL QUALITATIVA – IBAPE (2012).....	44
3. METODOLOGIA	45
3.1 PESQUISA E COLETA DE DADOS	45
3.2 VISTORIA PREDIAL.....	46
3.3 ANÁLISES	46
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS	47
4.1 GARAGEM.....	47
4.1.1 <i>Laje</i>	50

4.1.2 Pilares	58
4.1.3 Vigas	62
4.1.4 Junta de dilatação	65
4.1.5 Análise da estrutura da garagem completa	65
4.1.6 Avaliação da Metodologia de Castro (1994) com as propostas de Boldo (2002)	67
4.2 FACHADAS.....	68
4.3 PILOTIS.....	73
4.4 COBERTURA E RESERVATÓRIO SUPERIOR.....	74
4.5 AVALIAÇÃO DA NORMA DE INSPEÇÃO PREDIAL NACIONAL (IBAPE, 2012).....	79
4.6 PLANO DE AÇÃO.....	79
5 CONCLUSÃO.....	82
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	83
REFERÊNCIAS.....	84

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – MODELO DE EQUILÍBRIO DE UMA ESTRUTURA DE CONCRETO.....	16
FIGURA 2 – DESEMPENHO AO LONGO DO TEMPO	19
FIGURA 3 – EVOLUÇÃO DOS CUSTOS DE INTERVENÇÃO EM FUNÇÃO DA FASE DA VIDA ÚTIL DA ESTRUTURA.....	20
FIGURA 4 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE CARBONATAÇÃO PARCIAL DO CONCRETO SATURADO COM ÁGUA	22
FIGURA 5 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE CARBONATAÇÃO PARCIAL DO CONCRETO COM POROS PARCIALMENTE COM ÁGUA.....	23
FIGURA 6 –GRAU DE CARBONATAÇÃO EM FUNÇÃO DA UMIDADE RELATIVA DO AMBIENTE.	24
FIGURA 7 – INFLUÊNCIA DA CURA E DA RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO NA CARBONATAÇÃO DO CONCRETO.....	25
FIGURA 8 – FENOLFTALEÍNA APLICADA EM CORPO DE PROVA	26
FIGURA 9 – ESQUEMA DE VARIAÇÃO DO TEOR CRÍTICO EM FUNÇÃO DA QUALIDADE DO CONCRETO E UMIDADE AMBIENTE.....	27
FIGURA 10 –REPRESENTAÇÃO PILHA ELETROQUÍMICA DE CORROSÃO NO CONCRETO ARMADO	29
FIGURA 11 – APARÊNCIA SUPERFICIAL DA CORROSÃO GENERALIZADA DESENCADEADA PELA CARBONATAÇÃO DO CONCRETO (A) E DA CORROSÃO PUNTIFORME DESENCADEADA PELA AÇÃO DOS ÍONS DE CLORETO (B).....	30
FIGURA 12 –MODELO DE TUUTTI PARA A CORROSÃO DE ARMADURAS – MODELO AJUSTADO.	31
FIGURA 13 – EFLORESCÊNCIA EM LAJE DE CONCRETO ARMADO.....	32
FIGURA 14 – TIPOLOGIA DE FISSURAS.....	35
FIGURA 15 – FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA PARA O CÁLCULO DO GRAU DE DETERIORAÇÃO DA ESTRUTURA (G_D)	40
FIGURA 16 – PORTÃO DE ENTRADA, FACHADA OESTE.....	47
FIGURA 17 – ABERTURA LAJE INFERIOR DA GARAGEM	48
FIGURA 18 - VIGA DA LAJE SUPERIOR DA GARAGEM.....	48
FIGURA 19 – CROQUI DA GARAGEM.....	50
FIGURA 20 – CROQUI DA LAJE COM AS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS LOCALIZADAS.....	51

FIGURA 21 – MANCHA DE INFILTRAÇÃO NA LAJE DA GARAGEM.....	51
FIGURA 22 – EFLORESCÊNCIA NA LAJE DA GARAGEM.....	52
FIGURA 23 – MANCHA DE CORROSÃO DE ARMADURAS NA LAJE DA GARAGEM.....	52
FIGURA 24 – ESFOLIAÇÃO NA LAJE DA GARAGEM.	53
FIGURA 25 – GRÁFICO COM A QUANTIDADE DE LAJES COM CADA MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA.	53
FIGURA 26 – PILAR 46 ANTES DA ESCARIFICAÇÃO E APLICAÇÃO DE FENOLFTALEÍNA	58
FIGURA 27 – PILAR 46 APÓS A ESCARIFICAÇÃO E APLICAÇÃO DE FENOLFTALEÍNA.....	59
FIGURA 28 – MEDIÇÃO DO DIÂMETRO DA ARMADURA DO PILAR 46.....	60
FIGURA 29 – BARRA COM PERDA TOTAL DE SEÇÃO PROVENIENTE DE CORROSÃO.....	61
FIGURA 30 – MANCHA DE INFILTRAÇÃO NA VIGA 4 DA GARAGEM.	62
FIGURA 31 – MANCHA DE CORROSÃO NA VIGA 3 DA GARAGEM.....	62
FIGURA 32 – MANCHA DE INFILTRAÇÃO E CORROSÃO NA JUNTA DE DILATAÇÃO.....	65
FIGURA 33 – COMPARATIVO DE INCIDÊNCIA DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NA GARAGEM.	66
FIGURA 34 – FACHADA NORTE	68
FIGURA 35 – FACHADA SUL.....	69
FIGURA 36 – FACHADA LESTE.....	69
FIGURA 37 – FACHADA OESTE	70
FIGURA 38 – DESPLACAMENTO E CORROSÃO NA FACHADA NORTE	70
FIGURA 39 – FISSURAS NA PLATIBANDA DA FACHADA NORTE.....	71
FIGURA 40 – AUSÊNCIA DE COBOGÓS NA FACHADA NORTE	71
FIGURA 41 – FISSURAÇÃO DO REVESTIMENTO DA FACHADA OESTE.....	72
FIGURA 42 – COMPARATIVO DE INCIDÊNCIA DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NAS FACHADAS.....	72
FIGURA 43 – ENSAIO DE CARBONATAÇÃO NO PILAR DO PILOTIS.....	73
FIGURA 44 – CROQUI DO PILOTIS COM A INDICAÇÃO DO PILAR ONDE FOI APLICADO FENOLFTALEÍNA	74
FIGURA 45 – MANCHA DE INFILTRAÇÃO.....	75
FIGURA 46 – MANCHA DE CORROSÃO	75
FIGURA 47 – EFLORESCÊNCIA NA CASA DE MÁQUINAS.	76
FIGURA 48 – QUADRO DE ENERGIA EMBUTIDO NA PAREDE DO RESERVATÓRIO.....	76

FIGURA 49 – FISSURAÇÃO POR RETRAÇÃO, PAREDE EXTERNA DO RESERVATÓRIO SUPERIOR.....	77
FIGURA 50 – FISSURAS PROVENIENTES DA GRANDE EXPOSIÇÃO ÀS VARIAÇÕES CLIMÁTICAS.....	77
FIGURA 51 – FISSURA DEVIDO A MOVIMENTAÇÃO DA LAJE DA COBERTURA.....	78
FIGURA 52 - FISSURA NO REVESTIMENTO.....	78
FIGURA 53 – COMPARATIVO DE INCIDÊNCIA DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NA COBERTURA E RESERVATÓRIO SUPERIOR.	79

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – ABERTURA DE FISSURAS, TRINCAS, RACHADURAS, FENDAS E BRECHAS.....	33
TABELA 2 – CAUSAS DE FISSURAÇÃO	34
TABELA 3 – CLASSIFICAÇÃO DOS NÍVEIS DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO	43
TABELA 4 – CLASSIFICAÇÃO DOS NÍVEIS DE DETERIORAÇÃO DA ESTRUTURA.....	44
TABELA 5 – PERDA DE SEÇÃO POR CORROSÃO.....	60
TABELA 6 – INSPEÇÃO GERAL	80

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - GASTOS EM PAÍSES EUROPEUS COM MANUTENÇÃO.....	14
QUADRO 2 – CONCENTRAÇÃO VOLUMÉTRICA DE CO ₂ NO AR EM RELAÇÃO A DIVERSOS TIPOS DE AMBIENTE	21
QUADRO 3 – TEOR LIMITE DE CLORETO PARA DIVERSAS NORMAS.....	28
QUADRO 4 – PRINCIPAIS PATOLOGIAS, MECANISMOS E PREVENÇÃO EM CONCRETO E ARMADURA.....	36
QUADRO 5 - PRINCIPAIS PATOLOGIAS, MECANISMOS E PREVENÇÃO NA ESTRUTURA	37
QUADRO 6 – SÍNTESE DA INSPEÇÃO DAS LAJES DA GARAGEM	55
QUADRO 7 – SÍNTESE DA INSPEÇÃO DAS LAJES 21 A 24; 26 A 29; 33;34 E 39 A 42 DA GARAGEM	56
QUADRO 8 – SÍNTESE DA INSPEÇÃO DAS LAJES 43; 45; 46; 51; 53; 54; 57; 59; 60 E GDF DA GARAGEM	57
QUADRO 9 – SÍNTESE DE INSPEÇÃO DOS PILARES DA GARAGEM.....	61
QUADRO 10 – SÍNTESE DE INSPEÇÃO DOS VIGAS DA GARAGEM	64
QUADRO 11 – SÍNTESE DE INSPEÇÃO DA JUNTA DE DILATAÇÃO.....	65
QUADRO 12 – GRAU DE DETERIORAÇÃO DA GARAGEM.....	66

RESUMO

O escopo deste trabalho é levantar as manifestações patológicas por meio de métodos quantitativos e qualitativos da garagem, fachadas, pilotis e cobertura e reservatório superior de um edifício residencial situado na cidade de Brasília, DF. Foram levantadas todas as patologias nos locais inspecionados. Foi aplicada a metodologia Gde, desenvolvida no Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Brasília, que possibilita quantificar o grau de deterioração de estruturas de concreto na estrutura da garagem. Assim como, foi aplicada a metodologia do Instituto Brasileiro de Avaliação e Perícia de Engenharia para inspeções prediais no pilotis, fachadas e cobertura e reservatório superior. Elaborou-se um plano de ação para a correção das manifestações encontradas. Além disso, o plano de ação estabeleceu a criticidade de cada dano de acordo com as normas do IBAPE e, na garagem, conforme a metodologia desenvolvida na Unb. O plano de ação servirá como base para situar o síndico quanto ao estado do edifício, e auxiliá-lo na decisão de quais ações de recuperação adotar e quando adotá-las.

Palavras-chave: Manifestações patológicas. Manutenção. Vistoria predial. Plano de ação.

1 INTRODUÇÃO

Os materiais utilizados por uma sociedade em épocas distintas constituem um dos indicadores de sua evolução tecnológica. O homem sempre buscou aperfeiçoar-se nas suas técnicas construtivas e está continuamente a procura de materiais que lhe ofereçam vantagens competitivas. Este inerente desejo de desafiar-se a si mesmo está intimamente ligado à evolução nos materiais empregados pelos construtores.

O homem começou utilizando materiais assim como os encontrava na natureza, não os trabalhava. Aos poucos o homem aprendeu a modelar e adaptar os materiais às suas necessidades. A partir de então, as exigências do homem foram aumentando. Por muito tempo utilizou-se somente a pedra para vencer grandes vãos e cargas. Havia a necessidade de se encontrar um material que fosse trabalhável como barro e resistente como a pedra. Dessa necessidade surgiu o concreto (BAUER, 2000).

A partir do final do século XIX vimos a introdução do concreto armado como um material resistente, versátil e eficiente. Seu uso foi responsável por incríveis feitos de engenharia e arquitetura. A difusão do concreto armado também transformou o agrupamento das sociedades e ajudou à formação de uma população urbana grande e vigorosa.

Com o surgimento de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado iniciaram-se os estudos voltados às causas destas manifestações, às respectivas ações preventivas, e também terapêuticas. Os primeiros estudos foram realizados nos Estados Unidos e Europa.

No Brasil, os estudos relacionados a problemas em estruturas de concreto armado tiveram início em meados do século passado. Em 19 de setembro de 1957 foi fundado o Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias – IBAPE. Segundo consta no capítulo terceiro artigo sexto de seu estatuto, são objetivos do IBAPE “O aprimoramento, divulgação e transmissão do conhecimento técnico nas áreas de avaliações, perícias e inspeções de engenharia e arquitetura...” (IBAPE, 2011).

Mais recentemente, fatores econômicos, legais e de segurança levaram a uma crescente preocupação com a durabilidade e vida útil do concreto armado por parte de engenheiros, autoridades, e usuários. “Estima-se que 20 a 40% de todos os recursos investidos anualmente na indústria da construção civil sejam aplicados no reparo e manutenção de estruturas já existentes...” (HELENE, 2003).

Há pouco mais de uma década iniciou-se a discussão sobre o tema qualidade e desempenho das construções no Brasil. Com o crescimento do mercado da construção civil e o amadurecimento da cadeia produtiva tornou-se viável a adoção de normas que visassem uma melhora na qualidade da produção habitacional (MARTINS, 2013).

Finalmente, em julho de 2013, entrou em vigor a NBR 15.575:2013, chamada de Norma de Desempenho, que estabelece responsabilidades a todos os participantes da produção habitacional: projetistas, fornecedores, construtor, incorporador e usuário.

A partir dessa preocupação geral tornou-se necessário também uma metodologia para avaliar o grau de deterioração de estruturas de concreto armado que fosse sistêmica e pragmática. Tentativas de avaliar a estrutura de um edifício de concreto armado esbarravam na subjetividade do profissional responsável pela vistoria e falta de critérios estabelecidos. Tendo como ponto de partida o trabalho de Klein, Castro (1994) desenvolveu uma metodologia para edificações usuais. A partir dos trabalhos de Castro (1994) e Lopes (1998), Boldo (2002) criou uma avaliação quantitativa de estruturas de concreto armado em sua dissertação de mestrado.

Este trabalho utilizou a metodologia de Castro (1994) de acordo com as alterações propostas por Boldo (2002) para avaliação da estrutura em concreto armado da garagem de um edifício residencial em Brasília. Além disso, foi feita uma análise qualitativa das patologias existentes na estrutura de concreto da fachada, pilotis, cobertura reservatório superior e garagem da edificação.

1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO

1.1.1 *Objetivo Geral*

Avaliar as manifestações patológicas por meio de métodos quantitativos e qualitativos da garagem, pilotis, cobertura e reservatório superior e elementos de fachada, de um edifício residencial situado na cidade de Brasília, DF.

1.1.2 *Objetivo Específico*

- Levantar as manifestações patológicas por meio de vistoria.
- Classificar a criticidade dos problemas levantados.
- Aplicar a metodologia Gde de avaliação quantitativa de estruturas de concreto armado proposta por Castro (1994) com as alterações sugeridas por Boldo (2002) na garagem.
- Elaborar um plano de ação para a correção das manifestações encontradas.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O **Capítulo 2** discorre sobre a durabilidade e vida útil de construções, as manifestações patológicas mais comuns, e apresenta os métodos para avaliação de estruturas de concreto armado e manutenção predial.

O **Capítulo 3** trata da metodologia utilizada nas vistorias e as análises de Castro (1994) com as sugestões de Boldo (2002) além da metodologia do IBAPE (2012).

O **Capítulo 4** aborda a análise de resultados de vistorias e do método de Boldo empregado na garagem do edifício analisado e apresenta o plano de ação.

O **Capítulo 5** aborda as conclusões sobre métodos utilizados, o plano de ação recomendado e a classificação das manifestações patológicas encontradas, além de sugestões de trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo tem a finalidade de apresentar um apanhado sobre os conceitos empregados nas análises e vistorias.

2.1 DURABILIDADE E VIDA ÚTIL DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Em virtude dos crescentes problemas de degradação precoce de estruturas, altos gastos com manutenção e uma maior exigência de sustentabilidade na construção civil há uma tendência mundial, nos últimos vinte anos, de privilegiar os aspectos de projeto voltados à durabilidade e aumento da vida útil das estruturas de concreto armado.

Segundo a NBR 6118:2003, 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 (ABNT, 2003).

A vida útil de uma estrutura é definida por Somerville (1987), como sendo

...o período mínimo no qual se espera que ela desempenhe as funções previstas, segundo suas finalidades específicas e condições ambientes, sem perdas significativas na sua capacidade de utilização e não requerendo custos elevados de manutenção e reparo (SOMERVILLE, 1987).

Inúmeros trabalhos têm evidenciado a importância econômica da consideração da durabilidade e vida útil das estruturas de concreto. O trabalho de Ueda e Takeawaka (2007) mostra os gastos com manutenção e reparo em países europeus, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 - Gastos em países europeus com manutenção

País	Gastos com construções novas	Gastos com manutenção e reparo	Gastos totais com construção
França	85,6 Bilhões de Euros* (52%)	79,6 Bilhões de Euros* (48%)	165,2 Bilhões de Euros* (100%)
Alemanha	99,7 Bilhões de Euros* (50%)	99,0 Bilhões de Euros* (50%)	198,7 Bilhões de Euros* (100%)
Itália	58,6 Bilhões de Euros* (43%)	76,8 Bilhões de Euros* (57%)	135,4 Bilhões de Euros* (100%)
Reino Unido	60,7 Bilhões de Euros* (50%)	61,2 Bilhões de Euros* (50%)	121,9 Bilhões de Euros* (100%)

Nota: todos os dados se referem ao ano de 2004, exceto no caso da Itália que se refere ao ano de

2002.

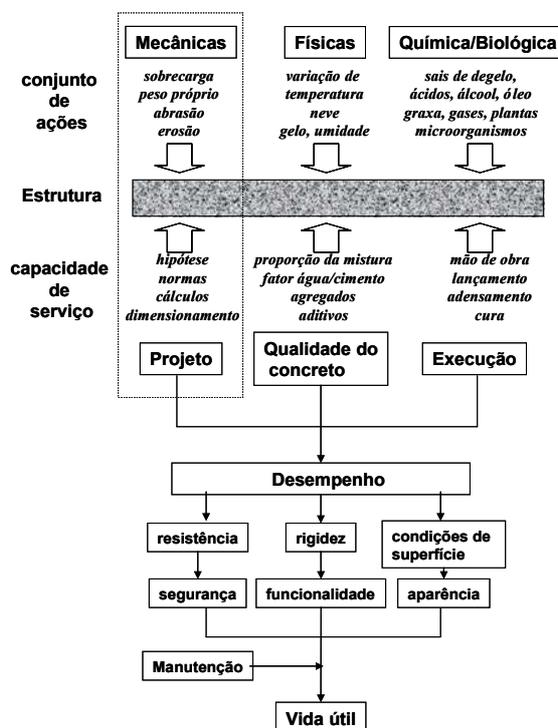
Fonte: (Ueda & Takewaka, 2007 apud Medeiros, Andrade e Helene, 2011)

O Código Modelo MC-90 apresentado pelo Comité Euro-Internacional du Béton (CEB,1991) estabelece que

As estruturas de concreto devem ser projetadas, construídas e operadas de forma tal que, sob as condições ambientais esperadas, elas mantenham sua segurança, funcionalidade e aparência aceitável durante um período de tempo, implícito ou explícito, sem requerer altos custos imprevistos para manutenção e reparo (CEB,1991).

Selinger (1992) desenvolveu o chamado Modelo de Equilíbrio. Este modelo estabelece que as deteriorações no concreto armado são decorrente do conjunto de ações mecânicas, físicas e química/biológica. Essas ações devem ser combatidas pela capacidade de serviço da estrutura. A capacidade de serviço é composta por um projeto adequado, concreto de qualidade e uma boa execução. Posteriormente, Castro (1994) complementou o modelo inserindo os itens manutenção e vida útil como ilustrado pela Figura 1.

Figura 1 – Modelo de equilíbrio de uma estrutura de concreto



Fonte: (SELINGER 1992 modificada por CASTRO, 1994)

Segundo Castro (1994), é necessário também o planejamento de manutenções periódicas das estruturas, pois com o passar do tempo o concreto inevitavelmente sofre com ações de agentes do meio ambiente e condições de uso. Somente assim é possível atingir a durabilidade e vida útil esperadas.

Portanto a vida útil deve sempre ser analisada de maneira ampla pois envolve o projeto, a execução, os materiais, o uso, operação e a manutenção sob o enfoque de desempenho, qualidade e sustentabilidade (MEDEIROS; ANDRADE; HELENE, 2011).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) tem abordado a durabilidade do concreto armado frequentemente. As atualizações de normas como a NBR 6118 demonstram claramente uma preocupação maior com a durabilidade ao tomar medidas como o aumento da espessura do cobrimento de peças em concreto armado e a redução da relação água/cimento.

O cobrimento maior da peça é fundamental para a durabilidade da mesma, pois assim o aço estará mais protegido pela camada maior de concreto. A redução da relação água/cimento na traço do concreto resulta em um concreto menos poroso. O concreto menos poroso protege a si e o portanto também o aço à penetração de agentes nocivos, como por exemplo, o gás carbônico que pode levar à carbonatação do concreto e conseqüentemente à corrosão da armadura. Portanto, ambas as medidas reforçadas a cada atualização da NBR 6118 visam uma durabilidade maior e prolongar a vida útil de estruturas de concreto armado.

A crescente preocupação da ABNT com durabilidade e vida útil ficou ainda mais evidente com a NBR 15575:2013. Chamada de Edificações habitacionais – desempenho, a NBR 15575:2013 instituiu incumbências a fornecedores, projetista, construtor e incorporador, e usuário. Além disso estabeleceu critérios e requisitos mínimos de desempenho a serem avaliados em edificações habitacionais, como um todo, bem como de forma isolada um ou mais sistemas específicos.

Segundo a NBR 15575, as incumbências são:

- Fornecedor: caracterizar o desempenho dos materiais e sistemas, de acordo com os requisitos e critérios desta norma.
- Projetista: estabelecer a vida útil projetada de cada sistema da norma com base na seção 14, durabilidade e manutenibilidade.
- Construtor: elaborar o manual de operação uso e manutenção, ou documento similar.
- Incorporador: identificação dos riscos previsíveis na época do projeto. A presença de um aterro sanitário na área de implantação do empreendimento é um exemplo de risco previsível.
- Usuário: ao usuário cabe realizar a manutenção de acordo com o manual de operação, uso e manutenção, ou documento similar e a ABNT NBR 5674.

A vida útil é um conceito quantitativo associado a um período de tempo. Esta mesma NBR 15575:2013 define vida útil de projeto como sendo o

Período estimado de tempo para o qual um sistema é projetado a fim de atender aos requisitos de desempenho estabelecidos nesta norma, considerando o atendimento aos requisitos das normas aplicáveis, o estágio do conhecimento no momento do projeto e supondo o cumprimento da periodicidade e correta execução dos processos de manutenção especificados no respectivo Manual de Uso, Operação e Manutenção (ABNT, 2013).

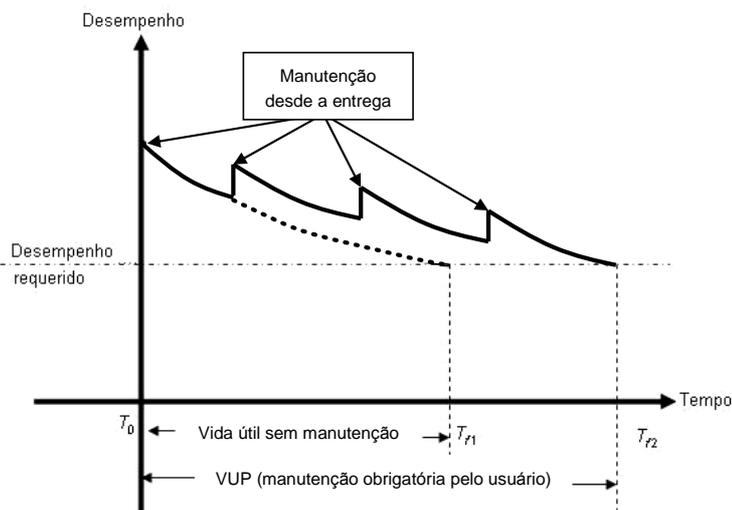
Segundo a norma, tornou-se necessário a determinação de uma vida útil de projeto mínima, para balizar todo o processo de produção do bem. Antes desta medida, os usuários estavam sendo lesados ao adquirir um imóvel com uma vida útil de projeto excessivamente baixa tendo então que futuramente arcar com os custos de reforma e reforço, não estabelecidos previamente, para prolongar a vida útil. Reformas e reforços precoces utilizam matérias primas desnecessariamente, sendo assim, construções duráveis e de vida útil maior são mais sustentáveis por terem impactos ambientais menores.

Tendo em vista tais argumentos, a NBR 15575:2013 estabeleceu que a vida útil de projeto da estrutura de uma edificação habitacional deva ser de no mínimo cinquenta anos.

2.2 MANUTENÇÃO PREDIAL

A vida útil de uma estrutura está intrinsecamente ligada às ações de manutenção executadas. O projetista estrutural ao definir a vida útil de projeto, deve também estabelecer as ações de manutenção que devem ser realizadas para garantir o atendimento à vida útil de projeto. A Figura 2 ilustra como a manutenção pode aumentar a vida útil da edificação.

Figura 2 – Desempenho ao longo do tempo

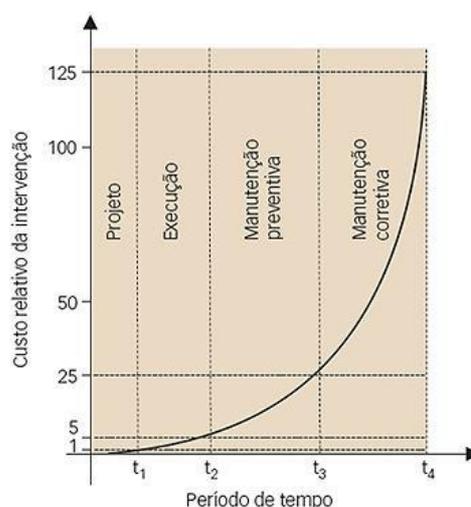


Fonte: NBR 15575:2013 Anexo C

Na grande maioria dos casos, as dificuldades técnicas, os custos e as patologias, quando não reparadas, aumentam de maneira desproporcional, em função da idade de suas causas. Por isso, quanto mais cedo é realizada a intervenção, menores serão os danos provocados pelas patologias, as dificuldades técnicas para saná-los, e, logo, custos dos reparos também serão menores (SILVA, 2010).

A evolução dos custos com reparos cresce de maneira exponencial com o passar do tempo. A lei de Sitter, também conhecida com lei dos 5, estabelece que a evolução dos custos das medidas de intervenção pode ser representado por uma progressão geométrica de razão, conforme mostra a figura 3.

Figura 3 – Evolução dos custos de intervenção em função da fase da vida útil da estrutura



Fonte: (CEB, 1984 apud Helene, 1992)

2.3 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

De acordo com Helene (1998):

Patologia pode ser entendida como parte da engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e as origens dos defeitos das construções civis, ou seja, é o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema (HELENE, 1998).

Também Azevedo (2011), caracterizou manifestação patológica como sendo:

Em geral, os danos que...constituem indícios de comportamento irregular de componentes do sistema, devendo ser devidamente avaliados e adequadamente corrigidos para que não venha a comprometer as condições de estabilidade e segurança do elemento danificado ou até da edificação. Esse tipo de dano ou defeito caracteriza o que chamamos de manifestação patológica e é objeto da ciência identificada como Patologia (AZEVEDO, 2011).

A seguir são descritas algumas manifestações patológicas comumente encontradas nas edificações, são elas: carbonatação; contaminação por cloretos; corrosão das armaduras; lixiviação e eflorescência e fissuras, trincas e rachaduras.

2.3.1 Carbonatação no Concreto

Segundo Cascudo e Carasek (2011), carbonatação é a transformação de íons alcalinos como os cátions de sódio, potássio e, principalmente, de cálcio, em sais de carbonatos desses elementos, pela ação ácida do gás carbônico (CO₂) presente no ar. Apesar da ação preponderante do gás carbônico, outros gases ácidos como o dióxido de enxofre (SO₂) e o gás sulfídrico (H₂S) também podem produzir o mesmo efeito.

O concreto possui uma alta alcalinidade, com pH em geral variando de 12,5 a 13,5 graças, principalmente, ao hidróxido de Cálcio, Ca(OH)₂, das reações de hidratação do cimento. O CO₂ no ar ou em águas agressivas reage com o Ca(OH)₂ formando o carbonato de cálcio (CaCO₃), insolúvel, conforme demonstra a Equação 1. Este processo leva a queda do pH do concreto de 13 para aproximadamente 9, que é o pH que precipita o CaCO₃ (SILVA,1995).



Segundo Neville (1997), 0,03% de concentração de CO₂ no ar é suficiente para provocar carbonatação, o que de acordo com o referido autor é a concentração típica de ambientes rurais. O Quadro 2 ilustra as concentrações típicas de diversos ambientes.

Quadro 2 – Concentração volumétrica de CO₂ no ar em relação a diversos tipos de ambiente

Concentração de CO ₂ no ar (em volume)	Tipo de Ambiente
0,03%	Ambiente rural
0,10%	Ambiente de laboratório
0,30%	Ambiente urbano
1,00%	Ambiente urbano-industrial

Fonte: (Neville, 1997)

De acordo com Cascudo e Carasek (2011), também pode ocorrer a carbonatação do silicato de cálcio hidratado (C-S-H), e das fases aluminato. Apesar disso, a carbonatação mais relevante é a do hidróxido de cálcio, pois este é mais

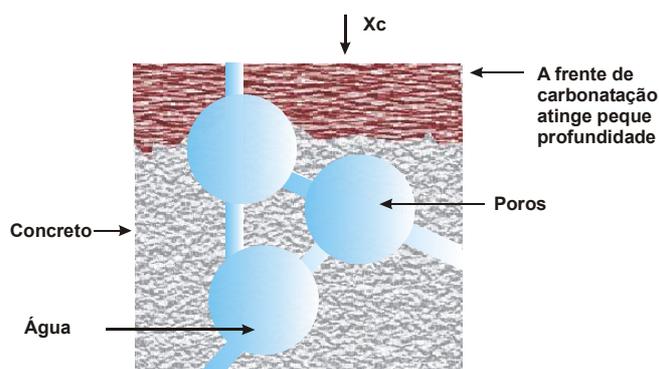
solúvel e também reage mais rapidamente com o CO_2 do que o C-S-H e as fases de aluminato.

A carbonatação ocorre a uma velocidade relativamente lenta, atenuando-se com o tempo. Isso porque o carbonato de cálcio possui um volume maior do que os hidratos responsáveis por sua formação levando ao preenchimento dos poros.

O avanço do gás carbônico para camadas mais profundas do concreto, acontece através de difusão. Por ser um material microporoso, a penetração de CO_2 no concreto será determinada pela forma da estrutura do poro e se os poros estão preenchidos por água ou não. No caso dos poros do concreto estarem totalmente preenchidos com água, quase não haverá carbonatação, por causa da baixa taxa de difusão do CO_2 na água.

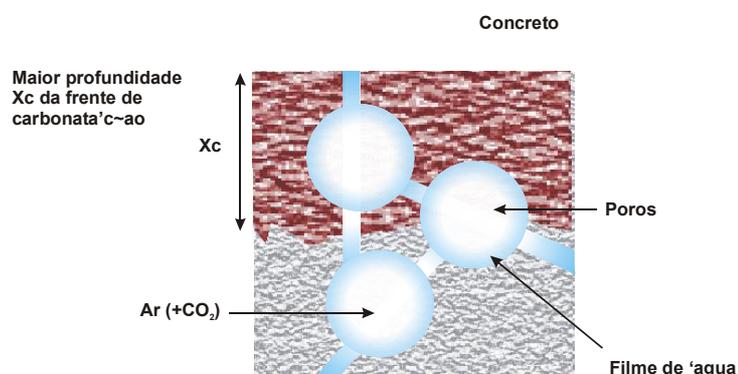
A Figura 4 demonstra a carbonatação parcial do concreto saturado com água. Porém, se os poros estiverem parcialmente preenchidos com água, como mostra a Figura 5, normalmente próximo à superfície do concreto, a frente de carbonatação progride até profundidades em que os poros apresentam esta condição favorável.

Figura 4 – Representação esquemática de carbonatação parcial do concreto saturado com água



Fonte : (CASCUDO, 1997 apud POLITO, 2006)

Figura 5 – Representação esquemática de carbonatação parcial do concreto com poros parcialmente com água



Fonte : (CASCUDO, 1997 apud POLITO, 2006)

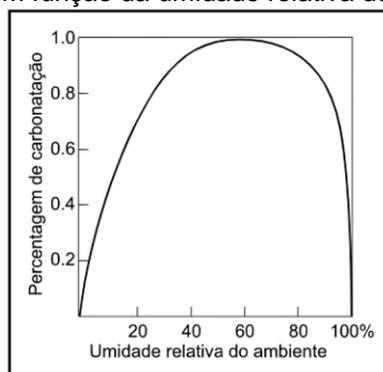
O fenômeno da carbonatação se dá pelo mecanismo de difusão. A velocidade e profundidade de carbonatação dependem de fatores externos e intrínsecos ao concreto. Alguns dos fatores externos são teor de CO_2 no ar, temperatura e umidade relativa. Enquanto que os fatores intrínsecos ao concreto são os sistemas de poros e o pH do concreto.

Como era de se esperar o medida que a concentração de CO_2 no ar é mais elevada, o fenômeno é mais agressivo. Isso porque, locais onde a concentração de CO_2 é maior geram maiores gradientes de concentração do CO_2 do meio externo com o interno do concreto. Este maior gradiente leva a maiores taxas de difusão do CO_2 no concreto, logo a carbonatação é mais rápida e intensa (CASCUDO e CARASEK, 2011).

Cascudo e Carasek (2011) afirmam que o aumento da temperatura funciona como catalizador de reações químicas. Portanto, temperaturas elevadas favorecem a ocorrência das reações químicas da carbonatação.

Estudos observaram que a umidade relativa do ar influencia o avanço da carbonatação. De acordo com Papadakis (1992) as maiores profundidades de carbonatação ocorrem para umidades entre 50% e 65%. A Figura 6 demonstra a relação entre a umidade relativa e o grau de carbonatação.

Figura 6 –Grau de carbonatação em função da umidade relativa do ambiente.

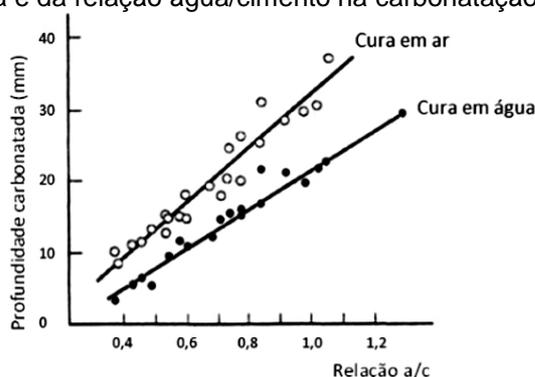


Fonte: (VENUAT, 1977 apud ROSENBERG et al. ,1989)

Outro fator que influencia a carbonatação do concreto é a porosidade. Quanto maior a relação água/cimento do concreto maior a porosidade e permeabilidade do concreto portanto maior facilidade terá o CO_2 para penetrar o concreto.

A cura do concreto também tem papel importante. Quando feita de forma adequada impede a evaporação da água de amassamento evitando assim a retração plástica, que por sua vez, leva a fissuração do concreto. O concreto sem fissuras dificulta a penetração do gás carbônico no concreto. A Figura 7 demonstra a importância da relação água/cimento e de uma cura adequada para garantir uma menor carbonatação.

Figura 7 – Influência da cura e da relação água/cimento na carbonatação do concreto



Fonte: (CASCUDO; CARASEK, 2011 p. 858)

De acordo com Cascudo e Carasek (2011), uma característica da carbonatação é a existência de uma “frente” de avanço que separa duas áreas de pH muito diferentes, uma com pH baixo, em torno de 9 ou menor, e outra com pH alto, acima de 12. É de grande importância que ela não se aproxime na armadura, uma vez que em zonas de pH baixo (9 ou menor) não há condições de manutenção da película de passivação em volta do aço.

Com a quebra da película de passivação tem-se a corrosão do aço como se este estivesse simplesmente exposto ao ar, sem proteção. Há ainda o agravante da umidade presente no concreto e portanto em contato com a armadura por mais tempo do que quando exposta à atmosfera, pois o concreto absorve umidade muito rapidamente e seca bem mais lentamente (CASCUDO, 2000).

Existem várias técnicas para a avaliação da carbonatação como o emprego de indicadores de pH, termogravimetria, difração de raios X, a espectroscopia de infravermelho, e a densimetria por radiação gama. O emprego de indicadores de pH é o mais comumente empregado, principalmente, “in loco”. Trata-se da medição da frente de carbonatação do concreto por meio de indicadores como a fenolftaleína, a timolftaleína ou amarelo de alizarina.

O teste é feito com o borrifar do indicador na superfície recém exposta que em contato com a solução alcalina do concreto assume um coloração típica. A timolftaleína adquire uma coloração azulada com pHs iguais à faixa compreendida entre 9,3 a 10,5 ou superiores, enquanto a fenolftaleína assume a coloração vermelha com pHs da ordem de 8,0 a 9,8 ou superiores (Figura 8) e o amarelo de alizarina adquire a coloração amarela com pHs da ordem de 10,1 e 12,0 ou superiores.

Figura 8 – Fenolftaleína aplicada em corpo de prova



Fonte: (ROCHA, 2005 p.6)

2.3.2 Contaminação do Concreto por Cloretos

De acordo com HELENE (1986), a corrosão da armadura pela ação de íons de cloreto é frequentemente apontada como uma das patologias mais sérias que sofre esse material.

Segundo FIGUEIREDO (2011), os íons de cloreto podem chegar até o interior do concreto através de diversas formas:

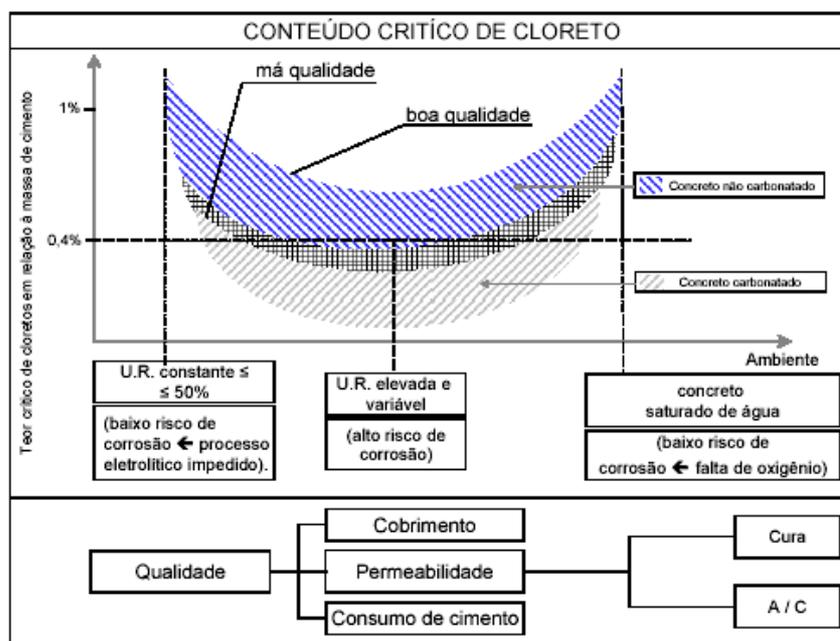
- a) com o uso de aceleradores de pega que contêm CaCl_2 ;
- b) na forma de impurezas dos agregados e da água de amassamento;
- c) pela atmosfera marinha (maresia);
- d) água do mar;
- e) uso de sais de degelo; e
- f) processos industriais.

Ainda segundo o referido autor, os íons de cloreto podem ser encontrados no interior do concreto em uma das três formas:

- a) quimicamente combinados com as fases alumino-ferríticas;
- b) fisicamente absorvidos na superfície dos poros capilares; e
- c) livres na solução dos poros do concreto.

Certa quantidade de íons de cloreto pode ser suportada sem que haja risco de corrosão, já que, a reação com os aluminatos do cimento impede que estes íons estejam livres para atacar o filme passivante (FIGUEIREDO apud HANSSON, 1985). Apesar disso, há um valor limite de concentração para o qual os íons de cloreto podem romper a camada passivante, de forma localizada, e, conseqüentemente, iniciar a corrosão. O CEB-FIP (1992), Figura 9, apresenta variação do teor crítico em função da qualidade do concreto e umidade ambiente.

Figura 9 – Esquema de variação do teor crítico em função da qualidade do concreto e umidade ambiente



Fonte: (CEB-FIP,1992 apud FIGUEIREDO, 2011 p.888)

Não há um consenso geral sobre esse valor limite, que está associado a uma quantidade de cloretos por massa de cimento. O ACI 222R (1985) estabelece um limite máximo de 0,15% de cloretos por massa de cimento, enquanto outras normas de alguns países estabelecem diferentes limites para a concentração de cloreto, conforme mostra o Quadro 3.

Quadro 3 – Teor limite de cloreto para diversas normas.

NORMA	PAÍS	ANO	TEOR DE CLORETOS RECOMENDADO
NBR 6118 (ABNT)	Brasil	2007	Não se reporta ao teor de cloretos.
ACI 318S- 05	USA	2005	≤0,15% em relação à massa de cimento, em ambiente com cloretos.
			≤0,3% em relação à massa de cimento, em ambiente normal.
			≤1% em relação à massa de cimento, em ambiente seco.
			≤0,06% em relação à massa de cimento (concreto protendido).
CEB	Europa	1991	0,40% em relação à massa de cimento
NP EN 206-1	Portugal	2007	
BS 8110:1	Inglaterra	1985	
JCSE-SP2	Japão	1986	
A NBR 6118 (ABNT, 2007) não se reporta ao teor de cloretos, mas enfatiza que não é permitido utilizar aditivos contendo cloretos em sua composição, tanto em estruturas de concreto armado, quanto em protendidas.			

Fonte: (FIGUEIREDO, 2011 p.889)

Segundo Figueiredo (2011), análoga a “frente de carbonatação” tem-se a “frente de alcance dos íons de cloreto” empregado para descrever a penetração do conteúdo crítico de cloretos a partir da superfície do concreto. A execução da medição da penetração da frente é feita através da retirada do concreto em diversas profundidades, preferivelmente na forma de pó, com a utilização de perfuradoras. Se for retirado na forma sólida, o concreto deve ser moído. O teor de cloretos é obtido de acordo com os métodos de ensaio ASTM C1152 (1992) e ASTM C1218 (2008).

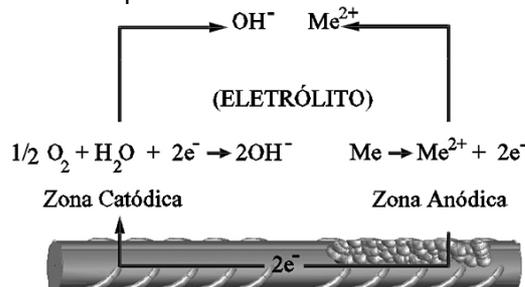
2.3.3 Corrosão das Armaduras das Estruturas de Concreto Armado

Panossian (1993) definiu corrosão metálica como sendo “a transformação de um metal em íon metálico pela interação química ou eletroquímica com o meio em que se encontra”. Na grande maioria dos casos a corrosão é de natureza eletroquímica.

No concreto armado, a perda da estabilidade da camada passivadora é que leva o aço à corrosão. Sendo que carbonatação, contaminação por cloretos, ou a combinação de ambas são responsáveis pela perda desta estabilidade ao romper a camada passivadora. Isto porque a camada passivadora impede o acesso a umidade, oxigênio e agentes agressivos à superfície do aço, além de dificultar a dissolução do aço.

Para que ocorra a corrosão é preciso ter umidade, oxigênio e uma diferença de potencial. O oxigênio em contato com parte da armadura leva a oxidação desta região da armadura, tornando-a uma zona anódica. Conseqüentemente, a área não oxidada torna-se catódica ao consumir os elétrons gerados pela região anódica. Por fim, o eletrólito presente nos poros do concreto resulta na condução iônica pela concreto, provocando o fenômeno de corrosão (FIGUEIREDO e MEIRA, 2011). A Figura 10 representa a pilha de corrosão.

Figura 10 – Representação pilha eletroquímica de corrosão no concreto armado



Fonte: (FIGUEIREDO; MEIRA, 2011 p.906)

Figueiredo e Meira (2011) especificam diferentes tipos de corrosão: a corrosão generalizada; localizada; por pites e com formação de fissuras.

Na corrosão generalizada, existem vários ânodos e cátodos, em uma extensa parte da superfície do aço, formando micropilhas que mudam o tempo todo. A perda de seção pode ocorrer de forma uniforme ou irregular.

Na corrosão localizada o ataque se produz em regiões, anódicas e catódicas, de menor extensão. O desgaste ocupa uma superfície limitada, porém, geralmente, penetra mais rapidamente do que na corrosão generalizada.

A corrosão por pites tem ataques em regiões específicas da superfície metal. Isso porque costuma incidir em função de ataques por contaminantes que rompem a capa passiva em pequenos pontos, como no caso de contaminação por íons de cloreto.

A corrosão com formação de fissuras acontece quando há não só as condições propícias para a corrosão, mas também quando o aço está submetido a tensões significativas de tração. O resultado são fissuras no metal na direção transversal à carga, causando rupturas com níveis baixos de tensão.

A Figura 11 demonstra a aparência da corrosão por carbonatação do concreto e por íons de cloreto.

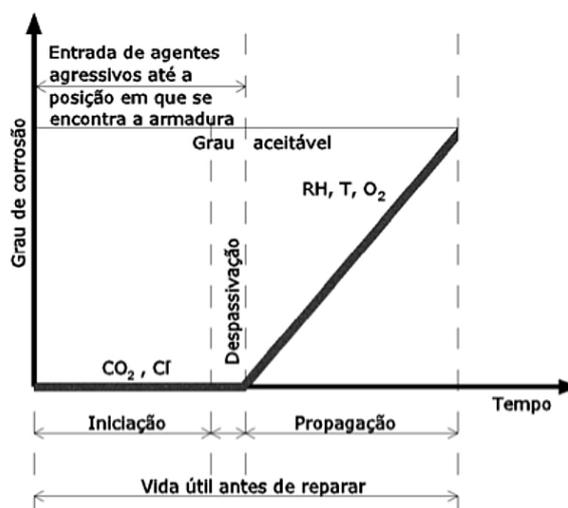
Figura 11 – Aparência superficial da corrosão generalizada desencadeada pela carbonatação do concreto (a) e da corrosão puntiforme desencadeada pela ação dos íons de cloreto (b).



Fonte : (FIGUEIREDO; MEIRA, 2011 p.908)

De acordo com Figueiredo e Meira (2011), os modelos de vida útil, associados a corrosão, geralmente se baseiam no modelo fenomenológico apresentado por Tuutti (1982). O modelo ajustado de Tuutti (1982) possui três fases: iniciação, despassivação e propagação, como mostra a Figura 12.

Figura 12 –Modelo de Tuutti para a corrosão de armaduras – modelo ajustado.



Fonte: (FIGUEIREDO e MEIRA, 2011p.909)

O tempo desde a entrada de agentes agressivos na superfície até o alcance da posição em que se encontra a armadura depende essencialmente da concentração do agente agressivo no ambiente, as características do concreto, e as condições de interação ambiente.

2.3.4 Lixiviação e Eflorescência

De acordo com Souza e Ripper (1998), o fenômeno da eflorescência é causado pela lixiviação de águas puras. A lixiviação é o movimento das águas puras através dos poros da peça dissolvendo e arrastando os sais solúveis existentes na massa de cimento Portland até a superfície.

A eflorescência ocorre quando os sais, como o hidróxido de cálcio, retidos na superfície, reagem com o dióxido de carbono presente no ar formando estalactites e estalagmites conforme mostra a Figura 13. Ocorre frequentemente em lajes, fachadas e outras estruturas expostas a chuva.

Figura 13 – Eflorescência em laje de concreto armado



Fonte: Do Autor

Ainda segundo os referidos autores, quanto mais poroso o concreto, maior a intensidade da lixiviação. A dissolução, o transporte e a deposição do hidróxido de cálcio dão lugar à decomposição de outros hidratos, com o conseqüente aumento da porosidade do concreto que, com o tempo, se desintegra.

O resultado da eflorescência é a queda do pH do concreto, o que favorece a corrosão. É o processo de corrosão que ocorre mais frequentemente. Podendo levar, em pouco tempo, o elemento estrutural atacado à ruína (SOUZA e RIPPER (1998)).

2.3.5 Fissuras, Trincas e Rachaduras

Segundo Oliveira (2012), “Fissuras, trincas e rachaduras são manifestações patológicas das edificações observadas em alvenarias, vigas, pilares, lajes, pisos entre outros elementos, geralmente causadas por tensões dos materiais. Se os materiais forem solicitados com um esforço maior que sua resistência acontece a falha provocando uma abertura, e conforme sua espessura será classificada como fissura, trinca, rachadura, fenda ou brecha”.

A Tabela 1 mostra as aberturas características de fissuras, trincas, rachaduras, fenda e brechas.

Tabela 1 – Abertura de fissuras, trincas, rachaduras, fendas e brechas.

Nomeclatura	Abertura (mm)
Fissura capilar	menos de 0,2
Fissura	de 0,2 até 0,5
Trinca	de 0,5 a 1,5
Rachadura	de 1,5 até 5,0
Fenda	de 5,0 até 10,0
Brecha	mais de 10,0

Fonte: (OLIVIARI, 2003)

Segundo a NBR 6118 (ABNT,2004) a abertura máxima permitida das fissuras sem que haja a diminuição da vida útil do elemento é de 0,4 mm.

Existe várias causas para a fissuração em diversos materiais, algumas das causas estão expostas na Tabela 2.

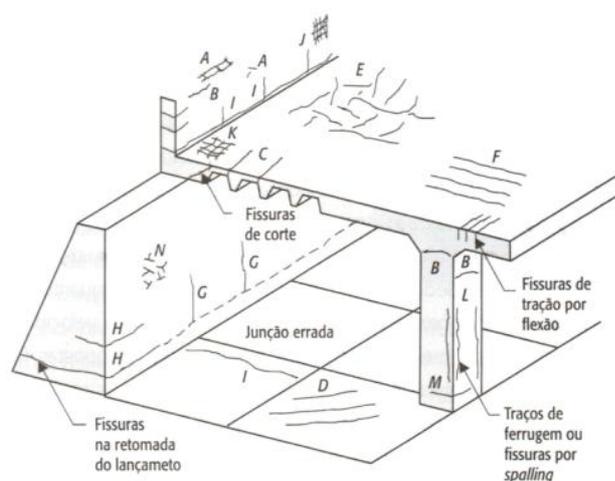
Tabela 2 – Causas de Fissuração

Causas de fissuração	Aspectos particulares
Recalques de fundação	Assentamentos diferenciais de fundações diretas Variação do teor de umidade dos solos argilosos Heterogeneidade e deficiente compactação de aterros
Atuação de sobrecargas	Concentração de cargas e tensões
Deformações das estruturas de concreto armado	Pavimento inferior mais deformável que o superior Pavimento inferior menos deformável que o superior Pavimento inferior e superior com deformação idêntica Fissuração devida à deformação da região em balanço Fissuração devida à rotação do pavimento no apoio Fissuração de "bigode" nos vértices de aberturas Deformação instantânea ou lenta do concreto
Variações de temperatura	Fissuração devida aos movimentos das coberturas Fissuração devida aos movimentos das estruturas reticuladas Fissuração devida aos movimentos da própria parede
Variações de umidade	Movimentos reversíveis e irreversíveis Fissuração devido à variação do teor de umidade por causas externas Fissuração devido à variação natural do teor de umidade dos materiais Fissuração devida à retração das argamassas Fissuração devida à expansão irreversível dos produtos cerâmicos
Ataques químicos	Hidratação retardada da cal Expansão das argamassas e concretos por ação dos sulfatos Retração das argamassas por carbonatação
Outros casos de fissuração	Ações acidentais (sismo, incêndios e impactos fortuitos) Retração da argamassa e expansão irreversível de produtos cerâmicos Choque-térmico Envelhecimento e degradação natural dos materiais e das estruturas

Fonte: (SAHADE, 2005)

Há inúmeros tipos de fissuras encontradas, algumas das tipologias das fissuras encontram-se na Figura 14.

Figura 14 – Tipologia de fissuras



Fonte: (Concrete Society apud GRANATO, 2012)

2.3.6 Outras Manifestações Patológicas

Além das referidas manifestações patológicas existem diversas outras como reação álcali-agregado, ataque por sulfatos entre outras mostradas nos Quadros 4 e 5.

Quadro 4 – Principais patologias, mecanismos e prevenção em concreto e armadura

Origem	Mecanismos de deterioração	Sintoma	Situações típicas	Mecanismo de formação	Ações preventivas
concreto	Lixiviação	Eflorescência	Percolação de água em fissuras ou alta permeabilidade.	Dissolução dos compostos da pasta por águas puras, carbônicas ou ácidas	Baixa relação a/c; Tratamento de fissura ou superficial
	Ataques por sulfatos	Fissuração e perda de massa (resistência)	Tubulações de esgoto, blocos de fundação, elementos em contato com solo contaminado.	Expansão por sulfatos com aluminatos e CH da pasta, com formação de stringita; Decomposição do C-S-H devido à formação de gipsita.	Baixa relação água/cimento; Emprego de cimento resistente a sulfato.
	Reação álcali agregado	Expansão e fissuração	Barragens, Blocos de fundação (ambientes úmidos)	Reação entre a sílica dos agregados e os álcalis do cimento e íons hidróxido, formando gel expansivo, em presença de água.	Uso de agregado não reativo e/ou cimento com baixo teor de álcalis; Controle do acesso de água; Cimento com escória ou pozolana.
	Reação superficial de agregados	Manchamento superficial	Superfícies úmidas	Oxidação de produtos ferruginosos dos agregados	Emprego de agregados não deletérios
	Atrito seco	Desgaste da superfície	Pavimentação com tráfego pesado	Atrito entre superfícies sólidas	Baixa relação água/cimento; Tratamento superficial de proteção
	Erosão		Canais e condutos abertos	Água com partículas sólidas	
	Cavitação		Condutos forçados	Sucção em desvios de	
Armadura	Corrosão de armaduras	Expansão, fissuração e lascamentos	Pecas de concreto armado sujeitas a agentes agressivos; Formação de célula de corrosão eletroquímica	Perda da alcalinidade pela carbonatação; redução do pH; despassivação da armadura; Ataque por íons de cloreto; penetração dos íons por difusão até armadura.	Baixa relação a/c; Aumento da espessura de cobrimento.

Fonte: (AZEVEDO, 2011)

Quadro 5 - Principais patologias, mecanismos e prevenção na estrutura

Estrutura	Ações Mecânicas	Fissuras e lascas	Pilares em garagens, guarda-corpos, etc.	Menor resistência a choques, impactos, recalques, acidentes, incêndios, sismos, etc.	Barreiras de proteção; Precisões de ações em projeto, quando possível.
		Deformações e fissuras	Lajes e vigas	Cargas excepcionais elevadas	Conscientização do usuário; Manual de manutenção.
	Dilatação Térmica	Fissuras vertiais em contato com o elemento que restringe a contração	Concreto e massa em barragens, blocos de fundação de grandes volumes.	Devido ao calor de hidratação do cimento, há volume e, após o resfriamento, contrai, ocasionando tração, haja restrição na base.	Cimento com baixo calor de hidratação; Baixo consumo de cimento; Menor restrição imposta pela base; Concretagem em camadas; Redução da temperatura (pré ou pós-resfriamento)
	Retração hidráulica restringida	Fissuras	Pavimentos e grandes lajes.	Fissuras de tração, nas primeiras idades: perda prematura de água no concreto.	Menor consumo de cimento; Cura adequada; Controle da ventilação

Fonte: (AZEVEDO, 2011)

2.3 MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

No início da década de noventa, de acordo com autores de métodos de avaliação de estruturas, como Castro (1994) e Lopes (1998), embora existisse uma crescente preocupação com a durabilidade e manutenção estrutural não havia no Brasil nenhuma norma que estabelecesse critérios objetivos de manutenção em edificações usuais.

Em 1987, a RILEM instituiu, o Technical Committee 104 – Damage Classification of Concrete Structures com a finalidade de unificar na Europa os métodos de teste e diagnóstico de estruturas de concreto. O 104 – DCC enfatiza a necessidade de sistemas de classificação quantitativa dos danos com “o objetivo primordial de minimizar a natureza subjetiva dos dados obtidos” (RILEM, 1991). Sendo este o objetivo das metodologias apresentadas por Castro (1994), Lopes (1998) e Boldo (2002).

Atualmente, está em vigor no Brasil a NBR 5674 (ABNT, 2012) que estabelece os requisitos para a gestão do sistema de manutenção de edifícios. Apesar da NBR 5674 apresentar modelos de sistematização das atividades de manutenção ela não apresenta nenhuma metodologia para realizar a inspeção. Com isso, as metodologias para avaliação quantitativas de estruturas de concreto continuam sendo de grande valia para os profissionais encarregados de realizar a inspeção, bem como, para os usuários da edificação.

Recentemente, no dia 11 de novembro de 2013 entrou em vigor a NBR 16230 (ABNT, 2013) que estabelece os requisitos para qualificação e certificação de pessoal para inspeção de estruturas de concreto. A norma, ao estabelecer requisitos mínimos como, por exemplo, escolaridade e experiência profissional para os inspetores vai de encontro com os objetivos de Castro (1994), Lopes (1998) e Boldo (2002) de minimizar a natureza subjetiva dos dados coletados em inspeções. Isso porque um inspetor capacitado e experiente produz avaliações mais precisas e fundamentadas.

2.3.2 Metodologia de KLEIN et al (1991)

A metodologia de Klein *et al* (1991) é o resultado de um convênio firmado entre a Prefeitura Municipal de Porto Alegre e a Universidade Federal do Rio Grande do Sul para criar e implementar um processo de vistorias sistematizadas em estruturas de obras de arte com o objetivo de guiar a manutenção periódicas destas estruturas.

As obras de arte são divididas em família de elementos. A metodologia também introduz os parâmetros fator de intensidade do dano (FI); fator de relevância estrutural (FR); fator de gravidade do dano (FG); grau de risco do elemento (GRE); grau de risco da família de elementos (GRF) e grau de risco da estrutura (GR).

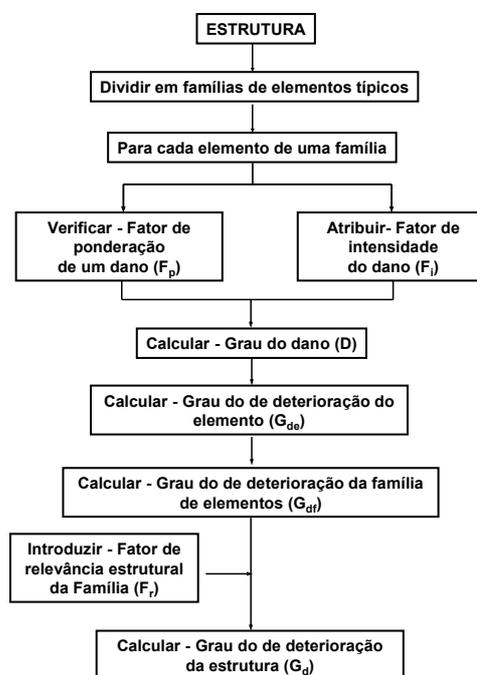
Ao todo foram efetuadas onze vistorias em obras de arte na cidade de Porto Alegre. Os resultados obtidos foram considerados satisfatórios na classificação da estrutura de acordo com a gravidade das manifestações patológicas encontradas.

2.3.3 Metodologia de CASTRO (1994)

Inicialmente, Eliane Castro tentou estender a metodologia de Klein *et al* (1991) para edificações usuais, porém não foi possível principalmente devido à tipologia extremamente específica de obras de arte. Logo, foi desenvolvida uma nova metodologia baseada em princípios presentes na proposta de Klein. Adotou-se o modelo desenvolvido por Tuuttii (1982) de evolução do processo de corrosão como base para demonstrar a evolução do dano e consequente deterioração da estrutura.

O fluxograma da Figura 15, mostra os procedimentos básicos a serem seguidos nessa metodologia.

Figura 15 – Fluxograma da metodologia para o cálculo do grau de deterioração da estrutura (G_d)



Fonte: (CASTRO, 1994 p.56)

Divide-se a estrutura em *famílias* de elementos típicos: pilares, vigas, lajes, cortinas, escadas e rampas, reservatório superior, reservatório inferior, blocos de fundação, juntas de dilatação e elementos de composição arquitetônica. Para cada família são listadas as possíveis *manifestações de danos*, específicas dos elementos daquela família, com o respectivo *fator de ponderação*.

Foi criado um Caderno de Inspeção contendo todas as famílias, as possíveis manifestações de danos de cada família. O profissional responsável pela vistoria utiliza os critérios previamente estabelecidos no Caderno de Inspeção para atribuir o *fator de intensidade* do dano em cada elemento.

A metodologia de Castro (1994) foi apresentada na sua dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Brasília.

2.3.4 Alterações à Metodologia de Castro (1994) – Proposta por Lopes (1998)

Fruto do trabalho de dissertação de Lopes (1998) que teve como objetivo o aperfeiçoamento do sistema de manutenção predial desenvolvido e utilizado pelo

Banco do Brasil desde 1989, chamado Sistema de Conservação Predial (Siscop).

Foram feitas poucas alterações na metodologia de Castro (1994) segundo comenta Lopes “Antes da utilização da metodologia em seis prédios de uso comercial de propriedade do Banco do Brasil S.A., verificou-se a necessidade de algumas pequenas alterações na metodologia, visando uma maior abrangência e facilidade de sua aplicação.” Dentre as alterações destaca-se a modificação da formulação do cálculo do grau de deterioração de um elemento (G_{de}).

2.3.5 Propostas de Alteração na Metodologia Feita por Boldo (2002)

As alterações propostas por Boldo em 2002 encontram-se resumidas a seguir:

a) Propôs a mudança do nome do Caderno de Inspeção para Roteiro de Inspeção para Estruturas de Concreto, para segundo Boldo, enfatizar a importância de usá-lo rigorosamente nas inspeções.

b) Foram acrescentados os conceitos de todos os vinte tipos de danos inclusos nas planilhas de inspeção para, segundo o referido autor, facilitar o entendimento dos mesmos.

c) A tabela A.1, apresentada no anexo A, classificação dos danos e fatores de intensidade, do Roteiro de Inspeção passou a conter todos os vinte tipos de danos.

d) Acrescentou-se ao Roteiro de Inspeção um anexo de fotos ilustrativas de danos com seus respectivos fatores de ponderação.

e) Alguns danos foram acrescentados a famílias que não os continham, como por exemplo na família viga e escadas/rampas que tiveram adicionado o dano sinais de esmagamento. O inverso ocorreu com a família junta de dilatação, que passou a ter somente dois danos.

f) O dano manchas passou a ter três fatores de intensidade, atribuídos ao percentual da área afetada. Segundo Boldo, para classificar este dano de maneira mais numérica.

g) Foi atribuído o fator de relevância igual a três para o elemento junta de dilatação.

h) Foi extinto o dano ligação deficiente à estrutura.

i) O fator de relevância do elemento laje teve um aumento de três para cinco.

j) Foi adotada a formula de Lopes (1998) para cálculo do grau de deterioração da estrutura, por usar uma única expressão, e, segundo Boldo, para proporcionar a avaliação da evolução do G_{de} mais consistente.

k) A fórmula do grau de deterioração (G_{df}) da família conforme definido por Castro (1994) é a média aritmética dos elementos com danos (G_{de}) iguais ou maiores a 15. Porém de acordo com Boldo “verificou-se que, com o uso da média aritmética, um elemento estrutural com G_{de} elevado, teria sua situação “mascarada”, pela existência de elementos com G_{de} pouco maiores que 15, de modo que o acréscimo de danos vem amenizar a avaliação da situação da estrutura, ao invés de agravá-la”. Portanto, utiliza-se a formulação com os mesmos princípios daquela proposta por Lopes (1998) que ressalta a importância do elemento com elevado grau de deterioração.

l) Modificações nas tabelas de classificação dos níveis de deterioração do elemento e da estrutura para, segundo o referido autor, tornar mais objetivas as ações a serem tomadas.

Assim como Castro (1994), todas as alterações propostas por Boldo (2002) foram apresentadas na sua dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Brasília.

2.3.6 Definição dos Parâmetros de Acordo com as Alterações Feitas por Boldo (2002)

Fator de ponderação (F_p) – Fator pré-estabelecido, contido no Roteiro de Inspeção avalia a importância de determinado dano em cada família, em uma escala de 0 a 10.

Fator de intensidade (F_i) – Fator atribuído pelo profissional durante a vistoria, de acordo com a gravidade da manifestação em uma escala de 0 a 4.

O grau do dano (D) é determinado em função do F_p e do F_i . Se o dano tiver um fator igual ou menor a dois utiliza-se a Equação 2. Caso o fator tenha um fator maior que dois usa-se a Equação 3.

$$D = 0,4 Fi Fp \quad (\text{Equação 2})$$

$$D = (6 Fi - 14)Fp \quad (\text{Equação 3})$$

O grau de deterioração de um elemento estrutural (G_{de}) é determinado a partir dos graus de dano D das várias manifestações detectadas no elemento (Equação 4).

$$G_{de} = D_{m\acute{a}x} \left[1 + \frac{\sum D(i) - D_{m\acute{a}x}}{\sum D(i)} \right] \quad (\text{Equação 4})$$

Os níveis de deterioração do elemento são dados conforme mostra a Tabela 3.

Tabela 3 – Classificação dos níveis de deterioração do elemento

Nível de deterioração	G_{de}	Ações a serem adotadas
Baixo	0 - 15	Estado aceitável. Manutenção preventiva.
Médio	15 - 50	Definir prazo/natureza para nova inspeção. Planejar intervenção em médio prazo (máx. 2 anos).
Alto	50 - 80	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em curto prazo (máx. 1 ano).
Crítico	> 80	Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata.

Fonte: (Boldo, 2002)

O grau de deterioração de uma família de elementos (G_{df}) toma como base somente os elementos com G_{de} maior ou igual a quinze. A Equação 5 mostra sua formulação.

$$G_{df} = G_{dem\acute{a}x} \left[1 + \frac{\sum G_{de}(i) - G_{dem\acute{a}x}}{\sum G_{de}(i)} \right] \quad (\text{Equação 5})$$

O fator de relevância estrutural da família (F_r) é a medida de relevância da família em toda a estrutura. Seus valores são:

- Elementos de composição arquitetônica: $Fr = 1,0$
- Reservatório superior: $Fr = 2,0$
- Escadas/rampas, reservatório inferior, cortinas, lajes secundárias: $Fr = 3,0$
- Lajes, fundações, vigas secundárias, pilares secundários: $Fr = 4,0$

- Vigas e Pilares principais:

Fr = 5,0

O grau de deterioração da estrutura (G_d) é a medida de deterioração da estrutura como um todo (Equação 6).

$$G_d = \frac{\sum Fr(i) G_d f(i)}{\sum Fr(i)} \quad (\text{Equação 6})$$

Finalmente, tem-se a classificação dos níveis de deterioração da estrutura, conforme ilustra a Tabela 4.

Tabela 4 – Classificação dos níveis de deterioração da estrutura

Nível de deterioração	G_{de}	Ações a serem adotadas
Baixo	0 - 15	Estado aceitável. Manutenção preventiva.
Médio	15 - 40	Definir prazo/natureza para nova inspeção. Planejar intervenção em médio prazo (máx. 2 anos).
Alto	40 - 60	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em curto prazo (máx. 1 ano).
Crítico	> 60	Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata.

Fonte: (Boldo, 2002)

2.4 Método para a Avaliação Predial Qualitativa – IBAPE (2012)

A norma de Inspeção predial do Instituto Brasileiro de Avaliação e Perícia de Engenharia, IBAPE, (2012) tem como objetivo fixar as diretrizes, conceitos, terminologia, convenções, notações, critérios e procedimentos relativos à inspeção predial. Além disso, a norma classifica as inspeções e estabelece a classificação do grau de risco das anomalias e falhas.

Os níveis de inspeção predial podem ser classificados em nível 1, nível 2 e nível 3. A inspeção predial é classificada quanto a sua complexidade e elaboração de laudo, manutenção e operação existentes, características técnicas

O grau de risco é o critério de classificação das anomalias e falhas encontradas na edificação. As anomalias e falhas são classificadas nos seguintes graus de risco: mínimo, médio e crítico.

A falha ou anomalia de grau mínimo oferece o risco de causar pequenos prejuízos à estética ou atividade programável e planejada, sem incidência ou sem a probabilidade de ocorrência dos riscos críticos e regulares, além de baixo ou nenhum comprometimento do valor imobiliário.

O grau médio é aquele que oferece o risco de provocar a perda parcial de desempenho e funcionalidade da edificação sem prejuízo à operação direta de sistemas, e deterioração precoce.

Finalmente, a falha ou anomalia de grau crítico oferece o risco de provocar danos contra a saúde e segurança das pessoas e do meio ambiente; perda excessiva de desempenho e funcionalidade causando possíveis paralisações; aumento excessivo de custo de manutenção e recuperação; comprometimento sensível de vida útil.

3. METODOLOGIA

Diante dos objetivos levantados, foram realizadas vistorias em um edifício residencial na cidade de Brasília, incluindo garagem, pilotis, cobertura e fachada. O método utilizado compreendeu a etapa de levantamento das informações da edificação, realização das vistorias e aplicação da metodologia de Boldo para a estrutura da garagem e as recomendações da Norma de Inspeção Predial do IBAPE/SP (2011).

3.1 Pesquisa e Coleta de Dados

Antes do início dos trabalhos foi feita uma pesquisa sobre os projetos urbanísticos das superquadras, tendo como base a dissertação de Machado (2007). Por a edificação não possuir plantas e documentos oficiais na secretaria regional foram coletadas as informações do edifício como idade, área, número de apartamentos, tipologia e sistema construtivo através de relatos do síndico.

Trata-se de um edifício residencial localizado na cidade de Brasília, construído na década de sessenta. O mesmo é composto por pavimento térreo, 6 andares de apartamentos, sendo seis apartamentos por andar, totalizando trinta e seis apartamentos. A laje de cobertura é protegida por telhado e ainda existem dois reservatórios de água potável e duas coberturas de caixa de escada. O prédio não possui subsolo, sendo a garagem em uma estrutura independente e semienterrada.

Apesar da administração regional não possuir as plantas da época da construção do edifício, as plantas de combate à incêndio, do ano de 2013, do subsolo, pilotis, pavimento tipo e cobertura foram fornecidas pelo síndico.

3.2 Vistoria Predial

Foram feitas vistorias na garagem, pilotis, cobertura e reservatório superior e fachada.

Foi realizado o ensaio de profundidade de carbonatação em dois pilares da garagem, utilizando como indicador a fenolftaleína, assim como, em um pilar do pilotis e também na laje da garagem para verificar a frente de carbonatação.

Realizou-se o registro fotográfico das manifestações patológicas encontradas em todas as áreas vistoriadas, além de um croqui contendo a localização das fotos e testes realizados.

3.3 Análises

Optou-se por dividir a análise em duas, na garagem foi feita a avaliação quantitativa e no restante das áreas (pilotis, laje superior da garagem, cobertura e reservatório superior e fachada) foi feita a análise qualitativa por meio de inspeção visual, devido a existência de forro e revestimentos que impediam a verificação da estrutura. Não foram realizadas vistorias dentro dos apartamentos.

A análise quantitativa seguiu a metodologia de Castro (1994) com as alterações propostas por Boldo (2002). Sendo assim, foi utilizado o Roteiro de Inspeção para Estruturas de Concreto de Boldo (2002).

A análise qualitativa seguiu as recomendações da Norma de Inspeção Predial do IBAPE/SP (2011).

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

A apresentação e análise de resultados deste trabalho está dividida entre as áreas vistoriadas.

Como mencionado anteriormente, a garagem teve sua análise baseada no método de Castro (1994) com as alterações propostas por Boldo (2002) e o restante das áreas teve como base a Norma de Inspeção Predial Nacional do Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia, IBAPE, (2012).

4.1 Garagem

A garagem é, na sua maior parte, externa ao edifício residencial e atende aos três prédios residenciais adjacentes, blocos B, C e D. A Figura 16 mostra um dos portões de entrada.

Figura 16 – Portão de entrada, Fachada Oeste



Fonte: Do Autor

O teto da garagem é composto por duas lajes, frequentemente chamada de laje caixão e não há acesso a região entre as lajes. Existem apenas duas pequenas aberturas feitas, de acordo com o síndico, durante uma reforma no ano passado para arrumar vazamentos provenientes de tubulações embutidas na laje de caixão perdido (Figura 17). Na mesma reforma, foi refeito o sistema de impermeabilização da laje superior. Foi possível verificar que há vigas na laje superior como mostra a foto tirada acima dentro da abertura na laje (Figura 18).

Essa tipologia de laje utilizada no início da construção de Brasília, torna difícil a manutenção das tubulações embutidas além de dificultar a vistoria da estrutura de concreto armado.

Figura 17 – Abertura laje inferior da garagem



Fonte: Do Autor

Figura 18 - Viga da laje superior da garagem

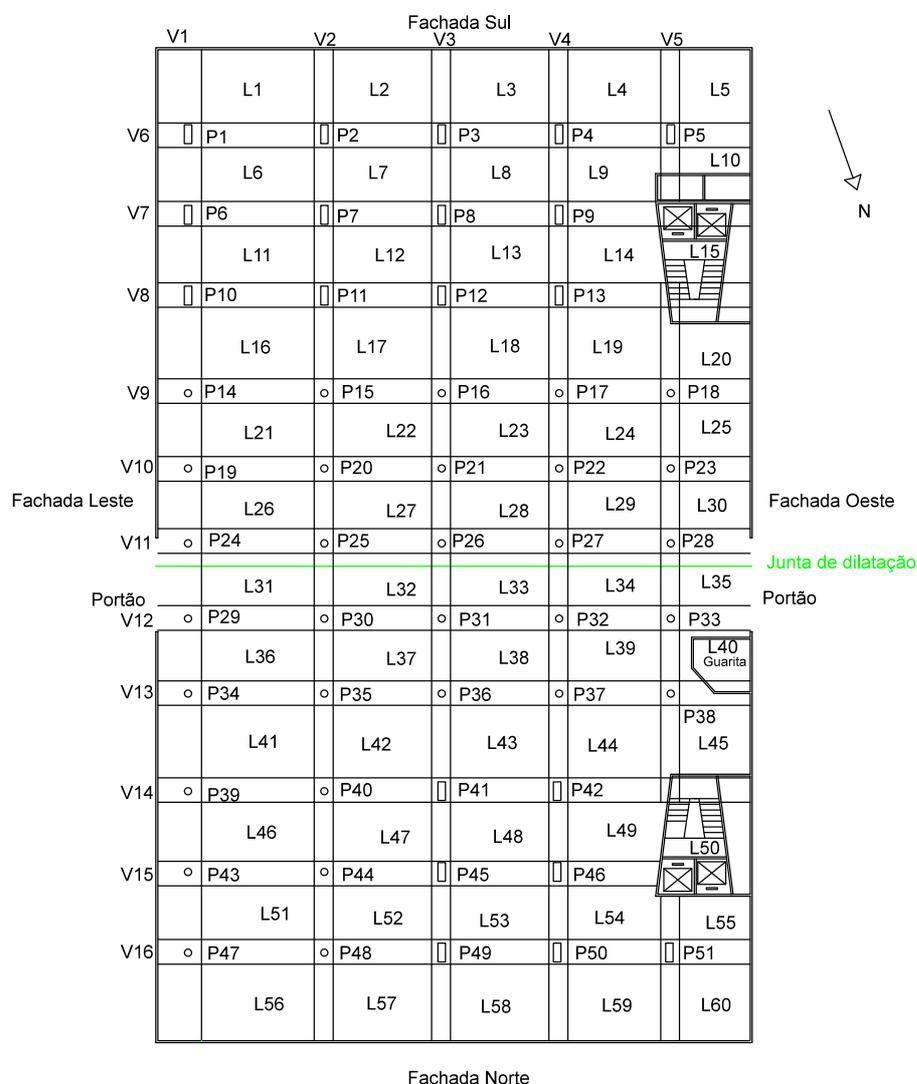


Fonte: Do Autor

Como não foi possível ter acesso a região entre as lajes da garagem somente a laje inferior foi analisada e portanto de agora em diante, sempre que for mencionada a laje estará referindo-se a laje inferior da garagem.

A Figura 19 mostra o croqui da estrutura da garagem feito a partir da planta do projeto de instalações e observações do autor, utilizando o software AutoCad 2013. Os pilares e lajes foram numerados da esquerda para a direita e de cima para baixo. As fachadas foram divididas de acordo com a orientação da garagem.

Figura 19 – Croqui da garagem

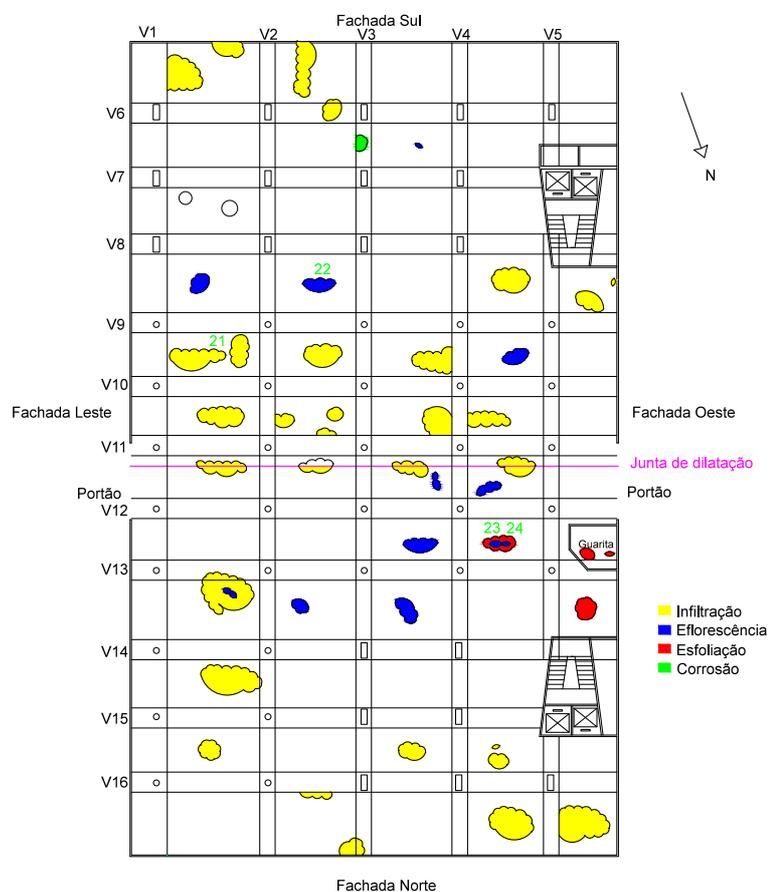


Fonte: Do Autor

4.1.1 Laje

A seguir serão apresentadas as principais manifestações patológicas encontradas nas lajes da garagem. A Figura 20 apresenta um croqui da laje com a localização das manifestações verificadas e indicação das fotos retiradas, as manifestações patológicas foram representadas por regiões coloridas. As manchas de infiltração tem a coloração amarela; eflorescência cor azul; esfoliação cor vermelha e mancha de corrosão cor verde.

Figura 20 – Croqui da laje com as manifestações patológicas localizadas



Fonte: Do Autor

A Figura 21 mostra uma das manchas encontradas nas lajes da garagem.

Figura 21 – Mancha de infiltração na laje da garagem.



Fonte: Do Autor

O segundo dano encontrado com maior frequência é a fenômeno da eflorescência, como mostra a figura 22.

Figura 22 – Eflorescência na laje da garagem.



Fonte : Do Autor

Verificou-se a presença de manifestações leves de corrosão de armaduras em ambas as lajes, conforme ilustra a figura 23.

Figura 23 – Mancha de corrosão de armaduras na laje da garagem.



Fonte: Do Autor

Constatou-se o dano de esfoliação, lascamentos de grandes proporções, com exposição da armadura, conforme mostra a figura 24.

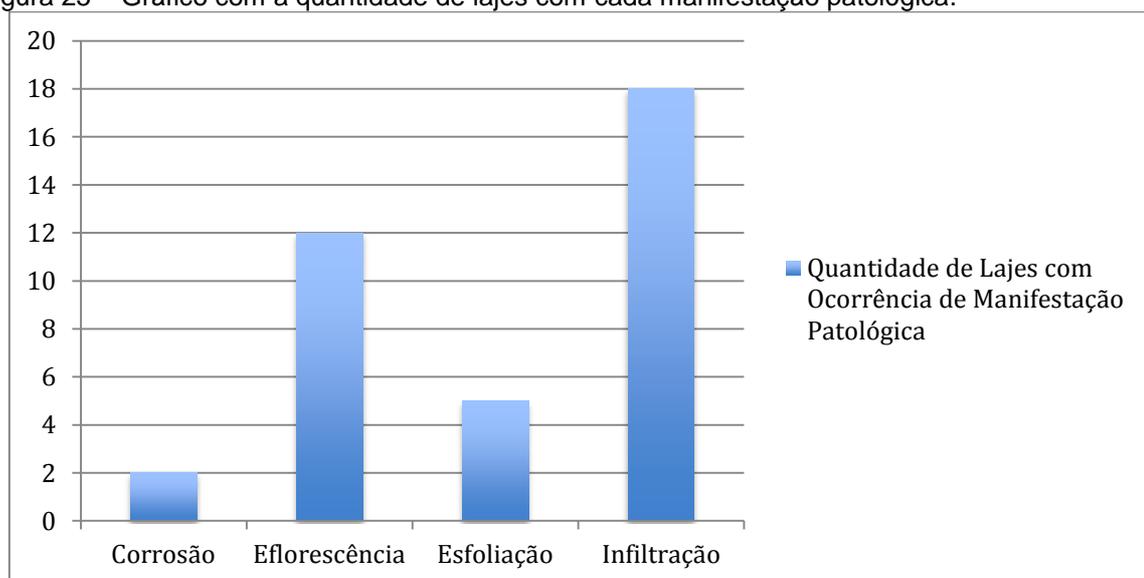
Figura 24 – Esfoliação na laje da garagem.



Fonte: Do Autor

A Figura 25 mostra o gráfico de barra que ilustra a quantidade de lajes com cada manifestação patológica encontrada.

Figura 25 – Gráfico com a quantidade de lajes com cada manifestação patológica.



Fonte: Do Autor

O gráfico acima deixa claro que os danos infiltração e eflorescência são preponderantes. Além disso, baseando-se no gráfico é possível inferir que como os danos principais, infiltração e eflorescência, são provenientes da presença de água que a falha do sistema de impermeabilização é determinante para o estado atual das manifestações patológicas.

O Quadro 5 mostra todos os danos (D) e seus respectivos fatores de intensidade (F_i) presentes nas lajes da garagem além do grau de deterioração do elemento (G_{de}) e grau de deterioração da família de elementos (G_{df}), segundo o método de Castro (1994) com as alterações propostas por Boldo (2002)

Quadro 6 – Síntese da inspeção das lajes da garagem

Lajes																							
Nome do Elemento		L1		L2		L7		L8		L11		L16		L17		L19		L20		L21		L22	
Local	Garagem																						
Danos	Fp	Fi-01	D-01	Fi-02	D-02	Fi-07	D-07	Fi-08	D-08	Fi-11	D-11	Fi-15	D-15	Fi-16	D-16	Fi-18	D-18	Fi-19	D-19	Fi-20	D-20	Fi-21	D-21
Carbonatação	7	-		-		-		-		-		-		-		-		-		-		-	
Cobrimento deficiente	6	-		-		-		-		-		-		-		-		-		-		-	
Contaminação por cloretos	10	-		-		-		-		-		-		-		-		-		-		-	
Corrosão de armaduras	7	-		-		2	5,6	-		4	70	-		-		-		-		-		-	
Desagregação	7	-		-		-		-		-		-		-		-		-		-		-	
Eflorescência	5	-		-		-		4	50	-		4	50	4	50	-		-		-		-	
Esfoliação	8	-		-		-		-		-		-		-		-		-		-		-	
Fissuras	10	-		-		-		-		-		-		-		-		-		-		-	
Flechas	10	-		-		-		-		-		-		-		-		-		-		-	
Infiltração	6	3	24	3	24	-		-		-		-		-		3	24	3	24	3	24	3	24
Manchas	5	-		-		-		-		-		-		-		-		-		-		-	
Segregação	5	-		-		-		-		-		-		-		-		-		-		-	
		Gde	24,0	Gde	24,0	Gde	5,6	Gde	50,0	Gde	70,0	Gde	50,0	Gde	50,0	Gde	24,0	Gde	24,0	Gde	24,0	Gde	24,0

Fonte: Do Autor

Quadro 7 – Síntese da inspeção das lajes 21 a 24; 26 a 29; 33;34 e 39 a 42 da garagem

Lajes																														
Nome do Elemento		L23		L24		L26		L27		L28		L29		L33		L34		L39		L34		L39		L40		L41		L42		
Local	Garagem																													
Danos	Fp	Fi-22	D-22	Fi-23	D-23	Fi-25	D-25	Fi-26	D-26	Fi-27	D-27	Fi-28	D-28	Fi-32	D-32	Fi-33	D-33	Fi-38	D-38	Fi-33	D-33	Fi-38	D-38	Fi-39	D-39	Fi-40	D-40	Fi-41	D-41	
Carbonatação	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cobrimento deficiente	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Contaminação por cloretos	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Corrosão de armaduras	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Desagregação	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Eflorescência	5	-	-	4	50	-	-	-	-	-	-	-	4	50	4	50	4	50	4	50	4	50	4	50	-	-	4	50	4	50
Esfoliação	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	32	-	-	3	32	3	32	3	32	3	32	-	
Fissuras	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Flechas	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Infiltração	6	3	24	-	-	3	24	3	24	3	24	3	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Manchas	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Segregação	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		Gde	24,0	Gde	50,0	Gde	24,0	Gde	24,0	Gde	24,0	Gde	24,0	Gde	50,0	Gde	50,0	Gde	69,5	Gde	50,0	Gde	69,5	Gde	32,0	Gde	69,5	Gde	50,0	

Fonte: Do Autor

Quadro 8 – Síntese da inspeção das lajes 43; 45; 46; 51; 53; 54; 57; 59; 60 e Gdf da garagem

Lajes																			
Nome do Elemento		L43		L45		L46		L51		L53		54		57		L59		L60	
Local	Garagem																		
Danos	Fp	Fi-43	D-43	Fi-45	D-45	Fi-46	D-46	Fi-51	D-51	Fi-53	D-53	Fi-54	D-54	Fi-57	D-57	Fi-59	D-59	Fi-60	D-60
Carbonatação	7	-		-		-		-		-		-		-		-		-	
Cobrimento deficiente	6	-		-		-		-		-		-		-		-		-	
Contaminação por cloretos	10	-		-		-		-		-		-		-		-		-	
Corrosão de armaduras	7	-		-		-		-		-		-		-		-		-	
Desagregação	7	-		-		-		-		-		-		-		-		-	
Eflorescência	5	4	50	-		-		-		-		-		-		-		-	
Esfoliação	8	-		3	32	-		-		-		-		-		-		-	
Fissuras	10	-		-		-		-		-		-		-		-		-	
Flechas	10	-		-		-		-		-		-		-		-		-	
Infiltração	6	-		-		3	24	3	24	3	24	3	24	3	24	3	24	3	24
Manchas	5	-		-		-		-		-		-		-		-		-	
Segregação	5	-		-		-		-		-		-		-		-		-	
		Gde	50,0	Gde	32,0	Gde	24,0												
Gdf	135,1																		

Fonte: Do Autor

O nível de deterioração constatado para a maioria das lajes é alto (entre 15 e 50) e para algumas é crítico (entre 50 e 80), de acordo com a Tabela 1 do Roteiro de Inspeção de Boldo (2002), esta mesma tabela está exposta na revisão bibliográfica deste trabalho como Tabela 3.

Portanto, segundo a referida tabela, as lajes com nível médio devem definir o prazo/natureza para a inspeção detalhada e planejar a intervenção em médio prazo, no máximo dois anos. E as lajes com nível alto de deterioração alto devem definir o prazo/natureza para a inspeção especializada detalhada e planejar a intervenção em curto prazo, no máximo um ano.

4.1.2 Pilares

A grande maioria dos pilares não apresentou nenhuma manifestação patológica. Somente os pilares número 46 e 51 apresentaram danos.

A simples vistoria visual pode verificar o deslocamento do cobrimento e a existência de corrosão nas barras expostas dos pilares 46 e 51, como mostra a Figura 26. Foi feito ensaio de carbonatação com a escarificação do concreto e aplicação de fenolftaleína e a Figura 27 mostra o pilar 46 após o ensaio.

Figura 26 – Pilar 46 antes da escarificação e aplicação de fenolftaleína



Fonte: Do Autor

Figura 27 – Pilar 46 após a escarificação e aplicação de fenolftaleína.



Fonte: Do Autor

Na Figura 27 é importante salientar que somente a região à direita da barra foi escarificada, por isso esta região está vermelha, indicando que não há carbonatação. A região à esquerda da barra não foi escarificada e demonstra sinais de carbonatação leve e superficial. Essa mesma carbonatação leve e superficial ocorreu no pilar 51. Portanto, concluiu-se que houve apenas carbonatação superficial nos dois pilares e que a frente de carbonatação não atingiu a película passivadora da armadura, e, conseqüentemente não foi responsável pela corrosão.

Suspeita-se que nos dois pilares 46 e 51 a corrosão encontrada foi proveniente de ataque por cloretos. Não foi possível realizar o ensaio do teor de cloretos devido a limitação de tempo para realização deste trabalho.

Existem relatos de engenheiros que participaram das obras de edifícios em Brasília, na década de sessenta, que apontam o uso de aceleradores de pega contendo cloreto de cálcio (CaCl_2) na execução do concreto em várias obras deste período. A data da construção da garagem, anos sessenta, coincide com a período desses relatos. Portanto, conjectura-se que o ataque por cloretos se deu pelo uso de aceleradores de pega contendo CaCl_2 .

Desconfia-se que o ataque por cloretos levou à corrosão da barra, que por sua vez, expandiu gerando tensões de tração dentro do concreto. Essas tensões levaram ao deslocamento da argamassa e da superfície do concreto. O concreto exposto teve então a sua superfície carbonatada.

Com um paquímetro mediu-se o diâmetro das barras expostas dos pilares 46 e 51, como mostra a figura 28.

Figura 28 – Medição do diâmetro da armadura do pilar 46



Fonte: Do Autor

Foram medidas três barras, uma do pilar 46 e duas do pilar 51 e calculadas as perdas de seções por corrosão, como mostra a Tabela 3.

Tabela 5 – Perda de seção por corrosão.

Pilar	original (mm)	atual (mm)	Perda de seção (%)
P46	12,5	11,4	8,8
P51	12,5	11,1	11,2
P51	10	0	100

Fonte: Do Autor

Duas das barras medidas não tiveram uma perda de seção maior que quinze por cento, portanto estas não precisam ser substituídas, apenas recuperadas, porém uma delas perdeu completamente a sua seção, como mostra a Figura 29, e terá que ser substituída.

Figura 29 – Barra com perda total de seção proveniente de corrosão.



Fonte: Do Autor

O Quadro 6 mostra todos os danos (D) e seus respectivos fatores de intensidade (F_i) presentes nos pilares da garagem além do grau de deterioração do elemento (G_{de}) e grau de deterioração da família de elementos (G_{df}).

Quadro 9 – Síntese de inspeção dos pilares da garagem

Pilares					
Nome do Elemento		P46		P51	
Local	Garagem				
Danos	Fp	Fi-01	D-01	Fi-02	D-02
Carbonatação	7	1	2,8	1	2,8
Cobrimento deficiente	6	-		-	
Contaminação por cloretos	10	2	8	2	8
Corrosão de armaduras	7	2	5,6	4	70
Desagregação	7	-		-	
Desvio de geometria	8	-		-	
Eflorescência	5	-		-	
Esfoliação	8	3	32	2	6,4
Fissuras	10	-		-	
Infiltração na Base	6	-		-	
Manchas	5	-		-	
Recalque	10	-		-	
Segregação	6	-		-	
Sinais de Esmagamento	10	-		-	
		Gde	42,8	Gde	83,8
Gdf	112,2				

Fonte: Do Autor

O nível de deterioração constatado do pilar 46 é médio e do pilar 51 é crítico, de acordo com a Tabela 3. Portanto, para o pilar 46 deve ser definido o prazo/natureza para nova inspeção e planejar intervenção em no máximo dois anos, e inspeção especial emergencial e planejamento de intervenção imediata no pilar 51. Contudo, como o valor ficou muito próximo do limite do nível crítico e não foram verificadas fissuras de maior gravidade na estrutura, considera-se que a intervenção possa ser feita em curto prazo (1 ano).

4.1.3 Vigas

Foram constatados danos de infiltração e corrosão de armaduras em oito vigas. As Figuras 30 e 31 mostram os danos de infiltração e corrosão de armaduras, respectivamente.

Figura 30 – Mancha de infiltração na viga 4 da garagem.



Fonte: Do Autor

Figura 31 – Mancha de corrosão na viga 3 da garagem.



Fonte: Do Autor

Todos os danos foram avaliados como leves, nenhuma viga teve dano com fator de intensidade (F_i) maior que dois, como ilustra os Quadros 7 e 8. Além disso, todos os danos possuem uma área de atuação relativamente pequena.

Quadro 10 – Síntese de inspeção dos vigas da garagem

Vigas																			
Nome do Elemento		V1	V2	V3	V4	V5	V6	V13	V16										
Local	Garagem																		
Danos	Fp	Fi-01	D-01	Fi-02	D-02	Fi-03	D-03	Fi-04	D-04	Fi-05	D-05	Fi-06	D-06	Fi-07	D-07	Fi-08	D-08		
Carbonatação	7	-		-		-		-		-		-		-		-			
Cobrimento deficiente	6	-		-		-		-		-		-		-		-			
Contaminação por cloretos	10	-		-		-		-		-		-		-		-			
Corrosão de armaduras	7	1	2,8	1	2,8	2	5,6	1	2,8	1	2,8	1	2,8	-		-			
Desagregação	7	-		-		-		-		-		-		-		-			
Eflorescência	5	-		-		-		-		-		-		-		-			
Esfoliação	8	-		-		-		-		-		-		-		-			
Fissuras	10	-		-		-		-		-		-		-		-			
Flechas	10	-		-		-		-		-		-		-		-			
Infiltração	6	1	2,4	-		-		1	2,4	1	2,4	1	2,4	1	2,4	1	2,4		
Manchas	5	-		-		-		-		-		-		-		-			
Segregação	6	-		-		-		-		-		-		-		-			
Sinais de Esmagamento	8	-		-		-		-		-		-		-		-			
		Gde	3,7	Gde	2,8	Gde	5,6	Gde	3,7	Gde	3,7	Gde	3,7	Gde	3,7	Gde	2,4	Gde	2,4
Gdf	0,0																		

Fonte: Do Autor

Todas as vigas obtiveram o nível de deterioração baixo, de acordo com a Tabela 3, portanto estão em estado aceitável sugerindo-se somente manutenção preventiva.

4.1.4 Junta de dilatação

Constatou-se claros indícios de corrosão através das manchas infiltração e corrosão no elemento, como mostra a Figura 32. O Quadro 9 mostra o dano no elemento.

Figura 32 – Mancha de infiltração e corrosão na junta de dilatação



Fonte: Do Autor

Quadro 11 – Síntese de inspeção da junta de dilatação

Juntas de Dilatação			
Nome do Elemento	I		
Local	Garagem		
Danos	Fp	Fi	D
Infiltração	10	4	100
Obstrução de junta	10	-	
		Gde	100
Gdf	100		

Fonte: Do Autor

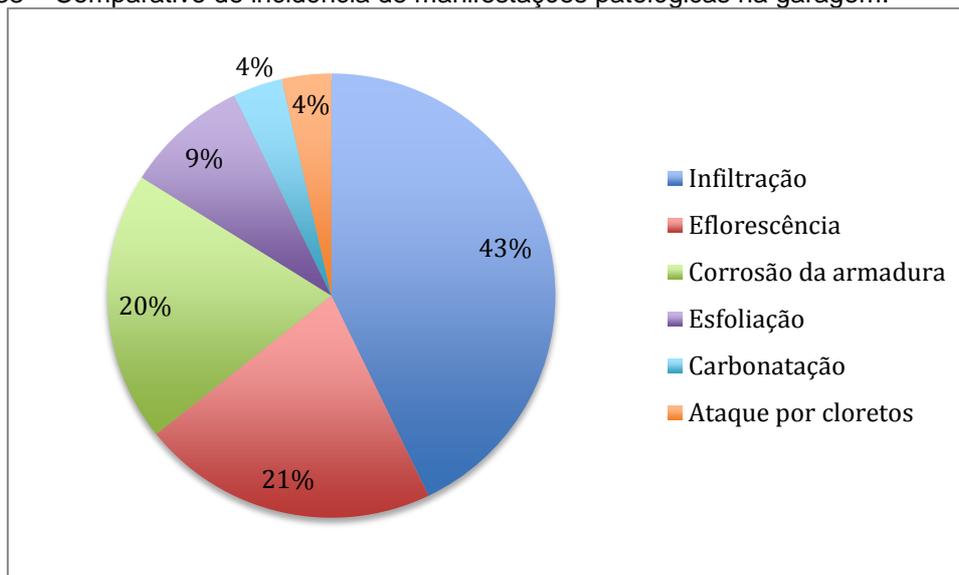
A metodologia não possui outros danos a não ser infiltração e obstrução de juntas, portanto somente o dano infiltração foi computado. O G_{de} obtido pela metodologia indica nível de deterioração crítico do elemento. Como a impermeabilização foi refeita, não existem mais infiltrações no local.

4.1.5 Análise da estrutura da garagem completa

Foi feito um estudo comparando a ocorrência de cada dano com a ocorrência

total de todos os danos verificados, a Figura 33 ilustra este estudo utilizando um gráfico. De acordo com a referida figura, o dano encontrado com maior frequência nas lajes da garagem foi a infiltração. Existem manchas escuras de infiltração em praticamente todas as regiões das lajes.

Figura 33 – Comparativo de incidência de manifestações patológicas na garagem.



Fonte: Do Autor

A partir dos danos de cada família de elementos analisados e seus respectivos fatores de relevância chegou-se ao grau de deterioração da estrutura (G_d) conforme ilustra o Quadro 10.

Quadro 12 – Grau de deterioração da garagem

Família	Gdf	Fr	Gdf x Fr
Pilares	112,2	5	560,8
Vigas	0,0	5	0,0
Lajes	135,1	4	540,4
Juntas	100	3	300,0
Total		17	1401,2
		Gd	82,4

Fonte: Do Autor

A família que apresentou o maior grau de deterioração foram as lajes, sendo seguidas pelos pilares e por último a junta de dilatação. As vigas praticamente não apresentaram danos consideráveis, resultando em um grau de deterioração de zero.

A metodologia de Castro (1994) com as alterações propostas por Boldo (2002) aplicada na garagem determinou o nível de deterioração da estrutura como sendo crítico, de acordo com a Tabela 2. Apesar disso, como dito anteriormente, devido as ações tomadas no reparo do sistema de impermeabilização da laje superior do “caixão perdido” os atuais danos terão sua evolução retardada e reduzida.

Como a grande maioria das manifestações patológicas encontradas na garagem são provenientes de infiltrações, portanto os danos serão menos afetados. Por isso, acredita-se que o nível de deterioração mais condizente com a situação real e atual da estrutura é o nível alto.

4.1.6 Avaliação da Metodologia de Castro (1994) com as propostas de Boldo (2002)

Foi constatado um problema na metodologia. Julgou-se que a metodologia deveria abordar a quantidade de elementos danificados em relação a quantidade total de elementos desta família. Por exemplo de acordo com a metodologia em questão uma edificação com uma família de pilares dotada de quatro pilares sendo que um deles possui um G_{de} oitenta e os outros todos um G_{de} zero terá um G_{df} de oitenta. Outra edificação com uma família de quarenta pilares, de acordo com esta metodologia, com um pilar com G_{de} oitenta e o restante dos pilares com G_{de} zero terá o mesmo G_{df} de oitenta que a edificação anterior. Isto acontece porque a metodologia só aborda essa relação de elementos danificados e elementos não danificados eliminando os elementos com G_{de} menor que 15 do cálculo do G_{df} .

Portanto, é preciso uma melhor abordagem para contemplar a quantidade de elementos em nível de deterioração baixo ($G_{de} < 15$) para refletir melhor a situação da família de elementos e conseqüentemente da estrutura como um todo, já que o G_{df} influi na determinação do grau de deterioração da estrutura (G_{de}).

Apesar disso, pode-se afirmar que a metodologia conseguiu atingir a sua finalidade de estabelecer critérios objetivos de manutenção em edificações usuais e reduzir as discrepâncias na avaliação da intensidade e criticidade dos danos.

Ao estabelecer ações claras a serem adotadas a partir de seus resultados obtidos, na forma de G_{de} , G_{df} e G_d , o profissional responsável e até mesmo um leigo sabe quais ações devem ser tomadas com relação a realização de possivelmente mais inspeções e o prazo da intervenção, caso necessária. Também foi possível diminuir as divergências dos profissionais ao listar os possíveis danos e seus fatores de ponderação pré-estabelecidos, além do anexo, de Boldo (2002), com fotos ilustrativas de danos e fatores de intensidade sugerido que proporciona um guia para a definição do F_i pelo profissional responsável.

4.2 Fachadas

As fachadas foram nomeadas de acordo com a orientação em Fachada Norte, Sul, Leste e Oeste. As Figuras 34 a 37 apresentam cada uma das fachadas.

Figura 34 – Fachada Norte



Fonte: Do Autor

Figura 35 – Fachada sul



Fonte: Do Autor

Figura 36 – Fachada Leste



Fonte: Do Autor

Figura 37 – Fachada Oeste



Fonte: Do Autor

Na fachada Norte verificou-se a existência de deslocamento do revestimento e corrosão da armadura, como mostra a Figura 38. A possível causa se deve a infiltração de água na fachada devido à falta de estanqueidade do revestimento.

Figura 38 – Deslocamento e corrosão na Fachada Norte



Fonte: Do Autor

Além disso, constatou-se a existência de fissuração na região da platibanda (Figura 39) devido a movimentação térmica da laje de cobertura. A presença dessas fissuras pode resultar em infiltrações que a longo prazo podem gerar prejuízo para a laje de cobertura do edifício.

Figura 39 – Fissuras na platibanda da fachada norte



Fonte: Do Autor

Verificou-se a inexistência de alguns trechos dos cobogós na fachada norte, como mostra a Figura 40. Esses elementos são uma espécie de esquadria das fachadas, devendo suportar a sobrecarga da janela. Portanto, é importante manter a estrutura dos cobogós íntegra para garantir a estabilidade da mesma.

Figura 40 – Ausência de cobogós na fachada norte



Fonte: Do Autor

Na fachada sul também verificou-se a presença de fissuração no revestimento externo da platibanda, muito similar aquelas encontradas na fachada norte.

Na fachada leste constatou-se a fissuração no revestimento do primeiro andar, como mostra a figura 41. Essa fissura se deve a uma deformação da estrutura neste local, pois a mesma encontrasse em balanço.

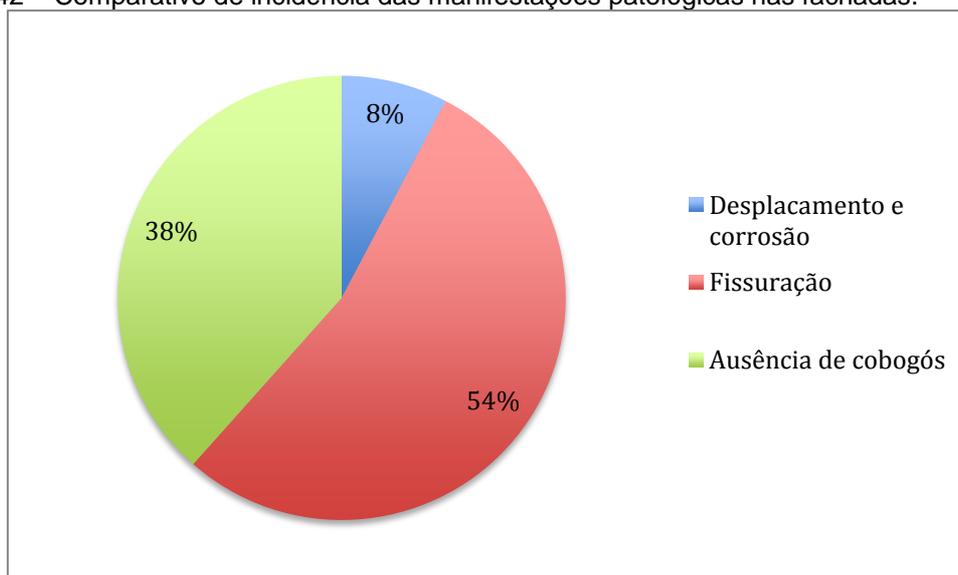
Figura 41 – Fissuração do revestimento da fachada oeste.



Fonte: Do Autor

A Figura 42 mostra um gráfico que compara a ocorrência de cada dano com a ocorrência total de todos os danos verificados. De acordo com a referida figura, o dano encontrado com maior frequência nas fachadas foi a fissuração.

Figura 42 – Comparativo de incidência das manifestações patológicas nas fachadas.



Fonte: Do Autor

4.3 Pilotis

Foi realizada a vistoria do pilotis, porém como todos os pilares possuem revestimento em granito e a laje é toda encoberta por forro de gesso não foi possível ter acesso a estrutura de concreto. No entanto, realizou-se uma inspeção em um dos pilares para verificar as condições do concreto e do aço.

O revestimento de granito de um dos pilares do pilotis foi removido e a argamassa de revestimento retirada para visualizar o concreto e realizar o ensaio de carbonatação com aplicação de fenolftaleína (Figura 43).

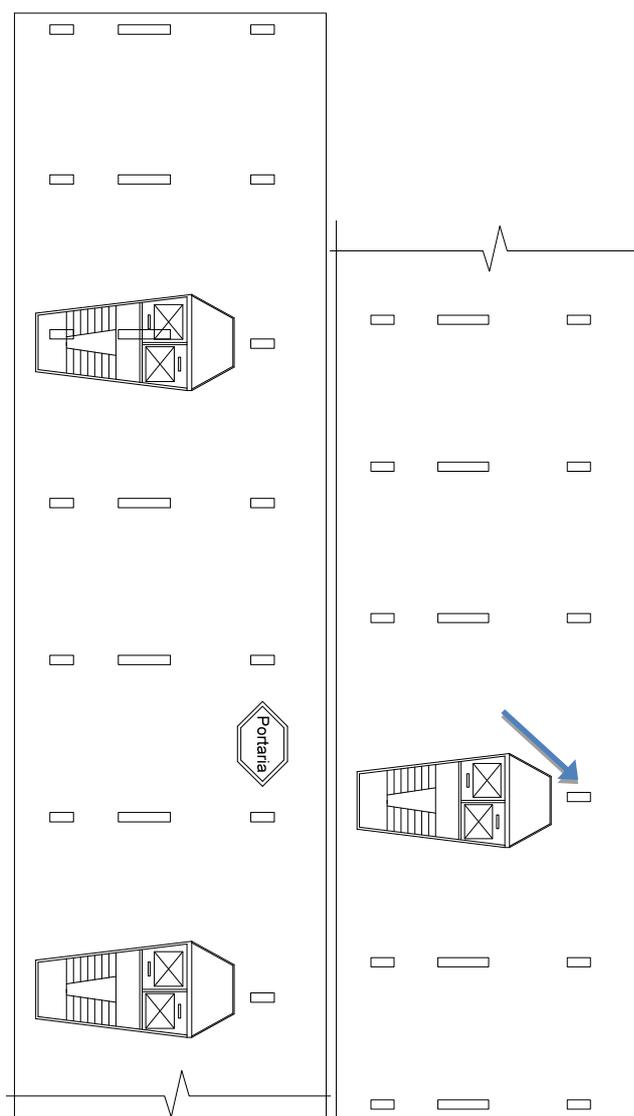
Figura 43 – Ensaio de carbonatação no pilar do pilotis



Fonte: Do Autor

Não foi encontrado nenhum sinal de corrosão das armaduras e carbonatação. A Figura 44 mostra o croqui da planta baixa do pilotis com a indicação do pilar no qual o teste foi feito.

Figura 44 – Croqui do Pilotis com a indicação do pilar onde foi aplicado fenolftaleína



Fonte: Do Autor

4.4 Cobertura e Reservatório Superior

Durante a vistoria realizada na cobertura verificou-se a existência de manchas de infiltração e de corrosão entre o fundo do reservatório superior e a parede abaixo do reservatório, como mostram as Figuras 45 e 46.

Figura 45 – Mancha de infiltração



Fonte: Do Autor

Figura 46 – Mancha de corrosão



Fonte: Do Autor

Na parede da casa de máquinas foram encontradas eflorescências devido a presença de infiltrações dos dois reservatórios superiores (Figura 47). Os vazamentos encontrados podem comprometer a estrutura, portanto possui o grau de risco crítico.

Figura 47 – Eflorescência na casa de máquinas.



Fonte: Do Autor

Apesar de não fazer parte do escopo deste trabalho, como informação adicional, observou-se a presença de um quadro de energia, aparentemente não energizado embutido na parede do reservatório. Este quadro deveria estar sobreposto e não embutido, constituindo assim uma falha. A Figura 48 mostra o quadro embutido na parede.

Figura 48 – Quadro de energia embutido na parede do reservatório.



Fonte: Do Autor

A parede externa do reservatório superior contém fissuras de retração, como ilustra a Figura 49.

Figura 49 – Fissuração por retração, parede externa do reservatório superior.



Fonte: Do Autor

Na face inferior da laje de cobertura da casa de máquinas do elevador foram constatadas fissuras provenientes da movimentação da laje devida a grande exposição desta às variações climáticas. Acredita-se que as fissuras atingem somente a argamassa. A Figura 50 mostra essas fissuras.

Figura 50 – Fissuras provenientes da grande exposição às variações climáticas



Fonte: Do Autor

Por conta da movimentação da laje da cobertura devido a retração e dilatação térmica, além da variação do carregamento do reservatório superior, verificou-se duas fissuras nas paredes do barrilete. A Figura 51 mostra uma das duas fissuras encontradas.

Figura 51 – Fissura devido a movimentação da laje da cobertura



Fonte: Do Autor

O revestimento na região da fissura foi removido para verificar a profundidade dessas duas fissuras. Constatou-se que ambas as fissuras, como a mostrada na figura anterior, são superficiais e somente atingem o reboco, como mostra a Figura 52. Portanto, este dano não apresenta risco para a edificação.

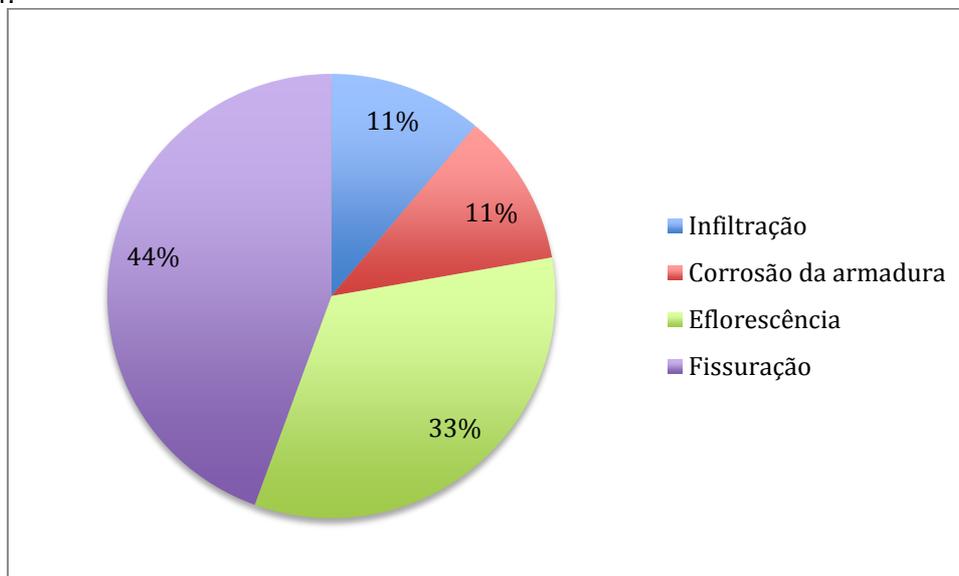
Figura 52 - Fissura no revestimento



Fonte: Do Autor

A Figura 53 mostra um gráfico que compara a ocorrência de cada dano com a ocorrência total de todos os danos verificados. De acordo com a referida figura, o dano encontrado com maior frequência nas fachadas foi a fissuração.

Figura 53 – Comparativo de incidência das manifestações patológicas na cobertura e reservatório superior.



Fonte: Do Autor

4.5 Avaliação da Norma de Inspeção Predial Nacional (IBAPE, 2012)

A Norma de Inspeção Predial Nacional, aprovada em assembleia em 2012 possui muitas qualidades como a fixação de procedimentos e metodologia relativos à inspeção predial. Apesar disso, a classificação do grau de risco mostrou-se ser muito generalizada e determinante podendo levar a uma avaliação incorreta e incoerente com a real situação da anomalia, especialmente para leigos.

4.6 Plano de Ação

O plano de ação definiu a ordem de prioridades de acordo com o grau de risco do IBAPE, (2012) e os resultados da metodologia aplicada na garagem. Como sugeri a Norma de Inspeção Predial Nacional do IBAPE (2012) os danos e falhas estão dispostos em ordem decrescente quanto ao grau de risco e intensidade, conforme mostra a Tabela 4.

Tabela 6 – Inspeção geral

Local	Manifestações Patológicas	Quantidade	Prováveis Causas	Criticidade	Figuras
Garagem	Infiltração	24	Falha no sistema de impermeabilização	crítico	21; 30; e 32
	Eflorescência	12	lixiviação devido a infiltração da água da chuva		22
	Corrosão da armadura	11	Exposição das barras		23; 28; 31; e 32
	Esfoliação	5	Tensões provenientes da expansão da armadura corroída		24
	Carbonatação	2	Exposição da armadura		27
Fachada	Deslocamento e corrosão	1	Infiltração proveniente da falta de estanqueidade e posterior exposição da barra	médio	37
	Fissuração	7	Movimentação térmica da platibanda e deformação da estrutura	mínimo	38 e 40
	Ausência de cobogós	5	Falta de reposição dos cobogós	médio	39
Cobertura e reservatório superior	Infiltração	1	Infiltração da laje do reservatório superior	crítico	43
	Corrosão da armadura	1	Infiltração da laje do reservatório superior	crítico	44
	Eflorescência	3	lixiviação devido a infiltração da laje do reservatório superior	crítico	45
	Fissuração	4	Retração da argamassa, dilatação térmica, variação do carregamento do reservatório	mínimo	47; 48; 49 e 50

Fonte: Do Autor

A garagem requer uma intervenção por empresa especializada em reparo estrutural em um curto prazo, ou seja, no máximo um ano a fim de colocar a estrutura em condições satisfatórias, prolongando a vida útil da mesma. Os locais que apresentam armadura exposta devido a presença de corrosão devem ser limpos e recompostos com material de reparo. Nos casos em que houve perda significativa ou total da seção das barras de aço, será necessário a reposição das mesmas.

Vale ressaltar a necessidade de garantir que a laje de cobertura encontra-se estanque e sem nenhum ponto de infiltração, atestando a nova impermeabilização. Devido a hipótese levantada do processo de corrosão ser causado pela presença de cloretos, recomenda-se a realização do ensaio de teor de cloreto presente no concreto da estrutura.

As marcas de infiltração como manchas de umidade, eflorescência e manchas de corrosão da armadura nas paredes abaixo do reservatório indicam infiltração na laje inferior do reservatório. A impermeabilização dos reservatórios deve ser refeita, garantindo a estanqueidade dos mesmos. Recomenda-se, antes da execução da impermeabilização, verificar as condições da estrutura do reservatório internamente. Quanto ao quadro elétrico embutido na parede do reservatório, embora, este não esteja energizado ele facilita a infiltração da parede, portanto deve ser retirado e o vão onde ele se encontra agora preenchido com graute.

Na fachada norte é premente repor os cobogós retirados ou danificados para impedir a instabilidade de elementos como janelas que podem comprometer a segurança dos transeuntes no pilotis.

O deslocamento e corrosão encontrado na fachada norte se não for reparado levará a uma perda total das barras de aço em um curto período de tempo. Portanto, deve ser reparado.

No caso da fissura apresentada na fachada oeste devido a movimentação da estrutura, recomenda-se instalar selos de gesso para verificar se as fissuras estão ativas ou inativas e, posteriormente, vedá-las com material flexível para evitar a penetração de água.

Apesar das fissuras na platibanda da fachada aumentarem a chance de ocorrer infiltração na fachada e haver um pequeno prejuízo à estética do edifício, uma região muito visível essas trincas são superficiais e atingem somente o revestimento e reboco, portanto, não oferecendo risco a estrutura. Porém, com o passar do tempo as aberturas das fissuras podem aumentar, gerando um risco maior de infiltração da água da chuva. Portanto, o reparo devem ser seladas.

As fissuras na laje do teto da casa de máquinas provenientes da movimentação térmica da laje são superficiais atingindo somente o reboco. Assim como, as fissuras de retração na face externa da parede do reservatório e as duas fissuras encontradas nas paredes dos barriletes. Portanto, todas elas não representam nenhum risco à estrutura.

5 Conclusão

Este trabalho deixou claro a importância da prática de inspeções periódicas e a elaboração do plano de manutenção para que a edificação atinja a sua vida útil de projeto.

As inspeções periódicas são muito eficazes em detectar falhas como o sistema de impermeabilização deficiente na laje da garagem. Elas conseguem constatar falhas cedo, antes que os danos causados pela falha evoluam e aumentem as dificuldades técnicas e os custos de reparo.

O plano de manutenção considera a vida útil dos diversos sistemas da edificação como o sistema de vedação, estrutural, elétrico e hidráulico. Com isso, o plano de manutenção proporciona a possibilidade de realizar-se a manutenção preventiva antes do fim da vida útil desses sistemas e suas consequentes manifestações patológicas.

A partir da análise dos resultados dos métodos quantitativos e qualitativos empregados, pode-se concluir que:

- A estrutura da garagem está em estado grave e a estrutura não está com o desempenho esperado.

- O prédio está em bom estado considerando-se que ele foi construído há mais de cinquenta anos e não passou por nenhuma reforma significativa.

Portanto, recomenda-se uma inspeção na estrutura da garagem e intervenção por empresa especializada em reparo estrutural em um curto prazo, ou seja, no máximo um ano a fim de colocar a estrutura em condições satisfatórias, prolongando a vida útil da mesma. Para o prédio, aconselha-se a contratação de empresa ou profissional capacitado para a elaboração do plano de manutenção.

5.1 Sugestões para Trabalhos Futuros

Aplicar outras metodologias e comparar os resultados da metodologia Gde com outras existentes.

Sugeri-se também, a partir das manifestações encontradas, elaborar um plano de manutenção para a edificação, conforme as exigências da NBR 5674.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE COMMITTEE 222. *Corrosion of metals in concrete; ACI 222r-89*. In: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Manual of concrete practice. Detroit, 1990.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *Standard Test Method for Acid-Soluble Chloride in Mortar and Concrete*. ASTM C1152. In: Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, 1992.

_____. *Standard Test Method for Water-Soluble Chloride in Mortar and Concrete*. ASTM C1218 / C1218M – 99. In: Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5674: Manutenção de edificações - Requisitos para o sistema de gestão de manutenção*. Rio de Janeiro; ABNT, 2012.

_____. *NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto*. Procedimento, 2004.

_____. *NBR 15.575: Edificações Habitacionais – Desempenho*, 2013.

_____. *NBR 16.230: Inspeção de estruturas de concreto – Qualificação e certificação de pessoal – Requisitos*, 2013.

AZEVEDO, M. T. Patologia das Estruturas de Concreto. In: *Concreto: Ciência e Tecnologia*. 1ª ed. São Paulo: edição Geraldo C. Isaia, 2011. p. 1095-1128.

BAUER, L.A.F. *Materiais de Construção*, Vol. I, Rio de Janeiro, Editora LTC, 2000.

BOLDO, P. *Avaliação Quantitativa de Estruturas de Concreto Armado de Edificações no Âmbito do Exército Brasileiro*. 2002. 295f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2002.

CARVALHO, J. D. *Revista Tecnológica*, v.17, p. 17- 29, 2008.

CASCUDO, O. *Influência das características do aço carbono destinado ao uso como armaduras para concreto armado no comportamento frente à corrosão*. 2000. 310 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

Cascudo, O. e Carasek, H. Ação da Carbonatação no Concreto. In: *Concreto: Ciência e Tecnologia*, 1ª ed. São Paulo: edição Geraldo C. Isaia, 2011. p. 849-885.

CASTRO, E.K. *Desenvolvimento de Metodologia para Manutenção de Estruturas de Concreto Armado*. 1994. 129 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1994.

CEB (Comité Euro-Internacional du Béton) - *CEB/FIP Model Code 90(MC-90) - Final Draft*, Bulletin d'Information 203, 1991.

FIGUEIREDO, E. P. Ação dos Cloretos no Concreto. In: *Concreto: Ciência e Tecnologia*. 1a ed. São Paulo: edição Geraldo C. Isaia, 2011. p. 887-902.

FIGUEIREDO, E. P. ; MEIRA, G. R. Corrosão das Armaduras das Estruturas de Concreto. In: *Concreto: Ciência e Tecnologia*. 1a ed. São Paulo: edição Geraldo C. Isaia, 2011. p. 905-931.

GRANATO, J.E, *Introdução a Patologia das Construções*, São Paulo: editora PINI, 2012.

HELENE, PAULO R.L. *Corrosão em armaduras para concreto armado*. São Paulo: Editora Pini – Instituto de pesquisas Tecnológicas IPT, 1986. 47p.

HELENE, Paulo R. L. *Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto*. 2a ed. São Paulo: editora PINI, 1992.

HELENE, P. *Vida útil das estruturas de concreto* Departamento de Engenharia Civil, editora USP , São Paulo. 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA. *Norma de Inspeção Predial*. São Paulo, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA. Estatuto. São Paulo, 2011. Disponível em: [<http://www.ibape-nacional.com.br/documentos/estatuto/estatuto-1.pdf>]. Acesso em: 5 out. 2013.

KLEIN, D.; GASTAL, F.; CAMPANOLO, J. L.; SILVA FILHO, L. C. (1991), *Critérios adotados na vistoria e avaliação de obras de arte*. XXV Jornadas Sul Americanas de Engenharia Estrutural, Porto Alegre, Anais, 1991. p. 185-196.

LOPES, B.A.R. *Sistema de manutenção estrutural para grandes estoques de edificações: Estudo para inclusão do componente Estrutura do Concreto*. 1998. 308 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1998.

MACHADO, M.P. *Superquadra: pensamento e prática urbanística*. 2007. 284 f. Dissertação (mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Brasília, Brasília, DF, 2007.

MARTINS, J. C. (Coord.); THOMAZ, E. ; DEL MAR, C. P. *Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013*. Brasília : CBIC, 2013. 300p

MEDEIROS, M. H. F. ; ANDRADE, J.J. O. ; HELENE, P. (2011), Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto. In: *Concreto: Ciência e Tecnologia*. 1a ed. São Paulo: edição Geraldo C. Isaia, 2011. p. 773-807.

OLIVARI, G. *Patologia em edificações*. 2003. 95 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil com ênfase Ambiental) – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo. 2003.

OLIVEIRA, A. M. *Fissuras, Trincas e Rachaduras Causadas por Recalque Diferencial de Fundações*. 2012. 96 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado) Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

PAPADAKIS, V. G. ; FARADIS, M. N. ; VAYENAS, C. V. Hydration and carbonation of pozzolanic cements. *ACI Materials Journal*, p. 119-130, 1992.

POLITO, G. *Corrosão em Estruturas de Concreto Armado: Causas, Mecanismos, Prevenção e Recuperação*. 2006. 191 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia) Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

PANOSSIAN, Z. *Corrosão e proteção contra corrosão em equipamentos e estruturas metálicas*. 1 ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1993.

ROCHA, C. C. Edifícios II, *Revista Recuperar*, Rio de Janeiro, v. 1, n. 64, P.34-39, junho. 2005.

ROSENBERG, A. ; HANSSON, C. M. ; ANDRADE, C. Mechanisms of corrosion of steel in concrete. In : SKALNY, J. P. (Ed.) . *Materials science of concrete I*. Westerville: The American Ceramic Society Inc. , 1989. p. 285.

SAHADE, R. F. *Avaliação de Sistemas de Recuperação de Fissuras em Alvenaria de Vedação*. São Paulo, SP, 2005. 169f. Dissertação (Mestrado em Habitação). Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT. 2005.

SELINGER, F. (1992), " *Sistemas de reparación de estructuras com fuertes deterioros*", Seminario S.4: Patología estructural en edificación: Diagnostico y soluciones de intervención, XII CEMCO - 92, Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, Espanha, 19p, março. 1992.

SILVA, PAULO FERNANDO A.. *Durabilidade das estruturas de concreto aparente em atmosfera urbana*. 1º ed. São Paulo: Editora Pini – Serrana, 1995.

Silva, K. B. A. *Das patologias em edificações na cidade de Campina Grande e da necessidade de legislação preventiva eficaz*. 2010. 281 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010.

SOMERVILLE, G. The design life or concrete structures. *Cement & Concrete Association*, Londres, v.1 n. 87. p.12. fevereiro.1987.

Souza, V.C.M. ; Ripper, T. *Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto*. São Paulo: Editora Pini, 1998.

SÜSSEKIND, J. C. (1980), *Curso de Concreto*. Porto Alegre: Editora Globo, 1980.

TUUTTI, K. *Corrosion Steel in Concrete*. Swedish Cement and Concrete Research Institute, 1982, p. 469.

Ueda, T. ; TAKEWAKA, K. Performance-based Standard Specifications for Maintenance and Repair of Concrete Structures in Japan. *Structural Engineering International*, 2007, p. 359- 366.