



**IDENTIFICAÇÃO DO GRAU DE DETERIORAÇÃO DA ESTRUTURA EM
CONCRETO ARMADO DE UM EDIFÍCIO COM OBRAS PARALISADAS
SITUADO NA CIDADE DE SÃO PAULO, UTILIZANDO A METODOLOGIA
GdE/UnB**

SÃO PAULO
2020



RODRIGO DUVANEL SANTOS VIEIRA
SUELLEN MADOENHA GONÇALES
WILSON DE SOUZA NETTO

**IDENTIFICAÇÃO DO GRAU DE DETERIORAÇÃO DA ESTRUTURA EM
CONCRETO ARMADO DE UM EDIFÍCIO COM OBRAS PARALISADAS
SITUADO NA CIDADE DE SÃO PAULO, UTILIZANDO A METODOLOGIA
GdE/UnB**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Pós Graduação em Patologia das Obras Cíveis, Pós-Graduação *lato sensu*, do Instituto IDD como requisito parcial para a obtenção do Grau de Especialista em Patologia nas Obras Cíveis.

Orientador: Prof. Msc. Luís César De Luca.

SÃO PAULO
2020

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos engenheiros especialistas que realizaram trabalhos técnicos valiosos que enriquecem nossa área e tanto colaboram para disseminar conhecimento técnico e científico em nosso setor. Tais livros, estudos e teses foram essenciais para a realização deste trabalho e para o desenvolvimento de aprendizado dos autores; além de tanto contribuir para as melhorias que buscamos no setor da engenharia civil e da construção em nosso país. Em especial, aos engenheiros: Dra. Eng. Edna Possan, Dr. Eng. Ênio Pazini, Dr. Eng. Paulo Helene e Dr. Eng. Alexandre Tomazeli.

Devemos agradecer também ao engenheiro civil prof. De Luca pela orientação fornecida no momento da escolha do tema e pelas diretrizes fornecidas principalmente durante o processo de se estabelecer metodologias e objetivos.

E, por fim, agradecemos ao Instituto IDD pela valiosa contribuição em nossa vida acadêmica. Tais conhecimentos obtidos durante a realização deste curso, já tanto colabora em nosso dia a dia profissional.

RESUMO

Obras paralisadas ocasionam grande impacto urbanístico ao seu entorno, e a existência destes espaços desocupados em plena zona urbana de São Paulo é um contraponto ao fato de que a cidade (à qual o prédio de estudo de caso se encontra) possui um déficit habitacional em torno de 474 mil moradias, segundo FGV- 2019. Portanto, estudar uma possível reabilitação de sua estrutura trás aspectos positivos em termos sociais, econômicos, sustentáveis e de segurança estrutural, visto que as peças em concreto armado sofrem processos de deterioração por reações químicas e físicas que ocasionam danos a estrutura, os quais em elevado grau de degradação podem levar à colapsos, podendo prejudicar inclusive a estabilidade estrutural de edificações vizinhas. Um dos primeiros passos ao estudar uma possível reabilitação de uma edificação é inspecionar e conhecer o grau de degradação de suas peças estruturais. Portanto, este trabalho possuiu como objetivo geral determinar o grau de deterioração utilizando o método GDE/UnB de uma estrutura em concreto armado; a qual sua construção foi paralisada há aproximadamente 30 anos. Por fim, obtivemos como resultado um nível de deterioração “crítico”, indicando que é necessário intervenções imediatas na estrutura; e como resultado para objetivos específicos foi apresentado a obtenção do fim da vida útil residual de projeto, calculada através da metodologia proposta por Tutti (1982) e apresentados problemas patológicos verificados durante a inspeção da edificação, as quais foram principalmente: corrosões, infiltrações, fissuras, biodegradação, lixiviação, crosta negra.

Palavras chave: inspeção estrutural, metodologia GDE/UnB, Tutti, obras paralisadas, grau de deterioração da estrutura, degradação no concreto armado.

LISTA DE FIGURA

Figura 1 - Reações químicas na formação da Crosta Negra. Fonte: Elaborado pelos autores, adaptado de Cunho (2008).	28
Figura 2 - Cristais de gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) formados que dão origem a etringita (sulfoaluminato de cálcio) - Microscopia elaborado com cimento CPIII RS. Fonte: Mainier, Gomes, Pontual – PATORREB 2018, pág. 08.....	29
Figura 3 - Formação sulfato de cálcio (Crosta Negra). Fonte: Caracterização da agressividade do ambiente marinho às estruturas de concreto Maryangela G. de Lima & Fabiano Morelli, 2004	29
Figura 4 - Formação etringita. Fonte: Caracterização da agressividade do ambiente marinho às estruturas de concreto Maryangela G. de Lima & Fabiano Morelli, 2004	29
Figura 5 - a) Representação diagramática da expansão da pasta de cimento causada pela formação de etringita; b) Micrografia obtida por microscopia de uma amostra da formação de etringita tardia (tal amostra ficou por 4 horas na temperatura de 20°C, posterior foi aquecida a 90° C por 12 horas e depois armazenada em água por 600 dias. Fontes: MEHTA; MONTEIRO, 2006.	30
Figura 6 - Formação de um biofilme sobre à superfície de concreto. Fonte: PINHEIRO; SILVA, 2011, p. 1074.....	33
Figura 7 - Fotos comparativas entre amostra de concreto referência e amostra de concreto exposta por um ano em uma câmara de umidade, apresentando crescimento de fungos tipo Fusarium, como biofilme preto. Fonte: GEORGE, 2013, p. 10.....	34
Figura 8 - Biodeterioração aparente em edificação: Formação de manchas; Presença de pátinas biológicas: (a) alga (b) hifas; (c) bactérias e (d) protozoários. Fonte: PINHEIRO; SILVA, 2011 p. 1078.	35
Figura 9 - Micrografias de micro-organismos em concreto já deteriorado: (a) alga (b) hifas; (c) bactérias e (d) protozoários Fonte: PINHEIRO; SILVA, 2011 p. 1076	35
Figura 10 - Retração por assentamento plástico. Fonte: adaptação de carmona Filho e Carmona 2013.	36
Figura 11 - Propagação das tensões por movimentações térmicas numa laje de cobertura com bordos vinculados. Fonte: Thomaz. E; pág. 23; 1989.....	38
Figura 12 - Mecanismo de corrosão eletroquímica. Fonte: Bolina, Fabricio. Tutikian, Bernardo. Helene, Paulo. – São Paulo, Oficina de textos, 2019.....	44
Figura 13 - Evolução das manifestações patológicas de uma viga de concreto afetada por mecanismos de corrosão. Fonte: Bolina, Fabricio. Tutikian, Bernardo. Helene, Paulo. – São Paulo, Oficina de textos, 2019.....	45
Figura 14 - Evolução das manifestações patológicas de uma viga de concreto afetada por mecanismos de corrosão. Fonte: FELIU, 1987, apud. PAZINI. E., Gibson. M. ALCOPANT, Boletim técnico nº06, 2013.....	46
Figura 15 - Representação do avanço de carbonatação do concreto e colocação apresentada com a solução fenolftaleína Fonte: E. F. Félix, R. Carrazedo , E. Possan; Alcopant (2017).	50

Figura 16 - Fluxograma da metodologia GDE/UnB. Fonte: CASTRO, E.K., Desenvolvimento de Metodologia para Manutenção de Estruturas de Concreto Armado. Dissertação (Mestrado em Estruturas), Departamento de Engenharia Civil. Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1994.	57
Figura 17 - Planta da unidade privativa da edificação (projeto original). Fonte: fornecido pela empresa de intermediação imobiliária de edificação.66	
Figura 18 - Quadro de áreas – projeto legal. Fonte: projeto da edificação aprovado pela SEHAB (1987).....	67
Figura 19 - Foto fachada edifício. Fonte: autores.	67
Figura 20 - Corte esquemático da estrutura (situação existente). Fonte: autores.....	68
Figura 21 – Croqui do pavimento Tipo. Fonte: Autores.	70

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Vida Útil de Projeto (VUP) para o sistema estrutural. Fonte: adaptado NBR 15575:2013 .	22
Tabela 2 - Vida útil de projeto (VUP) mínima para várias normas. Fonte: Revista Científica CREA-PR - 1ª edição 2013: Edna Possan, Carlos Alberto Demoliner.....	22
Tabela 3 - Cobrimento nominal para peças estruturais x Classe de agressividade. Fonte: NBR 6118:2014.....	23
Tabela 4 - Cobrimento nominal para peças estruturais x Classe de agressividade. Fonte: NBR 6118:2014. Classe de agressividade ambiental. Fonte: NBR 6118: 2014.	24
Tabela 5 - Relação água/ cimento concreto x Classe de agressividade. Fonte: NBR 6118:2014.	24
Tabela 6 - Principais mecanismos de deterioração das estruturas de concreto armado. Fonte: adaptado pelos autores de Andrade, Medeiros e Helene (2011, p. 784).	25
Tabela 7 - Principais causas de deteriorações por reações químicas em estrutura de concreto armado. Fonte: Autores	26
Tabela 8 - Micro-organismos relacionados a biodeterioração das estruturas em concreto armado. Fonte: Autores, adaptado PINHEIRO e SILVA (2011).	31
Tabela 9 - Limites para o teor total de cloretos no concreto. Fonte: Helene, 1993.	43
Tabela 10 - Principais manifestações patológicas, mecanismos e prevenções Fonte: AZEVEDO, M. T. Concreto: ciência e tecnologia - Volume II: Patologia das estruturas de concreto. São Paulo: IBRACON, 2011.....	47
Tabela 11 - Modelo de formulário para pilares conforme metodologia GDE/UnB. Fonte: Verly (2015).	57
Tabela 12 - Fator de ponderação F_p em relação ao dano por família de elementos. Fonte: Elaborado pelos autores, apud de Fonseca (2007).	59
Tabela 13 - Fator de intensidade do dano (F_j) x Problema patológica. Fonte: Dias (2018), pág. 62, apud. Fonseca (2007).	60
Tabela 14 - Classificações do dano de determinado elemento (fator de intensidade do dano, F_j). Fonte: Fonseca (2007).	61
Tabela 15 - Classificação das famílias de elementos conforme Fator de Relevância. Fonte: Fonseca (2007).	64
Tabela 16 - Classificação dos níveis de deterioração do elemento (G_{de}) e da estrutura G_d) pelo método G_{de} / UnB. Fonte: Fonseca (2007).	64
Tabela 17 – Situação dos elementos estruturais. Fonte: Autores.	70
Tabela 18 – Tabela de Grau de Deterioração do Elemento, Escadas. Fonte: Autores.....	83
Tabela 19 - Tabela de Grau de Deterioração do Elemento, Vigas. Fonte: Autores.	84
Tabela 20 - Tabela de Grau de Deterioração do Elemento, Pilares. Fonte: Autores.	85
Tabela 21 - Tabela de Grau de Deterioração do Elemento, Lajes. Fonte: Autores.....	85
Tabela 22 - Tabela de Grau de Deterioração das Famílias. Fonte: Autores.	86
Tabela 23 - <i>Cálculo Vida Útil Residual da Estrutura com os dados ensaio carbonatação (método Tutti). Fonte: Autores.</i>	88

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Principais motivos para as paralisações das obras financiadas pela União. Fonte: Tribunal de Contas da União, 2019. Disponível em < https://portal.tcu.gov.br/imprensa/noticias/obras-paralisadas-no-pais-causas-e-solucoes.htm >, acessado 20/12/2020 as 20:31.	12
Gráfico 2 - Desempenho com e sem manutenção. Fonte: Revista Científica CREA-PR - 1ª edição 2013: Edna Possan, Carlos Alberto Demoliner	21
Gráfico 3 - Variação da profundidade de carbonatação em função do tempo e da relação água/ cimento. Fonte: HELENE, 1999.	41
Gráfico 4 - Modelo simplificado para a corrosão das armaduras. Fonte: Tutti (1982).....	52
Gráfico 5 - Conceituação de vida útil das estruturas de concreto com relação a corrosão das armaduras de TUUTI (1982) ampliada por HELENE (1993). Fonte: Helene, 1993.....	53
Gráfico 6 - Relação cobertura nominal encontrado em pilares x NBR 6118:2014. Fonte: autores. ..	87

SUMARIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1. PROBLEMA DE PESQUISA	14
1.2. OBJETIVOS.....	14
1.2.1. Objetivo Geral	14
1.2.2. Objetivos Específicos	14
1.3. HIPÓTESE.....	14
1.4. JUSTIFICATIVAS	15
1.4.1. Econômicos	15
1.4.2. Sociais.....	16
1.4.3. Sustentáveis	16
1.4.4. Segurança estrutural	16
1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	17
1.6. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO	17
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1. DURABILIDADE E VIDA UTIL DAS ESTRUTURAS EM CONCRETO ARMADO.....	19
2.1.1. Definições.....	20
2.1.1.1. Desempenho.....	20
2.1.1.2. Durabilidade	20
2.1.1.3. Vida Útil (VU)	21
2.1.1.4. Vida Útil de Projeto (VUP)	21
2.1.1.5. Vida Útil Residual.....	23
2.2. CLASSE DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL.....	23
2.3. MECANISMOS DE DEGRADAÇÃO DA ESTRUTURA.....	25
2.3.1. ATAQUES POR ÁCIDOS	26
2.3.1.1. Crosta Negra	27
2.3.2. ATAQUES POR SULFATOS.....	28
2.3.3. ATAQUES DE ÁGUA PURA / LIXIVIAÇÃO.....	30
2.3.4. BIODETERIORAÇÃO	31
2.3.5. REAÇÃO ÁLCALI AGREGADO (RAA)	35
2.3.6. RETRAÇÃO DO CONCRETO / MOVIMENTAÇÃO TÉRMICA	36

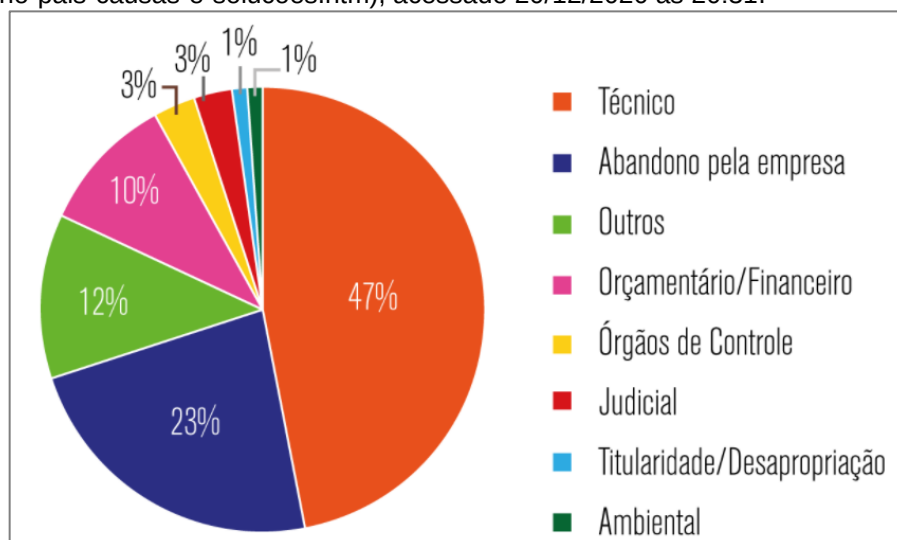
2.3.6.1.	Movimentação térmica do concreto	38
2.3.7.	<i>DETERIORAÇÃO MECÂNICA DO CONCRETO</i>	39
2.3.8.	<i>CARBONATAÇÃO</i>	41
2.3.9.	<i>CLORETOS</i>	42
2.4.	<i>CORROSÃO</i>	43
2.5.	<i>PRINCIPAIS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO</i> ...	47
2.6.	<i>ENSAIO DE PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO (ENSAIO DE FENOLFTALEÍNA)</i>	50
3.	METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA	52
3.1.	<i>VIDA ÚTIL RESIDUAL – MODELO DE TUTTI (1982)</i>	52
3.1.1.	Métodos de estimar a Vida útil	54
3.1.2.	Modelo de Tutti para cálculo de Vida Útil	54
3.2.	<i>MÉTODO GDE/UnB – MODELO FONSECA (2007)</i>	55
3.2.1.	Família de Elementos	58
3.2.2.	Fator de Ponderação (Fp).....	58
3.2.3.	Fator de Intensidade (Fj)	60
3.2.4.	Grau do Dano (D).....	61
3.2.5.	Grau de Deterioração do Elemento (Gde).....	62
3.2.6.	Grau de Deterioração de uma família de elementos (Gdf)	63
3.2.7.	Grau de Deterioração da Estrutura	64
4.	ESTUDO DE CASO: OBRA PARALISTADA ED. RESIDENCIAL RUA EVANS	65
4.1.	<i>CARACTERÍSTICAS DA REGIÃO</i>	65
4.2.	<i>CARACTERÍSTICAS DA EDIFICAÇÃO</i>	66
4.3.	<i>VISTORIA</i>	68
4.4.	<i>LEVANTAMENTO DE DADOS DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS</i>	69
4.4.1.	Considerações sobre os elementos estruturais do edifício.....	69
4.4.2.	Levantamento dos dados GDE/UnB	70
4.4.3.	Descrição do ensaio de Fenolftaleína realizado	71
4.4.3.1.	Ensaio Nº01	71
4.4.3.2.	Ensaio Nº 02	73
4.4.3.2.	Ensaio Nº 03	74
4.4.4.	Apresentação dos danos encontrados nas estruturas	75
4.4.4.1.	Pilares	76
4.4.4.2.	Vigas.....	78

4.4.4.3. Lajes	80
5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	83
5.1. GRAU DE DETERIORAÇÃO DAS FAMILIAS DE ELEMENTOS CONFORME GdE/ UnB	83
5.2. GRAU DE DETERIORAÇÃO DA ESTRUTURA - GdE/ UnB.....	86
5.3. ESTIMATIVA DA VIDA ÚTIL DE PROJETO PELA METODOLOGIA DE TUTTI	86
5.3.1. Profundidade de carbonatação das estruturas.....	86
5.3.2. Vida útil de projeto residual da estrutura (Método de Tutti)	87
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	89
6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	89
6.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	90
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92
ANEXO I.....	96
APÊNDICE I	115

1. INTRODUÇÃO

Em diversas zonas urbanas do país, principalmente em cidades capitais, pode-se encontrar diversos edifícios abandonados com obras paralisadas antes do término da sua execução. Estas edificações são tanto empreendimentos privados quanto públicos. Para estimar-se a ordem de grandeza de edifícios nesta situação, apenas o governo do estado de São Paulo possuía em 2019, segundo o TCE (Tribunal de Contas do Estado de São Paulo), 175 obras públicas paralisadas e, segundo o TCU (Tribunal de Contas da União) o Brasil em 2019 continha aproximadamente 9.000 obras financiadas pela União paralisadas ou inacabadas. As razões pelas quais as obras são paralisadas são diversas: problemas técnicos durante a execução, interdição judicial, alteração de bases legislativas e principalmente falta de recursos financeiros / perda de investidores ou financiamentos (CROITOR, 2008). Os principais motivos para que ocorrem paralisação das obras, segundo o TCU estão relacionadas no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Principais motivos para as paralisações das obras financiadas pela União. **Fonte:** Tribunal de Contas da União, 2019. Disponível em <<https://portal.tcu.gov.br/imprensa/noticias/obras-paralisadas-no-pais-causas-e-solucoes.htm>>, acessado 20/12/2020 as 20:31.



As consequências de edificações com obras paralisadas e/ou edificações abandonadas à região vão desde prejuízos sociais, que envolvem aspectos de vacância de moradia; falta de ocupação com residências em regiões centrais, o que tenderia à melhorar a qualidade de vida da população e a mobilidade urbana; ocasiona danos à segurança pública do entorno com o espaço não ocupado; prejuízo estético

à paisagem urbana e prejuízo funcional (espaço que não desempenha a função que foi inicialmente projetada, ou quaisquer outras funções que uma edificação possui: residencial, industrial, comercial, cultural, etc.); até aspectos imobiliários-financeiros como agente de degradação minorando os valores dos imóveis e terrenos do entorno. Como consequência para a estrutura da edificação, tem a sua durabilidade como prejuízo.

Todos os sistemas e componentes de quaisquer edificações sofrem desgastes e degradações em função do tempo e precisam de correta e rotineira manutenção preventiva para atender aos seus requisitos durante seu ciclo de vida útil, buscando assim maior durabilidade: prolongando a vida útil (atingindo ou ultrapassando a vida útil de projeto).

Em específico ao sistema estrutural: as peças estruturais de concreto armado sofrem degradações, pois “o ambiente o deteriora de diversas formas”, de acordo com a classe de agressividade do local em que a estrutura se encontra e resulta em manifestações patológicas mesmo em uma estrutura ainda sem atuação de algumas das cargas permanentes e sem suas sobrecargas.

As anomalias que se deflagram nas estruturas de concreto não são justificadas apenas por sobrecarga ou dimensionamento inadequado das peças. O ambiente, e seus diversos microclimas, também promove alterações nos materiais, deteriorando-os independentemente da capacidade portante ou carregamento atuante. Essa deterioração, além de agredir o concreto, pode resultar na corrosão das armaduras, com sérios prejuízos ao desempenho estrutural e a segurança física dos usuários, pois pode promover o colapso da edificação. (Bolina, F. L; Tutikian, B. F.; Helene, P. R.; 2019, p.62).

Edificações abandonadas não possuem usuários, em sua maioria não recebem quaisquer manutenções preventivas (ou até mesmo corretivas) e além disso, em algumas situações suas obras foram paralisadas de modo que as estruturas não se encontram protegidas conforme exigências normativas da NBR 6118:2014. Situação que pode contribuir com a deterioração das estruturas e permitir estágios avançados de um determinado problema patológico, que poderia ter sido verificado e reparado (ou recuperado) em seus estágios iniciais.

Para estas edificações um dos primeiros passos ao aspirar a reabilitação de sua estrutura (continuação das obras, alteração de uso da edificação, retrofit, etc.) é a inspeção estrutural. Segundo Bolina, Tutikian e Helene (2019): a inspeção estrutural

produzida por um profissional capacitado define o estado de segurança da edificação e pode evitar desastres”. Na inspeção relata-se as manifestações patológicas identificadas, observando frequência, localização e magnitude das inconformidades constatadas.

1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

Qual o grau de deterioração da estrutura em concreto armado do edifício residencial situado na Rua Evans nº 100, na Vila Esperança, zona leste da cidade de São Paulo?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

Determinar o grau de deterioração (pelo método GDE/UnB) da estrutura em concreto armado; a qual sua construção foi paralisada há aproximadamente 30 anos.

1.2.2. Objetivos Específicos

- a) Estimar a vida útil residual de projeto da estrutura em concreto armado utilizando o método proposto por Tutti (1982).

1.3. HIPÓTESE

Presume-se que o grau de deterioração da estrutura seja crítico, e que a camada passivadora da armadura obteve-se o fim da vida útil, isto devido:

- ao tempo em que a estrutura ficou diretamente exposta aos agentes agressivos;
- a edificação estar locada em meio urbano (classe alta agressividade ambiental segundo NBR 6118:2014)
- ausência de manutenção preventiva e corretiva que edificações abandonadas comumente possuem.

1.4. JUSTIFICATIVAS

Como relevância do tema, além do impacto urbanístico que uma edificação abandonada traz ao seu entorno, existem importantes aspectos sociais, econômicos, técnicos-científicos, sustentáveis e de segurança, conforme resume-se a seguir.

1.4.1. Econômicos

Desde aproximadamente os anos de 1950 é observado na construção civil um aumento dos danos causados pela deterioração das estruturas de concreto armado, elevando os gastos com reparos e reforços (ANDRADE, 2005).

Os custos para reparos das manifestações patológicas geralmente são altos e, no caso de serem identificados no início da degradação o prejuízo financeiro em relação ao reparo ou recuperação seriam menores. Ou seja, quanto antes verificar determinado problema, sua intervenção será mais fácil e com menor custo, conforme representação pela Lei de SITTER (1984).

Devido ao alto custo para reaver uma estabilidade de uma obra, afim de amenizar mesmo de maneira ínfima tal investimento, o presente trabalho irá apontar antecipadamente as manifestações patológicas presente na estrutura.

Isto além da importância em buscar recuperar estruturas sob quesitos econômicos:

- Setor imobiliário: a edificação abandonada causa prejuízo de valores aos terrenos e imóveis do entorno;
- Incorporação: para a viabilidade de construção, pode ser vantajoso financeiramente empreendimento com projetos elaborados e aprovados;
- Construção: sendo possível reutilizar a estrutura, o desembolso para a execução das mesmas não precisará ser considerado (compra do volume de concreto, armação, mão de obra para concretagens e corte e dobra da armadura, etc.), podendo assim o custo de reparo e proteção ser menor que o custo de execução.
- Ampliações de redes de concessionárias e infraestrutura: principalmente para moradias populares, o custo de reaproveitar edificações em regiões centrais pode ser menor não necessariamente por questões da edificação em si, mas devido a infraestrutura já existente na região, não sendo necessárias desembolsos com a execução ampliações de redes (energia elétrica, gás, saneamento, água potável,

drenagem urbana de águas pluvial) e inclusive prolongações da rede de transporte público. (CARRARO, 2017)

1.4.2. Sociais

Segundo FERNANDES em matéria pela BBC News (2018), o Brasil tem um alto déficit de habitações, possuindo cerca de 6,9 milhões de famílias “sem teto”. Este fato apresenta um dos principais aspectos da importância em inspecionar, identificando o grau de degradação da estrutura e se reabilitar edificações abandonadas.

Sobre o tema é relevante um questionamento social quanto a existências destes espaços desocupados e sem uso em plena zona urbana, um contraponto ao fato de que São Paulo (cidade à qual o prédio de estudo de caso se encontra) possui um déficit habitacional em torno de 474 mil moradias, segundo FGV- 2019.

1.4.3. Sustentáveis

Prolongar a vida útil de uma edificação, segundo Gonzales (2008), reduz a geração de resíduos, economiza recursos naturais, energia e solo virgem urbano. Sendo, portanto, uma questão de sustentabilidade em toda a complexa extensão que envolve este contexto.

No caso de optar por reabilitar a estrutura de uma edificação desocupada e não iniciar um empreendimento “do zero”, apenas não precisando produzir o volume de concreto da edificação economizaria de energia seria gasta aproximadamente 2.775MJ (770,83kWh) para cada 1m² de concreto. Esta energia em boa parte provém da combustão do petróleo que libera CO₂ na atmosfera. (SHIMBO, L.e AKEMI I., 2000)

1.4.4. Segurança estrutural

Outro fator de relevância a ser considerado é relativo à segurança estrutural. As peças em concreto armado são vulneráveis a sofrerem processos de deteriorações devido às reações químicas e físicas, o qual, durante sua vida útil, podem levar ao não atendimento de seus requisitos, causando danos a estrutura e, em casos com

elevada situação de degradação podendo levar ao colapso da edificação, prejudicando inclusive a segurança estrutural de edificações vizinhas. Encontra-se situações recentes de desabamentos no Brasil, como o Edifício Andrea na cidade de Fortaleza, dois prédios vizinhos em Muzema na cidade do Rio de Janeiro, e quedas de marquises em Penápolis e São Paulo, todos em 2019, trazendo prejuízos financeiros e, principalmente perdas de vidas humanas.

1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para a realização deste estudo e para que seja atingido os objetivos propostos neste, será desenvolvido as seguintes atividades:

- Pesquisa bibliográfica e normativa sobre o tema e suas abrangências;
- Pesquisas para levantarmos informações básicas da obra;
- Visita ao local para inspeção visual nos elementos estruturais, identificando manifestações patológicas existentes e intensidade aparente do problema patológico;
- Realização de ensaio de carbonatação em peças estruturais com Fenolftaleína;
- Estimar a vida útil residual da estrutura com as informações obtidas no ensaio da profundidade de carbonatação, utilizando o modelo de Tutti (1982);
- Quantificar o grau de dano da estrutura através do modelo GDE/UnB proposto e aperfeiçoado por Fonseca (2007).

1.6. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

O Capítulo 1 introduz o leitor no tema, apresenta o problema de pesquisa e os objetivos deste trabalho, bem como traz as principais justificativas para a realização deste estudo, mostrando a relevância do tema quanto aos seus aspectos econômicos, sociais, sustentáveis e de segurança estrutural, além de relacionar os procedimentos metodológicos adotados.

O Capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica discorrendo sobre a durabilidade e vida útil da estrutura, mecanismos de degradação do concreto armado, as principais manifestações patológicas encontradas nas estruturas de concreto armado e sobre o ensaio para identificação da profundidade de carbonatação.

O Capítulo 3 trata sobre os métodos de avaliações empregados: método para determinar o grau de deterioração da estrutura 'GDE/UnB proposto por Fonseca (2007)', o cálculo para estimar vida útil residual da estrutura pelo modelo determinístico de Tutti (1982).

O Capítulo 4 trata diretamente do estudo de campo realizado neste trabalho, apresentando a edificação cuja obra foi paralisada (objeto deste estudo), a descrição da vistoria, resumindo as principais manifestações patológicas identificadas.

O Capítulo 5 apresenta a análise dos resultados deste estudo com base no cálculo do Gde (Grau de deterioração) da estrutura pelo método GDE/UnB; e apresenta a vida útil residual estimada pelo método de Tutti (1982).

O Capítulo 6 apresenta as considerações finais dos autores sobre o estudo e recomendações para trabalhos futuros.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresentará a fundamentação teórica do trabalho, abordando inicialmente sobre durabilidade e vida útil da estrutura, em seguida discorrendo sobre os mecanismos de degradação do concreto armado, as principais manifestações patológicas encontradas nas estruturas de concreto armado e finalizando discorrendo sobre o ensaio para identificação da profundidade de carbonatação (fenolftaleína).

2.1. DURABILIDADE E VIDA UTIL DAS ESTRUTURAS EM CONCRETO ARMADO

Nas últimas décadas pôde-se observar uma tendência mundial em privilegiar a durabilidade e a extensão da vida útil de serviço das estruturas de concreto nos aspectos de projeto. Tal tendência surgiu em função da crescente quantidade de problemas de degradação precoce das estruturas e exigências de sustentabilidade do setor de Construção Civil (CLIFON *apud* MEDEIROS *et al.*, 2011).

As estruturas antes eram projetadas considerando basicamente a característica da capacidade de resistir aos esforços, ou seja, a resistência à compressão (R). Foi então introduzindo outras características, devido as evoluções nos materiais de construção, da maneira de se calcular as estruturas e por alterações nos níveis de exposição ambiental; acrescentando, em ordem: o conceito de durabilidade (D), desempenho (DES), vida útil (VU), e, mas atualmente a ideia de se projetar pensando no ciclo de vida (CV) e nos custos associados de preservação e manutenção (CCV) e o conceito de sustentabilidade (SUS). (POSSAN, E; DEMOLINER, CA; 2015).

O conhecimento da durabilidade e previsão da vida útil das estruturas de concreto são fundamentais para auxiliar na previsão do seu comportamento a longo prazo, prevenir manifestações patológicas precoce nas estruturas e contribuir para a economia e sustentabilidade no setor.

2.1.1. Definições

2.1.1.1. Desempenho

Desempenho pode ser definido como o comportamento em uso de uma edificação e seus sistemas. Para que seja possível mensurar o desempenho, o mesmo é medido através de “requisitos de desempenhos”, que “são condições que expressam qualitativamente os atributos que a edificação e seus sistemas devem possuir, a fim, de atender as necessidades dos usuários” (GOMIDE, T; FLORA, S; 2018).

Pelo conceito definido pela ABNT NBR 6118:2014, durabilidade é o resultado da interação entre a estrutura de concreto, as condições ambientais e as condições de uso, de operação e de manutenção da mesma.

2.1.1.2. Durabilidade

A ISO 13823 (2008) define durabilidade a relacionando com requisitos de desempenho. Estabelecendo assim durabilidade como a capacidade de uma estrutura ou componentes de atender, com manutenção adequada, os requisitos de desempenhos estabelecidos em projeto, por um determinado período de tempo, sofrendo ações de agressividade ambiental ou devido ao processo natural de envelhecimento.

Durabilidade para a estrutura é um parâmetro no qual é relacionado a utilização de conhecimentos e previsões sobre os mecanismos de deterioração do concreto armado em uma edificação com a análise dos efeitos ocasionados na estrutura devido aos agentes agressores do meio, sendo assim estabelecido a vida útil da mesma (SOUZA e RIPPER, 2009).

HELENE, PH (2011) pondera que a durabilidade não é uma propriedade exclusiva e inerente a estrutura. Visto que numa mesma edificação pode ser verificado diferentes comportamentos, ou seja, uma divergência de funções de durabilidade no tempo nestas partes. Isto se deve pelo uso, pela variabilidade de exposição à agentes agressivos, não homogeneidade da estrutura em concreto armado e por variabilidades de ações mecânicas.

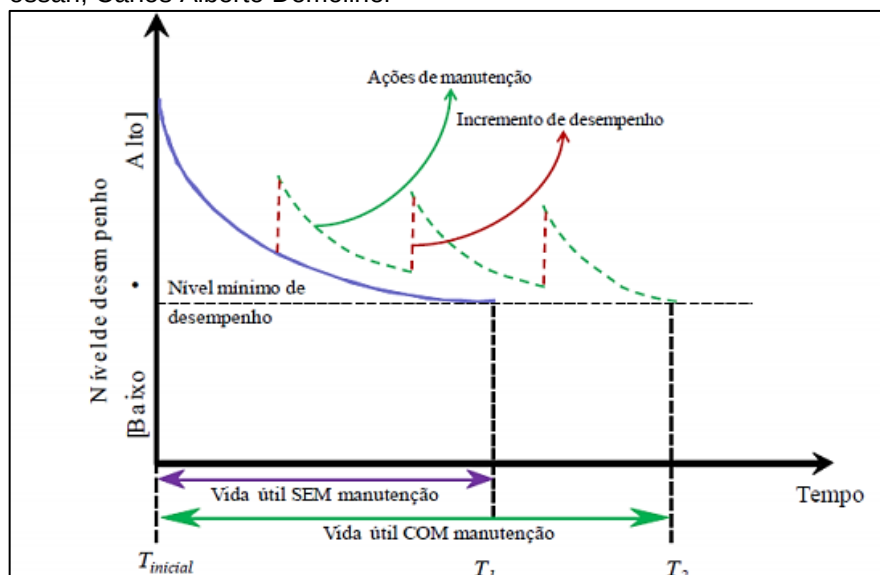
2.1.1.3. Vida Útil (VU)

Segundo a ASTM E632-1981, Vida útil é definida como: “um período, depois de entrar em utilização, durante o qual todas as propriedades relevantes dos elementos e sistemas estão acima de níveis mínimos aceitáveis.” E, segundo a NBR 15575: 2013, VU trata-se de: “uma medida temporal de durabilidade”.

De forma resumida VU trata-se de período de tempo em que a estrutura ou componente continua atendendo os determinados requisitos de desempenho às quais foram projetados e construídos e, assim, atendendo a necessidade de usuário; como, por exemplo, o requisito da capacidade portante, sendo capaz de suportar as cargas atuantes na estrutura. Ou seja, de forma geral, se resume em estimar um período de duração da estrutura, considerando as variáveis que nela atuam e suas características de projeto, durante o ciclo de vida da edificação.

Cabe observar que o período de VU de uma edificação será diretamente relacionado a realização da manutenção preventiva, de preferência prognosticada em projeto e/ou planos de manutenção. Tal relação esta ilustrada no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Desempenho com e sem manutenção. **Fonte:** Revista Científica CREA-PR - 1ª edição 2013: Edna Possan, Carlos Alberto Demoliner



2.1.1.4. Vida Útil de Projeto (VUP)

Segundo BOLINA, F; TUTIKIAN, B e HELENE, PH (2019), VUP não é o período na qual a edificação se mantém íntegra ou ainda tem condições de ser

utilizada, e sim um período de tempo mínimo em que se espera que os requisitos de desempenho do sistema sejam atendidos, conforme determinados em projeto.

No Brasil, a VUP do sistema estrutural deve ser, no mínimo, 50 anos, conforme a ABNT NBR 8681:2003, relatado na Tabela 1. No entanto, a VUP mínima varia de acordo com a construção.

Tabela 1 - Vida Útil de Projeto (VUP) para o sistema estrutural. **Fonte:** adaptado NBR 15575:2013

Vida útil de Projeto (VUP)	
Sistema	VUP mínima (anos)
Estrutura	≥ 50
	Segundo ABNT NBR 8681:2003

Em nosso país, temos VU preconizado também na NBR 15575:2013 para edificações residenciais, e em manuais de projeto de pontes do DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes) que especificam período mínimo de 100 anos para suas obras. Outras normas estrangeiras possuem tal período para o tipo de estrutura, como explicitado na Tabela 2.

Tabela 2 - Vida útil de projeto (VUP) mínima para várias normas. **Fonte:** Revista Científica CREA-PR - 1ª edição 2013: Edna Possan, Carlos Alberto Demoliner.

Tipo de estrutura	Vida útil de projeto (VUP) mínima				
	BS 7543 (1992)	ISO 2394 (1998)	Fib 34 (2006) e EN 206-1 (2007)	NBR 15575 (2013)*	Fib 53 (2010)
Temporárias	≥ 10 anos	1 a 5 anos	≥ 10 anos	-	-
Partes estruturais substituíveis (Ex.: apoios)	≥ 10 anos	≥ 25 anos	10 a 25 anos	23 a 20 anos	25 a 30 anos
Estruturas para agricultura e semelhantes	-	-	15 a 30 anos	-	-
Estruturas <i>offshore</i>	-	-	-	-	≥ 35 anos
Edifícios industriais e reformas	≥ 30 anos	-	-	-	-
Edifícios e outras estruturas comuns	-	≥ 50 anos	≥ 50 anos	50 anos	≥ 50 anos
Edifícios novos e reformas de edifícios públicos	≥ 60 anos	-	-	-	-
Edifícios monumentais, pontes e outras estruturas de engenharia civil	≥ 120 anos	≥ 100 anos	≥ 100 anos	-	≥ 100 anos
Edifícios monumentais	-	-	-	-	≥ 200 anos

2.1.1.5. Vida Útil Residual

Entende-se que vida útil residual (VUR) é o período de tempo de uma determinada inspeção na estrutura até a obtenção do fim de VU. Ou seja, quanto tempo mais espera-se que determinado sistema continua atendendo seu desempenho, análise que está sendo proposta como objetivo específico desse estudo.

2.2. CLASSE DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL

Segundo NBR 6118:2014, as estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente à sua vida útil.

Portanto em correlação ao meio ambiente e sua classe de agressividade ambiental, a qual está relacionada às ações físicos e químicas que atuam sobre a estrutura de concreto, independente de ações mecânicas e das ações volumétricas de origem térmicas, ficou-se estabelecido a Tabela 3.

Tabela 3 - Cobrimento nominal para peças estruturais x Classe de agressividade. **Fonte:** NBR 6118:2014.

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ³⁾
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ²⁾	20	25	35	45
	Viga/Pilar	25	30	40	50
Concreto protendido ¹⁾	Todos	30	35	45	55

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

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

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

A tabela 3 faz correlação direta com o cobrimento mínimo exigido para a peça estrutural de acordo com cada tipo de agressividade ambiental, conforme relatado na Tabela 4.

Tabela 4 - Cobrimento nominal para peças estruturais x Classe de agressividade. **Fonte:** NBR 6118:2014. Classe de agressividade ambiental. **Fonte:** NBR 6118: 2014.

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fracá	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{1), 2)}	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹⁾	Grande
		Industrial ^{1), 2)}	
IV	Muito forte	Industrial ^{1), 3)}	Elevado
		Respingos de maré	

¹⁾ Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

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

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

Tal relação considera que o concreto utilizado seja provido de ensaios comprobatórios de durabilidade, assim como apresente qualidade ideal, podendo ter como parâmetros a Tabela 5 da referida norma, a qual relaciona teor de água/ cimento e classe do concreto (NBR 8953) versus classe de agressividade ambiental.

Tabela 5 - Relação água/ cimento concreto x Classe de agressividade. **Fonte:** NBR 6118:2014.

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

NOTAS

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

2 CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

3 CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

2.3. MECANISMOS DE DEGRADAÇÃO DA ESTRUTURA

Mecanismo de degradação pode ser entendido como a identificação do processo, seja ele cunho químico, físico, biológico ou mecânico, que promove a deterioração dos materiais. Entender os mecanismos deflagradores de manifestações patológicas nas estruturas é fundamental para prescrever ações de prevenções para mitigar o surgimento de anomalias que comprometam o uso da edificação. (BOLINA, TUTIKAN, HELENE; 2019). ANDRADE, MEDEIROS e HELENE (2011, p.784) apresentam os principais mecanismos físico-químicos de deterioração das estruturas de concreto armado, conforme Tabela 6.

Tabela 6 - Principais mecanismos de deterioração das estruturas de concreto armado. **Fonte:** adaptado pelos autores de Andrade, Medeiros e Helene (2011, p. 784).

Principais mecanismos de degradação das estruturas de concreto armado			
Natureza do processo	Condições particulares / 'agravantes'	Manifestações na superfície do concreto	Efeitos na estrutura de concreto armado
Carbonatação	Alta classe agressividade; Alta umidade relativa (UR 60% a 85%)	Imperceptível visualmente	Redução do pH do concreto, gerando despassivação e corrosão de
Concentração salina, Cl – (cloreto)	Atmosfera marinha e industrial	Imperceptível visualmente	despassivação e corrosão de armaduras, fissuração superficial
Lixiviação	Atmosfera ácida, infiltrações / umidade águas pluvias	Eflorescências, manchas brancas	Redução do pH do concreto, gerando corrosão de armaduras, desagregação superficial
Retração	Umedecimento e secagem, ausência de cura (ou ineficiente), UR baixa (<50%)	Fissuras	Fissuração, contribuindo para corrosão de armaduras
Fuligem	Partículas ácidas em suspensão na atmosfera urbana e industrial	Manchas escuras por deposição sobre a estrutura	Redução do pH do concreto, gerando corrosão de armaduras
Fungos e mofos	Colônias ácidas em temperaturas entre 20°C e 50°C; umidade, UR>75%	Manchas escuras e esverdeadas	Redução do pH desagregação superficial, corrosão nas armaduras
Sulfatos	Esgotos e águas servidas; reações químicas que resultem em sulfatos (como ácido sulfúrico e carbonato de cálcio)	Fissuras	Reações de expansão, fissuras, desagregação do concreto, corrosão das armaduras
Álcali-agregado	Composição do concreto com agregados reativos, umidade, UR>95%	Fissuras, gel ao redor do agregado grão	Reações de expansão, fissuras, desagregação do concreto, corrosão das armaduras

O mecanismo de degradação está relacionado a classe de agressividade ambiental (já relatado neste trabalho) e por demais condições de umidade e temperatura, além da presença ou não de substâncias agressivas, por exemplo, cloretos e sulfatos (RIBEIRO, 2018).

As reações químicas que ocorrem entre os agentes agressivos e compostos existentes do concreto armado ocasionam efeitos nocivos a estrutura; segundo METHA E MONTEIRO (2008), demonstrados na Tabela 7, destes efeitos nocivos se vê aumento na porosidade e permeabilidade, diminuição da resistência, fissuração, lascamentos e perda da pasta de cimento.

A deterioração das peças em estrutura de concreto armado por reações químicas que ocorrem no concreto são principalmente por:

Tabela 7 - Principais causas de deteriorações por reações químicas em estrutura de concreto armado.
Fonte: Autores

Ataque por ácidos
Reação Álcali-Agregado
Ataque de sulfatos
Ataque de água pura
Ataque de água do mar
Carbonatação
Cloretos

A maior preocupação em relação a armadura é a corrosão, como pode-se observar no item 6.3.3 da NBR 6118:2014, o qual cita os mecanismos preponderantes de deterioração relativos à armadura: despassivação por carbonatação e despassivação por cloreto.

Nos próximos capítulos deste trabalho abordaremos sobre ataques por ácidos, sulfatos, reações químicas com água pura, biodeterioração, carbonatação, ataques de cloretos e corrosão.

2.3.1. ATAQUES POR ÁCIDOS

Caso o concreto tenha contato com ácido em alta concentração, como em período prolongado sob ação de chuvas ácidas em ambientes industriais ou em zonas urbanas centrais, ocorre uma reação que destrói seu sistema poroso, altera a pasta

de cimento endurecida e resulta em perda da pasta de cimento e como consequencia da seção da peça estrutural, o qual pode comprometer sua capacidade portante.

A perda do concreto ocorre à partir da superfície exposta e a velocidade da degradação é proporcional a concentração do ácido em contato direto com o concreto (LAPA, 2008) . O composto no cimento mais suscetível a reação química com tais agentes é o hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2).

Em ambientes úmidos, o gás carbonico CO_2 , o dióxido de enxofre (SO_2) e outros gases ácidos atacam o concreto removendo parte da pasta de cimento já endurecida, este ataque ocorre com pH próximos a 6,5 (Lapa, 2008).

Ataques químicos e biológicos ao concreto possuem certa simultaneidade e corroboração.

Os concretos também são atacados por águas que contém CO_2 livre em terrenos pantanosos com pH em torno de 4,4 e pelas águas puras com pouco CO_2 . Em caso de compostos de enxofre existente os mesmos são transformados em H_2S por bactérias anaeróbicas. Este agente, mesmo não sendo diretamente agressivo, sobre oxidação pelas bactérias aeróbicas que gera em seu produto final o ácido sulfúrico, sendo que este se dissolve gradativamente e degrada o concreto. (Lapa. 2008, p. 17)

Uma consideração importante é que esta reação é a base da formação da Crosta Negra, pois o ácido sulfúrico gerado nestas condições reage com a o hidróxido de cálcio e gera a **Crosta Negra**, conforme explicitado a seguir.

FERREIRA (2000) indica que o ácido ataca normalmente depositando o sal (produto da reação) na superfície. Como exemplo, o ácido sulfúrico (H_2SO_4) que reagindo com o hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) produzindo sulfato de cálcio (CaSO_4), que é depositado na superfície.

2.3.1.1. Crosta Negra

As reações químicas ocasiona na estrutura manchas escuras (“sujidades”) e forma um gel que contribui com a proliferação de micro organismos no concreto (TOMAZZELI, 2019)

A crosta negra é caracterizado pela formação de sulfato de cálcio impregnado por sujidades, originado a partir da reação química da chuva ácida (que contém ácido sulfúrico) com o carbonato de cálcio que é composto na pasta de cimento, conforme a Figura 1. A crosta negra além de reduzir a alcalinidade do concreto (o pH, como

ataque ácido), reage com o sulfato de cálcio impregnado de sujidades (CUNHA, 2008).

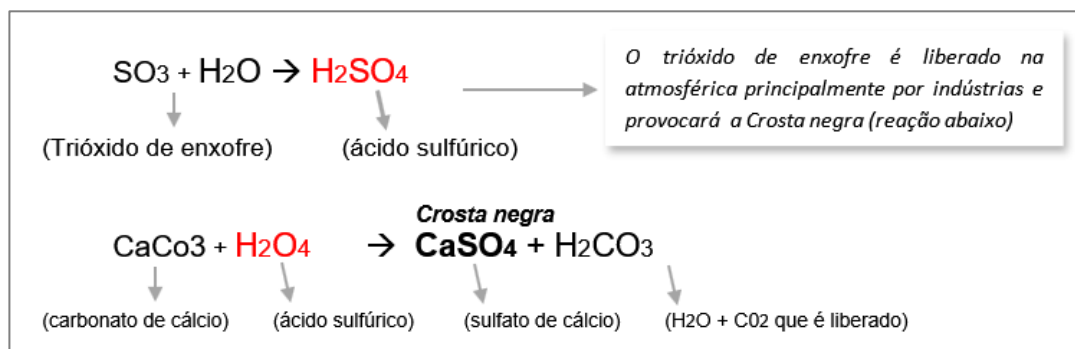


Figura 1 - Reações químicas na formação da Crosta Negra. **Fonte:** Elaborado pelos autores, adaptado de Cunha (2008).

O ácido sulfúrico reage com água e sua reação é exotérmica e corrosiva (devido ao pH ácido). O teor de H₂SO₄ disponível no meio é inclusive usado com indicador de potencial industrial do local, ou seja, indicando um nível de agressividade do meio para as estruturas.

A crosta negra também será abordada a seguir no item “Deterioração biológica”, quando da formação do biofilme.

2.3.2. ATAQUES POR SULFATOS

O ataque de sulfatos no concreto gera uma abertura de fendas, fissuras na pasta de cimento endurecido por um mecanismo associado à formação de etringita, esta ocasiona também perda de resistência e rigidez do concreto (FERREIRA 2000). O concreto que sofre o ataque de sulfatos tem uma aparência esbranquiçada e sua deterioração usualmente se inicia a partir dos cantos, o qual ocorre uma fissuração progressiva e lascamentos que deixam o concreto em uma condição friável, ou até mole (NEVILLE, 1997)

Os sulfatos podem ter origens na composição do traço do concreto (água de amassamento ou agregados) ou externo por solos ou águas ricas destes agentes (LAPA, 2008)

MEHTA E MONTEIRO (2008) afirma que é comum a existência de sulfatos nos solos na forma de gipsita (CaSO₄ • 2H₂O), normalmente na faixa de 0,01 a 0,05%. Segundo os autores, este teor é inofensivo ao concreto.

Cabe observar que o CaSO_4 (Sulfato de cálcio) é a “crosta negra”, oriunda da reação do Carbonato de cálcio com o ácido sulfúrico. A qual depositada na superfície da estrutura em forma de gesso/ “gel” ataca o concreto também pelo mecanismo de degradação de ATAQUE DE SULFATO.

A Figura 2, mostra os cristais de gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) formados posteriormente com água e aluminato tricálcico que forma o sulfato de cálcio monohidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), que por sua vez também reagem com a gipsita para dar origem a etringita (sulfoaluminato de cálcio), sendo então, sua formação resultando a expansão, o que leva a fissurações.

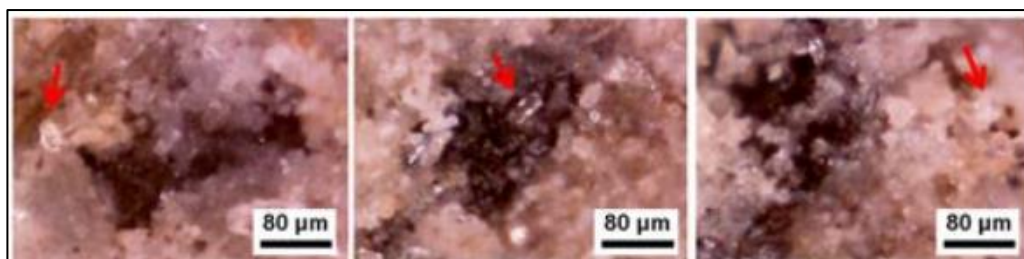


Figura 2 - Cristais de gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) formados que dão origem a etringita (sulfoaluminato de cálcio) - Microscopia elaborado com cimento CP III RS. **Fonte:** Mainier, Gomes, Pontual – PATORREB 2018, pág. 08.

Os íons Sulfato reagem com os aluminatos de cálcio do cimento – C3A (componente que é suscetível à ação dos Sulfatos), que gera como produto final a Etringita que é um produto expansivo, resultado das reações presentes na Figura 3 e 4.

Na ausência de Cloretos que poderiam reagir com o C3A do cimento, o gesso secundário formado é o Sulfoaluminato hidratado, muito expansivo.

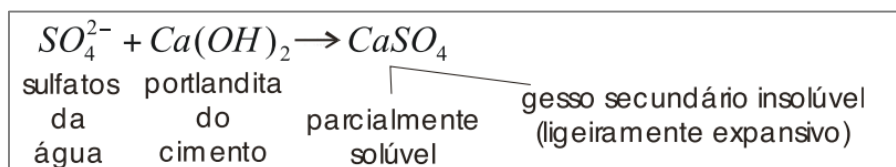


Figura 3 - Formação sulfato de cálcio (Crosta Negra). **Fonte:** Caracterização da agressividade do ambiente marinho às estruturas de concreto Maryangela G. de Lima & Fabiano Morelli, 2004

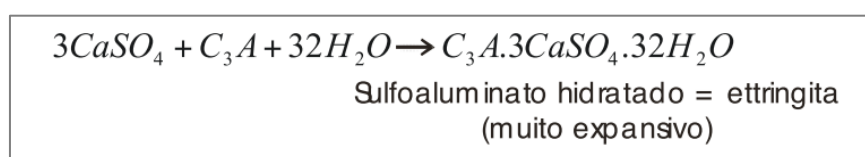


Figura 4 - Formação etringita. **Fonte:** Caracterização da agressividade do ambiente marinho às estruturas de concreto Maryangela G. de Lima & Fabiano Morelli, 2004

Portanto, em resumo, o sulfato de cálcio, associado com o aluminato tricálcico hidratado, forma o monosulfo aluminato cálcico hidratado (aluminato tricálcico + gesso + água = monosulfato). O monosulfato com gesso provoca a formação da etringita (monosulfato + gesso + água = etringita).

A Figura 5 é uma ilustração, exemplo da formação de etringita (tardia). A expansão na pasta de cimento origina fissuras na pasta e na interface “pasta-agregado”. Sequente a isto a etringita se recristaliza nas fissuras a partir de cristais microscópicos (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

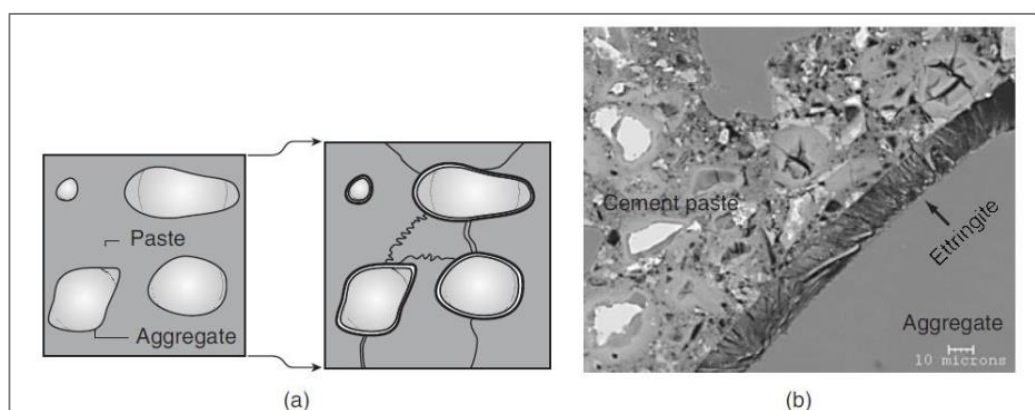


Figura 5 - a) Representação diagramática da expansão da pasta de cimento causada pela formação de etringita; b) Micrografia obtida por microscopia de uma amostra da formação de etringita tardia (tal amostra ficou por 4 horas na temperatura de 20°C, posterior foi aquecida a 90° C por 12 horas e depois armazenada em água por 600 dias. **Fontes:** MEHTA; MONTEIRO, 2006.

2.3.3. ATAQUES DE ÁGUA PURA / LIXIVIAÇÃO

Água pura contém pouco ou um teor desprezível de íons de cálcio (água deionizada). Quando a água pura entra em contato com o cimento, ela tende a hidrolisar ou lixiviar os componentes que contém cálcio (MEHTA; MONTEIRO, 2008). A degradação por ataque água pura, comumente é muito lento, com exceção no caso de a água poder atravessar continuamente a massa de concreto. Sendo assim, o H₂O decompõe alguns componentes do cimento dissolvendo o hidróxido de cálcio e, parcialmente os compostos de alumina. A lixiviação contínua acaba deixando apenas resíduo da sílica hidratada, óxido de ferro e alumina (FERREIRA, 2000).

A Lixiviação é o processo de dissolução de compostos hidratados presente na composição da pasta de cimento, ocorrendo através da percolação da água por dentro

dos poros do concreto, tendo como mais agressivo a água pura e acida (RIBEIRO apud TAYLOR, 1997).

Os efeitos da lixiviação incluem o aumento da porosidade e diminuição do teor de íons OH. Tal hidrólise da pasta de cimento continua até que a maior parte do hidróxido de cálcio seja eliminada por lixiviação, fazendo com que a pasta de cimento fique mais suscetível a decomposição química. Isto além da perda de resistência e manchas no concreto (o produto lixiviado interagem com o CO₂ formando a eflorescência).

Cabe salientar que demais mecanismos de degradação químicos/eletroquímicos ou biológicos precisam da presença de água / umidade para acontecerem.

2.3.4. BIODETERIORAÇÃO

Segundo PINHEIRO e SILVA (2011), biodeterioração é a mudança indesejável nas propriedades do concreto devido a ação de micro-organismos. A ação de micro-organismos é capaz de alterar as propriedades da pasta de cimento, de agregado e da armadura e tal degradação biológica ocorre na junção entre os fatores: características do material, presença de micro-organismos, sendo os mais comuns indicados na Tabela 8, e condições ambientais no decorrer do tempo.

Trata-se de um mecanismo de degradação multidisciplinar, que envolve reações químicas e microbiologia. O concreto é considerado um material bioreceptivo ao ataque microbiológico devido suas condições de rugosidade, porosidade e combinações químicas, combinadas com condições ambientais e umidade.

Tabela 8 - Micro-organismos relacionados a biodeterioração das estruturas em concreto armado.
Fonte: Autores, adaptado PINHEIRO e SILVA (2011).

Algas
Fungos
Bactérias
Plantas e raízes
Líquens
Protozoários

A biodeterioração pode ser classificada como (LAPA, 2008):

- **Física ou mecânica:** Tensão no concreto armado gerada pelos microrganismos durante seu crescimento ou locomoção. Como, raízes durante o crescimento de plantas.
- **Aparência do concreto:** Mudança de cor e presença de manchas no concreto;
- **Química assimilatória:** Quando os compostos do concreto têm sua microestrutura alterada, apresentando déficit de compostos essenciais para sua integridade;
- **Química não assimilatória:** É o resultado de ações dos produtos metabólicos, ou seja, do produto geralmente durante o metabolismo de microrganismos. Como, bactérias aeróbicas que gera em seu produto final o ácido sulfúrico junto a reação entre trióxido de enxofre e água

A deterioração biológica ocorre no contato do concreto com águas residuais, que resulta numa atividade metabólica de fungos e bactérias.

Micro-organismos presentes em esgotos tendem a oxidar enxofre, os quais em condições anaeróbicas, reduzem os compostos de enxofre em sulfatos que se dissolve de forma gasosa na atmosfera em H_2S (Sulfeto de hidrogênio / “gás sulfídrico”).

Sob condições aeróbicas o H_2S é transformado por bacteriais em ácido sulfúrico (H_2SO_4), altamente agressivo ao concreto. Tal reação já foi explicitada e mencionada no “ataque ácido”, “ataque por sulfatos” e “crosta negra”. O ácido sulfúrico reage com o Carbonato de cálcio do cimento e gera o sulfato de cálcio (“crosta negra”).

Segundo FERREIRA (2000), entre as bactérias sulfoxidantes que fazem parte deste processo de biodeterioração encontram-se as pertencentes ao gênero *Thiobacillus* que compreendem bacilos gram-negativos (são bactérias fermentadoras, produtoras de ácidos fortes).

Sobre o processo sulfoxidante, a energia para o metabolismo da bactéria aeróbica é obtida à parti da oxidação de um ou mais compostos reduzidos de enxofre, incluindo sulfetos. O sulfato comumente é o produto final, mas pode também formar-se transitoriamente enxofre, sulfitos e politionatos. (KULISCH, 2011)

Sendo, no caso da formação do ácido sulfúrico, a bactéria aeróbica, na presença da água oxida o SO_3 (trioxido de enxofre) e gera o H_2SO_4 (ácido sulfúrico).

As condições ambientais que colaboram para o ataque bacteriológico são: temperatura acima de 30°, presença de enxofre ou resíduos industriais, águas em condições estagnantes (retidas e sem escoamento). Como resultado as superfícies horizontais atacadas por tais bactérias ficam escorregadias. FERREIRA (2000).

As condições de biodeterioração, segundo SILVA e PINHEIRO (2011), são:

- **Formação de biofilme:** O biofilme realiza a alteração estética da estrutura. Realizando alterações de cor e produção de manchas sobre a superfície e podem proporcionar a adesão de mais outros microorganismos. Tal biofilme é um gel que forma uma película na superfície. Inicia-se com a absorção de macromoléculas de proteínas, polissacarídeos e ácidos nucleicos, graxos, lipídeos e poluentes do meio sobre a superfície externa do concreto. O substrato portanto possui suas características modificadas para proporcionar a adesão do micro-organismo. Os micro-organismos se multiplicam e produz assim o biofilme.

A Figura 6 ilustra a formação de um biofilme sobre um substrato e a Figura 7 trás fotos comparativas entre uma amostra de concreto sã e uma amostra de concreto com biofilme preto após ensaio laboratorial em câmara umida por um ano.

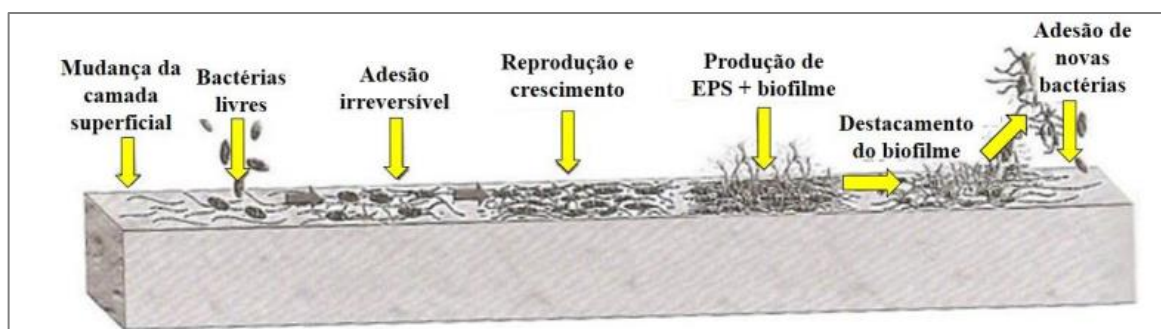


Figura 6 - Formação de um biofilme sobre a superfície de concreto. **Fonte:** PINHEIRO; SILVA, 2011, p. 1074.



Figura 7 - Fotos comparativas entre amostra de concreto referência e amostra de concreto exposta por um ano em uma câmara de umidade, apresentando crescimento de fungos tipo *Fusarium*, como biofilme preto. **Fonte:** GEORGE, 2013, p. 10.

- Tensões de sais: Os ácidos emitidos durante o metabolismo de micro-organismos em contato com o concreto, podem produzir sais que ao decorrer do tempo e, de acordo com as características do meio, em condições de saturação e secagem, podem ocasionar tensão e conseqüentemente esfoliação do material.

- Reações de complexação: ácidos orgânicos produzidos pela oxidação de compostos pelo metabolismo de microorganismos, podem reagir e promover a complexação de alguns metais, tornando elementos como o ferro, potássio e o cálcio, através da solubilização dos minerais que os contêm, formando produtos mais fáceis de serem lixiviados pela água.

- Ataque ácido: Produtos metabólicos ácidos reagem com os elementos do concreto, promovendo sua dissolução.

Os microorganismos relacionados a biodeterioração da estrutura em concreto armado podem estar presentes tanto na superfície e visíveis inclusive claramente apenas visualmente como na Figura 8, ou quanto no interior do concreto, conforme Figura 9 adiante. Segundo BORGES e SOTO (2015), as principais causas que proporcionam o crescimento dos microorganismos no concreto são: água livre, fluxo contínuo de molhagem e secagem, alto teor de cloretos e sulfetos, altos índices de poluentes na atmosférica, além de disponibilidade de oxigênio, incidência de luminosidade, pH e temperatura adequadas.

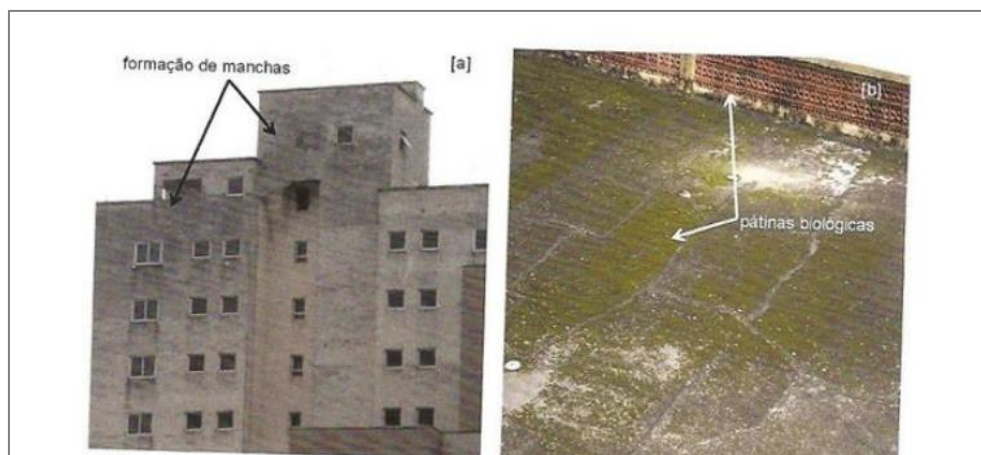


Figura 8 - Biodeterioração aparente em edificação: Formação de manchas; Presença de pátinas biológicas: (a) alga (b) hifas; (c) bactérias e (d) protozoários. **Fonte:** PINHEIRO; SILVA, 2011 p. 1078.

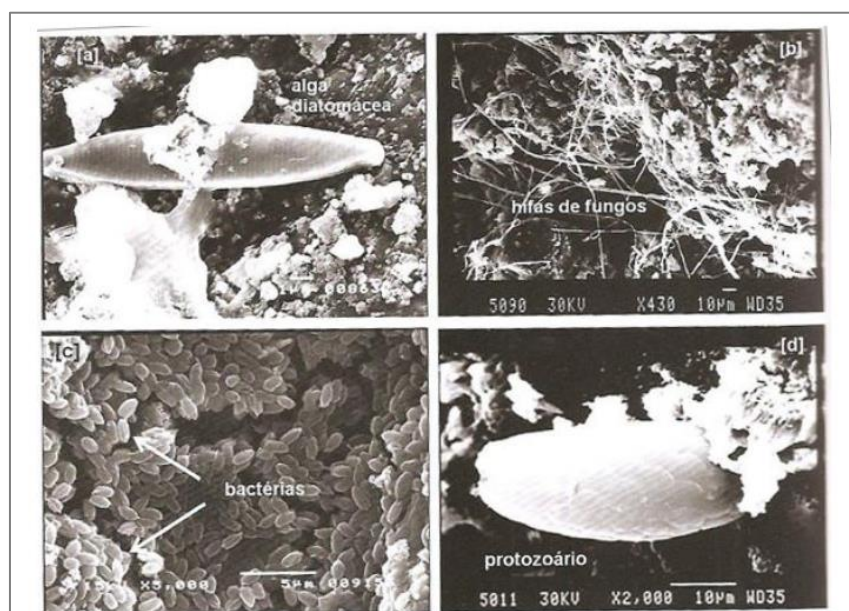


Figura 9 - Micrografias de micro-organismos em concreto já deteriorado: (a) alga (b) hifas; (c) bactérias e (d) protozoários **Fonte:** PINHEIRO; SILVA, 2011 p. 1076

2.3.5. REAÇÃO ÁLCALI AGREGADO (RAA)

As reações álcalis-agregado se caracterizam por deterioração química, sendo de origem deletérias devido a presença de agentes reativos encontrados nos agregados, íons alcalinos e hidroxilos presente na solução intersticial da pasta de cimento (RIBEIRO, 2018).

A reação álcalis-agregado é encontrada principalmente em estruturas de concreto dispostas em contato com água, assim como: barragens, ponte, fundações, pavimentos, entre outras.

Segundo MUNHOZ, fatores condicionantes para ocorrência de RAA são: i) presença de fases reativas no agregado; ii) umidade suficiente; e iii) concentração de hidróxidos alcalinos na solução dos poros do concreto suficiente para reagir com as fases reativas dos agregados.

Além destes, outros fatores contribuem para que a reação ocorra de forma mais intensa (ANDRIOLO, 1997): i) Temperatura, sendo maior a expansão quanto maior a temperatura; ii) Granulometria, sendo maior a força de expansão à medida que diminui a superfície específica (aumenta a reatividade) do material.

A manifestação patológica característica do RAA em estruturas de concreto são a presença de fissuras não orientadas, com formações hexagonais e quadrangulares, denominados de fissuração tipo “mapas”.

2.3.6. RETRAÇÃO DO CONCRETO / MOVIMENTAÇÃO TÉRMICA

A retração do concreto é um movimento natural da massa que é contrariado pelas reações internas da peça (como barras de armadura) e externas (vinculação a outras peças estruturais). Este comportamento reológico precisa ser considerado em nível de projeto e execução para não haver um quadro de fissuração, principalmente seccionando as peças mais esbeltas, como lajes e paredes. (Riper, T; Souza, V.M; 2009).

A retração do concreto é dividida em retração por assentamento plástico, autógena, carbonatação e por secagem. (Bolina, Tutikan, Helene; p.109, 2019).

Retração por assentamento plástico: quando temos o adensamento do concreto, e, em sua fase endurecida, restrição de movimentação do concreto endurecido por elementos rígidos em seu interior (como eletrodutos e barras de aço). Conforme Figura 10.

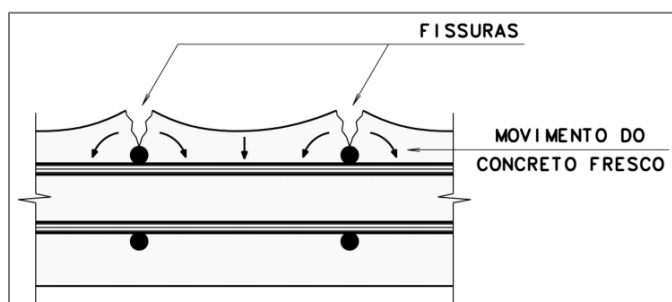


Figura 10 - Retração por assentamento plástico. **Fonte:** adaptação de carmona Filho e Carmona 2013.

Retração autógena: Segundo Anne Lopes (2011) a retração autógena é a redução do volume resultante do processo de hidratação, através de mecanismo de retração química. Bolina, Tutikan, Helene discorre que a retração autógena é ocasionada devido à variação do volume dos compostos hidratados, o qual é menor que o volume do cimento mais o da água. Sendo assim, cada partícula de cimento que hidrata provoca uma pequena contração. Portanto este fenômeno acontecerá com maior frequência em concretos com elevados consumos de cimento, como os concretos de alta resistência.

Trata-se de uma deformação volumétrica macroscópica, não restringida, de um sistema de material cimentício isotérmico e fechado, não sujeito a forças externas. Pode ser ocasionado pelo crescimento de certos cristais de sal, como a etringita, que pode causar a expansão durante a hidratação. (Bentz e Jensen; 2004 e Jensen e Jansen; 2001).

Retração por carbonatação: a cal hidratada liberada nas reações de hidratação do cimento reage com o CO_2 presente no ar, formando carbonato de cálcio, esta reação química produz uma retração, ou seja, uma redução de volume, ocasionando assim retração por carbonatação.

Retração por secagem: tipo de retração mais comum nas construções. Nesta o concreto irá retrair em até 2 anos, mas a maioria das fissuras ocorrem antes do início da pega, ou após a pega, em até 48 horas. Este mecanismo se desenvolve devido à perda excessiva, por evaporação de água do concreto.

“A quantidade excedente de água, empregada na preparação do concreto ou argamassa, permanece livre no interior da massa, evaporando-se posteriormente; tal evaporação gera forças capilares equivalentes na compressão isotrópica da massa, produzindo a redução de seu volume”.
(Thomaz, E; p. 103; 1989)

A perda de água que ocorre imediatamente após o lançamento do concreto, ou seja, antes do início da hidratação do cimento, provoca uma retração volumétrica na pasta exercendo esforços internos que o concreto não tem condições de absorver, uma vez que a resistência do concreto, nessa etapa, é ínfima.

O fenômeno tem relação direta, aumentando sua ocorrência em dia de forte insolação, altas temperaturas, baixa umidade de ar, incidência de ventos.

2.3.6.1. Movimentação térmica do concreto

Quando submetidas ao frio as peças estruturais se contraem e quando submetidas ao calor, elas se expandem. Portanto a variação de temperatura do ambiente ocasiona mudanças de volumes no concreto, devido ao movimento de dilatações. Quando estes movimentos da estrutura são restringidos por elementos rígidos internos (armaduras) e/ou externos (vinculações), são produzidas na peça estrutural tensões diferenciais e, caso essas tensões sejam maiores que a capacidade resistente culminará em fissuras por retração ou dilatação térmica do concreto.

“As solicitações de natureza térmica se sobrepõem às tensões produzidas pelo uso ou carregamento normal da peça estrutural. Há, portanto, uma sobreposição de efeitos que deve ser considerado no dimensionamento da peça.” (Bolina, Tutikian, Helene; p.113, 2019).

Laje de cobertura – Segundo Thomaz E. (1989), em geral as coberturas planas estão mais expostas às mudanças de térmicas. Deve-se considerar também que ocorrem diferenças significativas de movimentações entre as superfícies superiores e inferiores da laje de cobertura, sendo que as superfícies superiores são solicitadas por movimentações mais bruscas. Outro aspecto é que mesmo lajes que possuem acima telhados sofrem desses fenômenos, pois a energia calorífica absorvida pelas telhas é parcialmente re-irradiada para a laje, além de ocorrer uma transmissão de calor por condução e convecção através do ático. Esta situação é variável com a natureza do material da telha, ventilação, altura entre o telhado e a laje, etc.

Teoricamente as tensões de origem térmica são nulas nos pontos centrais das lajes, crescendo proporcionalmente em direção as bordas, local de ponto máximo destas tensões, conforme Figura 11. Ainda, como as lajes encontram-se geralmente vinculadas as paredes de sustentação, ocorrem tensões tanto na laje como na parede.

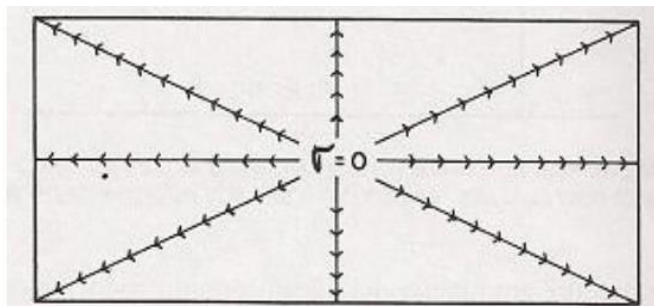


Figura 11 - Propagação das tensões por movimentações térmicas numa laje de cobertura com bordos vinculados. **Fonte:** Thomaz. E; pág. 23; 1989.

Laje de cobertura x Alvenaria - O gradiente de temperatura verticalmente na espessura da peça ocasiona um abalamento na peça que introduzem tensões de tração e cisalhamento as alvenarias das edificações.

Lajes apoiadas em vigas de periferia - tem-se possibilidade de a movimentação térmica da laje ocasionar esforço de torção na viga, que, como comumente não estão armadas para estes esforços devem fissurar.

2.3.7. DETERIORAÇÃO MECÂNICA DO CONCRETO

As peças estruturais são projetadas para suportar esforços como o peso próprio, pesos permanentes (vedações, revestimentos etc.), sobrecargas, ações de ventos e outros esforços de acordo com as particularidades do projeto e região em se encontra. Quando os esforços que estão reagindo na peça estrutural são superiores a capacidade resistente surgem fissuras características por mecanismos mecânicos de degradação. Quando os esforços são superiores inclusive aos coeficientes de segurança utilizados em cálculos estruturais o colapso estrutural ocorre.

Diferente da deterioração física, a deterioração mecânica é devida aos esforços externos impostos aos elementos (Bolina; Tutikian; Helene; 2019).

O excesso de esforços pode ser oriundo de: sobrecargas, falha construtiva (projeto e/ou execução), choques mecânicos, ações naturais não consideradas em cálculo ou alterações de uso.

Compressão – Danos por solicitações de compressão são mais comuns nos pilares e provoca instabilidades que variam de acordo com o comprimento lateral (flambagem), inércia, área da seção transversal, tratamento lateral e vinculação, ou seja, fatores do índice de esbeltez. Pilares que são classificados pela NBR 6118 (ABNT, 2014a) como curtos e/ou medianamente esbeltos são submetidos a esforços de compressão simples, principalmente na condição de pilares intermediários, desde que as vigas adjacentes possuam carregamentos e vão semelhantes. Em casos deste tipo, e sob a condição de sobrecarga, o esmagamento do concreto pode produzir fissura. Instabilidades laterais podem ocorrer principalmente nos pilares localizados nos cantos ou extremidades, onde se desenvolvem fissuras em algumas faces do

pilar, com tipologias típicas dos esforços de tração e compressão nos respectivos lados em que os esforços atuam.

Esmagamento – Ocasionado por instabilidades laterais das barras da armadura longitudinal que compõem um pilar, pode ocorrer o esmagamento do concreto. Se o pilar está bem construído (estribos adequadamente dispostos) o concreto de cobrimento das armaduras é destacado pelas barras que possuem tendência em se desestabilizar lateralmente. A peça segue suportando os esforços de compressão até que os estribos não conseguem suportar a movimentação e se rompem. Se os esforços de compressão, neste cenário, continuarem progredindo ocorrerá a instabilidade lateral das barras longitudinais do pilar e com isso o esmagamento da peça, que colapsa.

Tração - Os esforços de tração axial são comuns em pilares em que a ação predominante é a horizontal, como a do vento. O concreto, em casos de tração, não possui um bom comportamento diferente do ocorrido em casos de compressão. Apesar da tração axial ser um tipo de solicitação pouco frequente nas estruturas convencionais de concreto armado, quando incidente, e desde que a peça não consiga suportá-la, surgem fissuras perpendiculares às armaduras principais ao eixo longitudinal da peça, atravessando a seção de uma face a outra. Essas fissuras se formam quase que simultaneamente e em geral se localizam nos pontos onde estão instalados os estribos.

Tração na flexão - No caso das vigas, o dimensionamento das peças é feito no estágio III de deformação proposto pela NBR 6118 (ABNT, 2014a). Nesse estágio, para otimizar a seção, o momento fletor de projeto é aquele próximo a ruína do elemento, seu estado limite último (ELU). Como consequências do fenômeno a peça encontra-se fissurada na região tracionada. As fissuras são limitadas por norma para efeitos de durabilidade. Caberá ao projetista verificar e evitar a fissuração excessiva das peças, devendo-se verificar as deformações e aberturas máximas de fissuras ou do estado-limite de serviço (ELS).

As aberturas máximas de fissuras, analisadas no ELS-W (estado-limite de abertura de fissuras) pela NBR 6118 (ABNT, 2014a), são limitadas em função da agressividade química do ambiente onde a peça está inserida, de acordo com as classes de agressividades já mencionada neste trabalho.

As características de danos em peças devido aos esforços de tração, mais evidenciada no vão central de vigas, já que os esforços de tração nessas peças são

paralelas ao eixo longitudinal da viga, e se desenvolvem até a linha neutra da peça - essas fissuras de tração dificilmente se desenvolvem acima da linha neutra (região comprimida). As fissuras são mais frequentes nos trechos onde os maiores esforços de tração se desenvolvem.

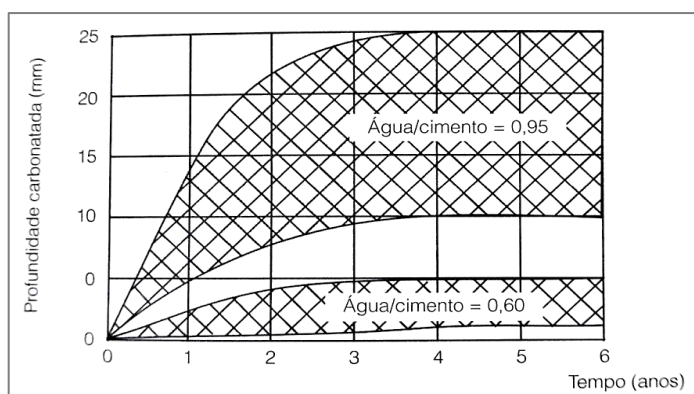
Força Cortante - Nas peças fletidas, as fissuras originadas dos esforços de cortante podem ocorrer devido a insuficiência de armaduras transversais, a falta de ancoragem ou de amarrações junto as barras longitudinais da peça. Diferente dos momentos fletores, onde são evidenciados maiores danos no centro da peça, os esforços de força cortante serão máximos junto aos apoios, onde a maior incidência e densidade das fissuras dessa natureza se dá próxima as vinculações das vigas.

2.3.8. CARBONATAÇÃO

A Carbonatação é a reação que ocorre naturalmente entre o gás carbônico (CO_2) presente na atmosfera com compostos do concreto. Essa reação ocorre na presença do CO_2 em contato com a face exposta do concreto (NEVILLE, 1997), ou seja, este fenômeno acontece de fora para da estrutura. Segundo RIBEIRO *et al.* pode-se reduzir o PH da solução existente nos poros do concreto. A alta alcalinidade da solução intersticial devido, principalmente, à presença do hidróxido de cálcio, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, oriundo das reações de hidratação do cimento, também poderá ser reduzida.

A profundidade de carbonatação, demonstrada no Gráfico 3, tem seu início acelerado, prosseguindo lentamente e tendendo assintoticamente a uma profundidade máxima (HELENE, 1999) em função do tempo e da relação água/cimento.

Gráfico 3 - Variação da profundidade de carbonatação em função do tempo e da relação água/ cimento.
Fonte: HELENE, 1999.



Fatores que influenciam a carbonatação

Sendo o processo de carbonatação iniciado pela difusão de água e gás carbônico através dos poros do concreto, fatores que influenciam nesse mecanismo estão relacionados a compacidade e obstrução dos orifícios de entrada (RIBEIRO, 2018), portanto ocorre a desaceleração do processo de carbonatação. Segundo NUNES, as condições ambientais que mais influenciam na velocidade da carbonatação são: Umidade relativa do ar, incidência de chuvas e concentração de dióxido de carbono. E no caso das características do concreto, as que mais exercem esta influência são: relação água/ cimento, relação cimento/ agregado, tipo de cimento, cura e presença de fissuras.

Para possuir uma melhor proteção contra a carbonatação, deve-se preservar o cobrimento adequado de acordo com a norma e também realizar uma cura correta na execução do concreto, pois como a hidratação do cimento se comporta de maneira crescente, resulta-se em um aumento gradativo da compacidade do concreto, uma vez que a quantidade de água seja suficiente. Toda essa transformação, gera produtos os quais obstruem os poros superficiais, e assim, dificulta a entrada de CO_2 (RIBEIRO, 2018).

2.3.9. CLORETOS

O íon cloreto (Cl^-) é um dos principais ânions inorgânicos em águas naturais e residuárias, onde o principal exemplo que temos presente hoje é o cloreto de sódio (NaCl), popularmente conhecido como “Sal de cozinha”, representado na proporção de 1:1 do cátion sódio (Na^+) e do ânion cloreto (Cl^-) para se formar, presente nas águas de mares e oceanos.

Diante de um maior nível de umidade e a presença de grandes concentrações desses cloretos, nas águas do mar, as estruturas que estão próximas as zonas litorâneas ficam expostas aos efeitos da chamada “maresia” ou “respingo de maré”, obtendo o ambiente a classificação de “Classe de Agressividade VI” segundo a tabela de classificação de agressividade do ambiente presente na norma NBR 6118 (2014).

Classe de agressividade essa que foi inserida na referida norma em sua revisão de 2003.

Estudos de durabilidade e vida útil relacionam que a corrosão das armaduras provocada pelos cloretos é um dos problemas mais sérios e severos que se pode ocorrer em uma estrutura de concreto armado, mas mundialmente não existe, até o momento, um consenso de cientistas e pesquisadores acerca do teor máximo de cloretos que se pode possuir uma estrutura sem a despassivação do aço. HELENE (1993) cita, baseado em algumas normas internacionais, os limites totais de cloretos que se pode possuir uma estrutura de concreto, conforme consta na Tabela 9.

Tabela 9 - Limites para o teor total de cloretos no concreto. **Fonte:** Helene, 1993.

País	Norma	Limite Máximo de Cloretos		Referente a (ao)
		Concreto armado	Concreto protendido	
Brasil	NBR 6118	0,05%	–	Água de amassamento
	NBR 7197	–	0,05%	
	NBR 9062	–	0,05%	
Espanha	EH - 88	0,40%	–	Cimento
	EP - 80	–	0,10%	
Estados Unidos	ACI - 222	0,20%	0,08%	Cimento
	ACI - 201	0,20%	0,08%	
	ACI - 318	0,30% ambiente normal 0,15% ambiente com cloreto 1,0% ambiente seco	0,06%	
Europa	CEB	0,05%	0,025%	Concreto
	CEB-FIP	0,4%	0,20%	Cimento
	ENV 206	1,0% concreto simples 0,40% concreto armado	0,20%	
Japão	JSCE SP-2	0,60 kg/m ³	0,30 kg/m ³	Concreto

Baseado na tabela, a literatura recomenda que um percentual máximo de 0,4% de cloretos em relação a massa do cimento pode ser adotado como valor admissível de cloretos em peças de concreto armado enquanto que para peças protendidas deva se adotar um teor menor que 0,08% (HELENE, 1993).

2.4. CORROSÃO

Corrosão é uma interação destrutiva de um metal com o ambiente, promovendo a sua dissolução em íons metálicos por meio de reações químicas ou eletroquímicas. As armaduras do concreto armado sofrem mais frequentemente a corrosão eletroquímica, que vem das reações de oxidação nas regiões anódicas e de redução nas regiões catódicas. Na região anódica o metal é dissolvido e transferido como íons

Fe^{++} , liberando elétrons que vão até as áreas catódicas reagindo com o oxigênio dissolvido na solução, promovendo assim a formação de íons hidroxila OH^- . Estes íons de hidroxila são conduzidos e reagem com os íons de Fe^{++} formando o hidróxido metálico ($\text{Fe}(\text{OH})_2$) que fica depositado na superfície metálica. O hidróxido metálico se oxida com água e oxigênio formando o $\text{Fe}(\text{OH})_3$ que é a ferrugem de cor avermelhada ou amarronzada, conforme representado na Figura 12. Esta reação é contínua e a cada sequência o produto formado é mais volumoso, causando expansões internas no concreto que podem chegar a seis vezes o diâmetro original (BOLINA, TUTIKIAN, HELENE, 2019, p.99).

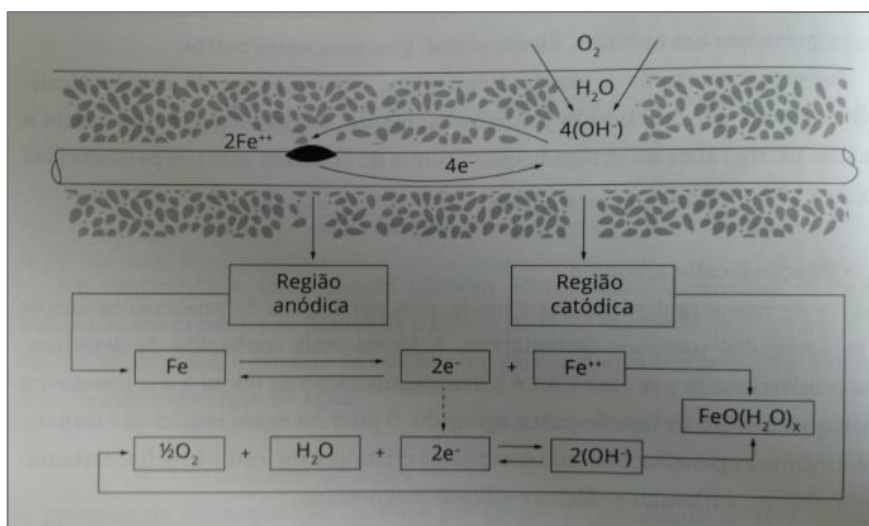


Figura 12 - Mecanismo de corrosão eletroquímica. **Fonte:** Bolina, Fabricio. Tutikian, Bernardo. Helene, Paulo. – São Paulo, Oficina de textos, 2019.

A armadura, segundo HELENE (1993), dentro do concreto armado encontra-se protegida da ação de corrosão devido à alta alcalinidade do concreto (pH entre 12,7 e 13,8). Com este nível de pH, a armadura de aço presente na estrutura cria por meio de reações microscópicas uma camada passivante sobre toda sua superfície, compacta e aderente ao metal, protegendo a mesma contra as diversas ações corrosivas. Entretanto, esta camada passivadora pode ser destruída pela penetração de agentes agressivos, como o cloreto de sódio sendo um destes, alterando suas condições metálicas e de resistência a que estão submetidas, de forma generalizada ou pontual.

Conforme descrito mais adiante no capítulo 3.1 (quando será tratado sobre Vida Útil Residual – VUP), o mecanismo da corrosão no concreto armado possui a fase de iniciação, quando da penetração de CO_2 e/ou CL^- no concreto (conforme explicitado

no anteriormente nos capítulos 2.3.8 e 2.3.9); e a fase seguinte denominada de propagação, que se dá por meio do teor de oxigênio, da resistividade material e da umidade relativa do meio.

Quando se vê as manifestações patológicas nas superfícies do concreto (manchas de ferrugem, fissuras), as armaduras já estão num processo avançado de corrosão. Isto porque as fissuras são aberturas originárias pelo aumento do diâmetro da área anódica da barra, o qual ocasiona uma tensão interna na peça em concreto armado que, sendo superior a tensão resistente à tração do concreto gera a fissuração (Figura 13), o qual em primeiro momento acompanham o alinhamento das armaduras, e, posteriormente, causam destacamentos / deslocamentos do concreto, o qual é o último estágio de um processo de corrosão instalada e uma peça, com deslocamento do concreto que expõe a armadura ao ambiente, sendo necessário nessa fase a intervenção imediata (BOLINA, TUTIKIAN, HELENE, 2019).

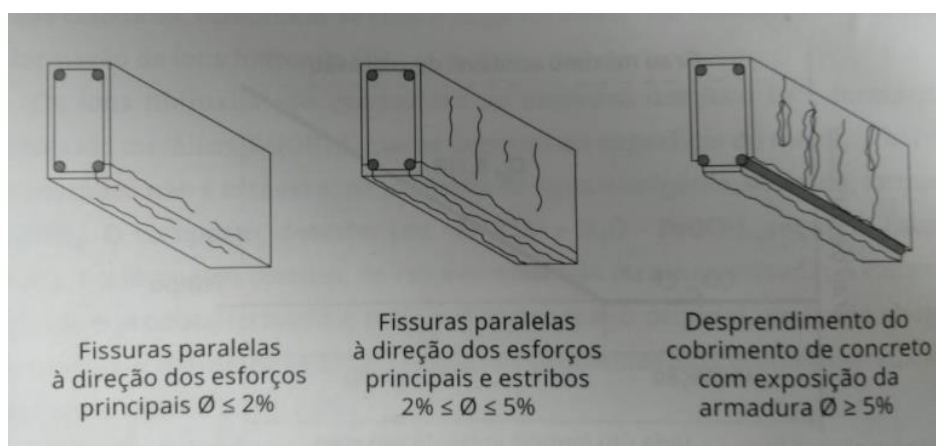


Figura 13 - Evolução das manifestações patológicas de uma viga de concreto afetada por mecanismos de corrosão. **Fonte:** Bolina, Fabricio. Tutikian, Bernardo. Helene, Paulo. – São Paulo, Oficina de textos, 2019.

A corrosão pode ser classificada como generalizada e localizada. Na generalizada o desgaste material pode ocorrer em áreas extensas do metal e na corrosão localizada o desgaste ocorre em uma superfície limitada e, usualmente, tende a se aprofundar de modo mais rápido que em um processo de corrosão generalizada. Essas denominações possuem variações, podendo assumir outras formas, aparência superfície uniforme ou irregular, com a formação de pites ou com a formação de fissuras, conforme ilustrado na Figura 14 e explicitado a seguir.

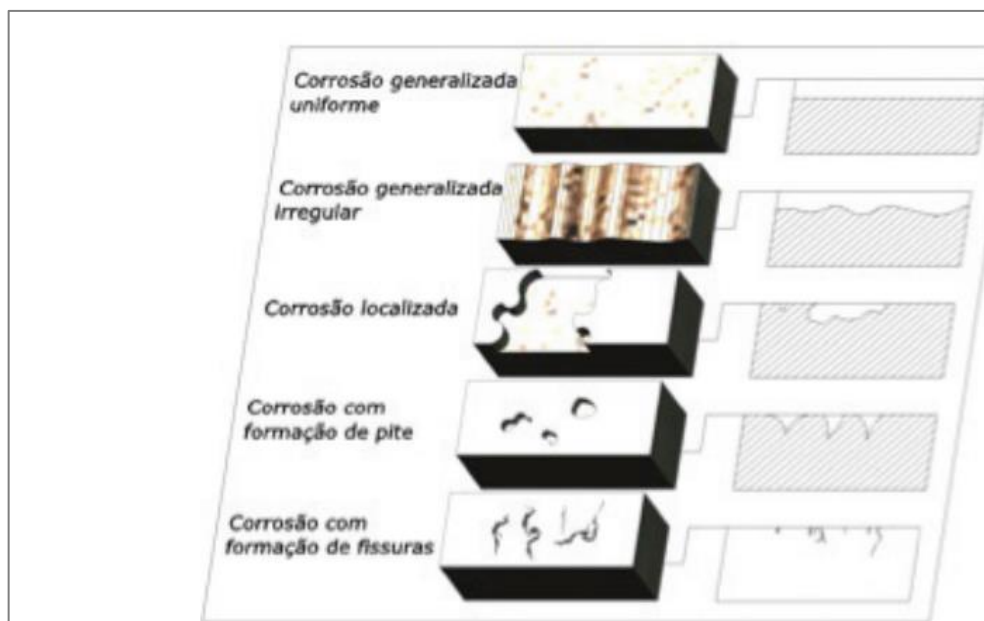


Figura 14 - Evolução das manifestações patológicas de uma viga de concreto afetada por mecanismos de corrosão. **Fonte:** FELIU, 1987, apud. PAZINI. E., Gibson. M. ALCOPANT, Boletim técnico nº06, 2013.

Segundo PAZINI, (2013), a corrosão metálica possui diferentes formas de destruição e podem ser enquadradas e descritas como corrosão generalizada, corrosão localizada, corrosão puntiforme e corrosão por fissuras, conforme descrito a seguir:

- **Corrosão generalizada** – Danos pela corrosão é produzido em uma grande superfície do metal, na qual existem inúmeros ânodos e cátodos, formando micro pilhas que formam a reação eletroquímica constantemente. Nesse caso, a perda de seção pode ser uniforme ou irregular;

- **Corrosão localizada** – Uma apresentação do processo corrosivo no metal que fica entre a corrosão uniforme e a corrosão por pites. O ataque se produz em zonas mais ou menos extensas do material, as quais, por diferentes razões, determinada área são anódicas em relação às demais. Uma das razões para tal formação localizada pode ser a mudança ou heterogeneidade de composição química do material ou do eletrólito que o circunda.

- **Corrosão por “Pite” / Puntiforme (ou Alveolar)**– É um tipo de corrosão que acontece em pequenas áreas do metal provocando cavidades na superfície metálica; nesta corrosão estas pequenas zonas do metal, que apresentam a corrosão, se tornam uma região anódica tendo o restante da superfície catódica, produzindo uma corrosão galvânica muito localizada e de reação eletroquímica tendendo a ser rápida.

É uma corrosão mais comum no caso da ação de contaminantes como cloretos que têm a propriedade de romper a camada (ou capa) passiva em pontos específicos.

- **Corrosão com formação de fissuras no metal** – A formação de fissuras num processo corrosivo no material metálico ocorre quando, além das condições propícias para ocorrer o mecanismo corrosivo, o metal está submetido a tensões importantes de tração. Nestes casos, surgem fissuras no material na direção transversal à carga, podendo produzir rupturas com níveis considerados baixos de tensão.

2.5. PRINCIPAIS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

AZEVEDO (2011, p. 1126) destaca as principais manifestações patológicas na Tabela 10, verificadas em estruturas de concreto armado, seus respectivos mecanismos de degradação, origem, mecanismos de deterioração e formação, e ações preventivas.

Tabela 10 - Principais manifestações patológicas, mecanismos e prevenções **Fonte:** AZEVEDO, M. T. **Concreto: ciência e tecnologia** - Volume II: Patologia das estruturas de concreto. São Paulo: IBRACON, 2011.

Origem	Mecanismos de deterioração	Sintomas	Situações típicas	Mecanismo de formação	Ações preventivas
Concreto	Lixiviação	Eflorescência	Percolação de água em fissuras ou alta permeabilizada	Dissolução dos compostos da pasta por águas puras, carbônicas ou ácidas	- Baixa relação a/c - Tratamento de fissuras ou superficial
	Ataque por sulfatos	Fissuração e perda de massa (resistência)	Tubulações de esgoto de fundação, elementos em contato com solo contaminado	- Expansão por sulfatos com aluminados e CH da pasta, com formação de etringita - Decomposição do C-S-H devido à formação de gipsita	- Baixa relação a/c - Emprego de cimento resistente à sulfato
	Reação álcali/agregado	Expansão e fissuração	Barragens, blocos de fundação (ambientes úmidos)	Reação entre a sílica dos agregados e os álcalis do cimento íons OH, formando gel expansivo, em presença de água	(CONTINUA)

Origem	Mecanismos de deterioração	Sintomas	Situações típicas	Mecanismo de formação	Ações preventivas
Concreto	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
	Erosão		Canais e condutos abertos	Sucção em desvios de fluxo de água	- Tratamento superficial de proteção
	Cavitação		Condutos forçados	Sucção em desvios de fluxo de água	
Armadura	Corrosão de armadura	Expansão, fissuração e lascamentos	Peças 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 Cl^- : penetração de Cl^- por difusão até armadura	Baixa relação a/c - Aumento de espessura de cobrimento
Estrutura	Ações mecânicas	Fissuras, lascamento	Pilares em garagens, guarda-corpos etc.	Menos resistência a choques, impactos, recalques, acidentes, incêndios, sismos etc.	- Barreiras de proteção - Previsões de ações em projeto, quando possível
	Dilatação térmica	Fissuras verticais em contato com o elemento que restringe a contração	Concreto-massa: barragens, blocos de fundação de grandes volumes	Devido ao calor de hidratação, aumenta-se o 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 - Redução da temperatura (pré ou pós-resfriamento)
	Retração hidráulica restringida	Fissuras	Pavimentos, grandes lajes.	Fissuras de tração nas primeiras idades: perda prematura de água do concreto	- Menor consumo de cimento - Cura adequada - Controle da ventilação (CONCLUSÃO)

2.6. ENSAIO DE PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO (ENSAIO DE FENOLFTALEÍNA)

O ensaio para a determinação da profundidade da frente de carbonatação do concreto é basicamente a mensuração do pH na peça da estrutura, onde se utiliza uma solução composta de Fenolftaleína (indicador sintético) e água ionizada que ao ser aspergida na superfície poderá, ou não, alterar a cor do objeto a ser ensaiado.

A profundidade da camada de concreto que já foi carbonatada (frente de carbonatação), o qual reduz o pH deste concreto, pode ser visualizada devido à troca de cor de um indicador químico chamado fenolftaleína, a 1% dissolvida em álcool etílico 90% ou 70%. Esta solução borrifada a superfície do concreto é incolor com o pH inferior a 8,3. Para valores de pH superiores a 9,5, torna-se vermelho-carmim. E, entre 8 e 9,5 a coloração é de rosa-vermelho carmim. (TOMAZELI, 2017)

Em resumo, após a aplicação de fenolftaleína a zona carbonatada (ácida) da peça em análise seguirá incolor enquanto a zona não carbonatada (básica), caso haja, apresentará uma coloração vermelho carmim, que será mais intensa quanto maior for o pH, conforme Figura 15.

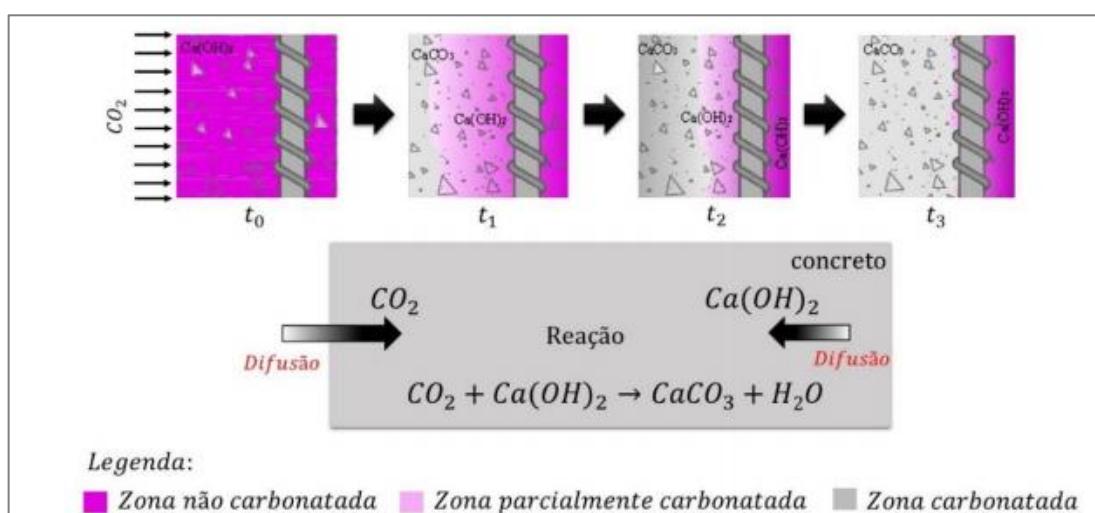


Figura 15 - Representação do avanço de carbonatação do concreto e colocação apresentada com a solução fenolftaleína **Fonte:** E. F. Félix, R. Carrazedo , E. Possan; Alcopant (2017).

Segundo Cascudo (1997, p.93), é importante relacionar a espessura carbonatada e a espessura de cobrimento, não devendo a espessura carbonatada ser maior ou igual ao cobrimento, sob pena da frente de carbonatação ter atingido a armadura e, com isso, ter a despassivação.

Faz uma abertura com marreta para se encontrar armadura, após aberto, a área deve ser limpa com um pincel garantindo a confiabilidade do ensaio, a borrifa a solução de fenolftaleína e se obtém o resultado do ensaio analisando a coloração presente na superfície do concreto.

3. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA

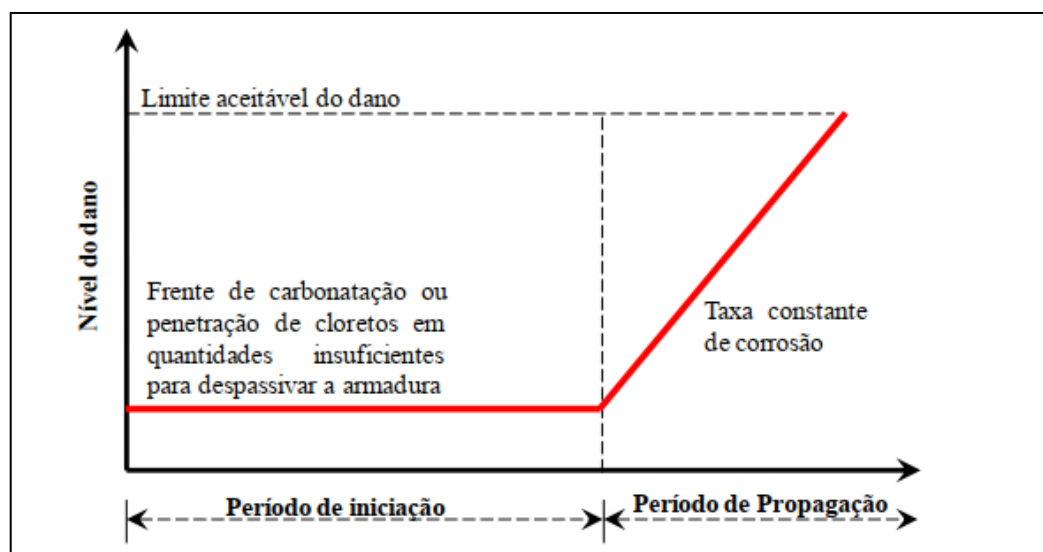
Neste item será abordado toda metodologia utilizada para avaliar a obra paralisada do referido estudo de caso, no aspecto de vida útil residual e grau de deterioração da estrutura.

Para estimar da vida útil residual adotou-se o método determinístico do modelo raiz quadrada no tempo de Tutti (1982). E para classificar de forma quantitativa o grau de deterioração da estrutura optou-se pelo método GDE/UnB proposto por Fonseca (2007).

3.1. VIDA ÚTIL RESIDUAL – MODELO DE TUTTI (1982)

Um dos primeiros estudos buscando estabelecer o comportamento da degradação da estrutura em concreto armado em relação ao tempo foi Tutti, o qual em 1982 elaborou um modelo delimitando o período de iniciação do processo como sendo o avanço da frente de carbonatação ou penetração de cloretos e o período de propagação quando a camada de cobrimento se encontra despassivada e se inicia a corrosão na armadura, considerado assim quando se encerrou o limite aceitável do dano. Tal modelo é simplificado, e exemplificado no Gráfico 4, considerando uma taxa constante de corrosão.

Gráfico 4 - Modelo simplificado para a corrosão das armaduras. **Fonte:** Tutti (1982).

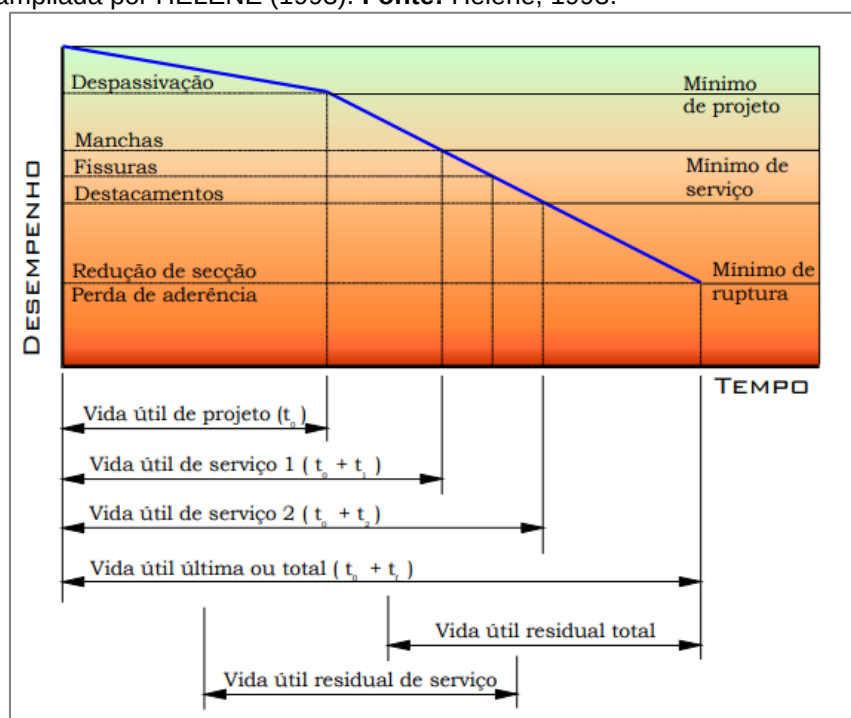


Em 2004 BAMFORTH apresentou uma revisão deste modelo considerando que a taxa de corrosão não é constante, foi então considerado que existe um aumento gradual da corrosão da armadura, propondo uma transição entre as fases de iniciação e propagação, sendo então hoje considerando mais representativa conceitualmente do processo da corrosão na armadura.

HELENE em 1993 ampliou o trabalho de TUUTTI propondo que a deterioração causada nas estruturas de concreto armado devido a corrosão pode ser modelada conforme em dois estágios, representado na Gráfico 5.

O primeiro estágio é o período de iniciação ou de despassivação da armadura, denominado pelo período t_0 . O segundo estágio é o período de propagação e está associado ao período t (t_1 , t_2 , t_f), que é o período através do tempo do início da corrosão até a deterioração que ocasiona as manifestações patológicas descritas até a ruptura parcial ou total da estrutura.

Gráfico 5 - Conceituação de vida útil das estruturas de concreto com relação a corrosão das armaduras de TUUTI (1982) ampliada por HELENE (1993). **Fonte:** Helene, 1993.



Sendo assim, foi subdividido por vida útil de projeto, que é o período de despassivação do cobrimento da armadura, seguindo pela vida útil de serviço 1 com início do surgimento das manifestações patológicas 'manchas', até vida útil de serviço t_2 com fissuração, posterior destacamentos até a redução de secção e perda de aderência na vida útil última ou total.

3.1.1. Métodos de estimar a Vida útil

Ensaio acelerados: utilizando dados obtidos de ensaios que aceleram o processo de degradação em amostras da estrutura, este método foi iniciado em 1978 pela norma internacional ASTM E632.

Modelos numéricos e deterministas: utilizando modelos de previsão que se baseia nos mecanismos físico-químicos da deterioração da estrutura (precípua corrosão das armaduras)

Modelos probabilísticas: Método complexo podendo ser utilizado em projeto estrutural para auxílio na determinação da espessura do cobrimento da armadura. Tal método considera a análise diversas variabilidades colhendo dados referente ao material concreto, ao aço, a exposição do meio, a geometria da estrutura, etc., e pode ser estimado considerando a vida útil em função de cloreto e carbonatação (SILVA, 2005).

Vale ressaltar que para o estudo em questão, será utilizado o modelo determinístico de Tutti, e para chegar ao resultado, foi necessário realizar o ensaio de fenolftaleína para determinar a profundidade de frente de carbonatação.

3.1.2. Modelo de Tutti para cálculo de Vida Útil

O modelo determinístico de Tutti apresentado no estudo “Corrosion of Steel in Concrete. Swedish Cement and concrete Research Institute. Stockholm em 1982” é baseado na primeira lei de Fick (1855). Tal modelo considera que a taxa de carbonatação é proporcional à raiz quadrada do tempo de exposição ao CO₂. Nele o coeficiente de carbonatação (K), sintetiza vários parâmetros, os assumidos assim como constantes: concentração de CO₂ no meio, coeficiente de difusão do CO₂ através do concreto carbonatado, variação exposição da estrutura a agentes agressivos / chuvas etc.

O modelo de Tutti é representado na equação explicitada a seguir, e segundo Réus (2017), se trata de um dos primeiros modelos matemáticos existentes que busca prever o avanço da frente de carbonatação na degradação do concreto armado.

$$X_{CO2} = k_{CO2} \times \sqrt{t} \quad (1)$$

Onde:

X_{CO2} : espessura da profundidade carbonatada (mm);

k_{CO2} : coeficiente de carbonatação (mm/ano) e

t : idade (anos)

Sabe-se que em condições reais de exposição tais fatores sintetizados no coeficiente “k” não são constantes. Mas, a expressão simplificada apresenta resultados positivos, e trata-se de uma ferramenta importante, principalmente no caso de limitação da obtenção de dados da estrutura (e propriedades do concreto e cimento utilizado), bem como do meio em que se encontra a estrutura.

Posterior ao estudo de Tutti foi elaborado outros modelos mais complexos considerando diversas variáveis, buscando uma previsão de vida útil mais assertiva, como o modelo proposto por POSSAN, SUE2010.

3.2. MÉTODO GDE/UnB – MODELO FONSECA (2007)

Tal metodologia possui objetivo de classificar o Grau de Deterioração de estrutura em concreto armado de edificações de forma qualitativa, analisando as manifestações dos danos e a o grau de evolução, assim, dando criticidade as peças estruturais que compõem a edificação.

O método foi desenvolvido por CASTRO (1994), teve avanços através dos estudos de LOPES (1998), BOLDO (2002), FONSECA (2007), EUQUERES (2011) e VERLY (2015). Sobre o citado, Euqueres (2011) e Verly (2015) adaptou a metodologia para estudos em obras de artes e não será abordado na breve descrição da evolução do método mais adiante.

A metodologia GDE/UnB, desenvolvida por pesquisadores da Universidade de Brasília (UnB), iniciou-se com Castro em 1994 na tese “Desenvolvimento de Metodologia para Manutenção de Estruturas de Concreto Armado”, onde foi apresentada a concepção dos danos de maior incidência para cada família de peças estruturais podendo determinar assim os *Fatores de intensidade do Dano (Fj)*.

No estudo de LOPES em 1988 na tese “Sistema de manutenção estrutural para grandes estoques de edificações: Estudo para a inclusão do componente Estrutura de

Concreto”, visando melhorar resultados, alterou a fórmula do *Grau de deterioração do elemento (Gde)*.

BOLDO em 2002, na tese “Análise Quantitativa de Estruturas de Concreto Armado de Edificações no Âmbito do Exército Brasileiro” por sua vez, aplicou o mesmo conceito princípio utilizado por LOPES (1998) também no Grau de deterioração da família (Gdf).

No estudo que se obteve a metodologia que será utilizada neste trabalho. FONSECA, em 2007, na tese “A estrutura do Instituto Central de Ciências: Aspectos históricos, científicos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e propostas de manutenção” utilizou a metodologia GDE/UnB, buscando avaliar o grau de deterioração de estruturas e realizou adaptações, indicando alterações nas formulações dos cálculos do *Grau de deterioração das famílias (Gdf)* e do *Grau do Dano (D)*, além de realizar alterações nos tipos mais frequentes de dano.

Tal metodologia é adaptada em alguns estudos acadêmicos pela comunidade técnico-científica para atender especificidades construtivas das edificações estudadas, como na tese de DIAS (2018) que estudou grau de deterioração de uma ETE (Estação de Tratamento de Esgoto) a partir do método GDE/UnB. Tal ferramenta pode ser utilizada também como ferramenta para gerir as atividades de manutenção corretiva, permitindo identificar peças estruturais com maior gravidade e/ou urgência, facilitando tomada de decisão para tais intervenções.

Conforme indicado por FONSECA o esquema de utilização da metodologia é baseado em um fluxograma contendo atividades a serem realizadas de forma sequencial, conforme Figura 16, desenvolvida originalmente por CASTRO (1994).

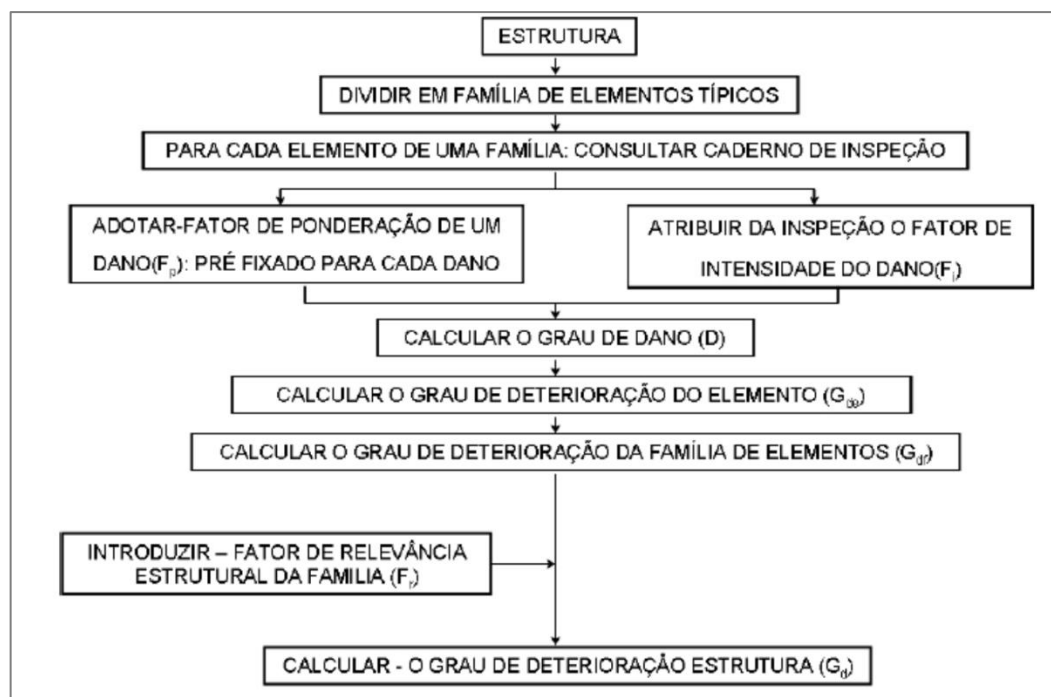


Figura 16 - Fluxograma da metodologia GDE/UnB. **Fonte:** CASTRO, E.K., Desenvolvimento de Metodologia para Manutenção de Estruturas de Concreto Armado. Dissertação (Mestrado em Estruturas), Departamento de Engenharia Civil. Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1994.

Desde a primeira versão da metodologia Gde / UnB utiliza-se formulares que devem ser preenchidos por elemento estrutural estudado. A Tabela 11 é referente ao modelo de ficha adotada por Euqueres (2011) e Verly (2015) para pilares. Este trabalho utilizará, como base, este formulário.

Tabela 11 - Modelo de formulário para pilares conforme metodologia GDE/UnB. **Fonte:** Verly (2015).

Nome do Elemento →				
Local →				
Danos	F_p	F_i	D	Croquis/Observações
Carbonatação do concreto	3			
Cobrimento deficiente	3			
Contaminação por cloretos	4			
Corrosão de armaduras	5			
Desagregação	3			
Desplacamento	3			
Desvio de geometria	4			
Eflorescência	2			
Falha de concretagem	3			
Fissuras	2 a 5*			
Manchas	3			
Recalque	5			
Sinais de esmagamento	5			
Umidade excessiva na infraestrutura	4			

3.2.1. Família de Elementos

Primeiramente se divide-se a estrutura agrupando-a em família de elementos, conforme conceito pré-definido, para o estudo da estrutura e conforme as especificações da edificação motivo. Como:

- Pilares;
- Vigas;
- Vigas secundárias;
- Lajes;
- Escadas;
- Rampas.

3.2.2. Fator de Ponderação (Fp)

Em seguida ao agrupamento das peças estruturais, determina-se o fator de ponderação família de elementos no qual define a importância que determinada manifestação patológica tem, usando como base as consequências que tal anomalia trará ao elemento, sendo danos relacionados à estética, funcionabilidade e estabilidade / capacidade portante (FONSECA, 2007).

Esse fator de ponderação é o 'Fp' e varia numa escala de 1 a 5. Conforme apresentado na Tabela 12.

Tabela 12 - Fator de ponderação Fp em relação ao dano por família de elementos. **Fonte:** Elaborado pelos autores, apud de Fonseca (2007).

DANOS	Fp
LAJES	
Carbonatação	3
Cobrimento deficiente	3
Contaminação por cloretos	3
Corrosão de armaduras	5
Desagregação	3
Desplacamentos	3
Eflorescência	2
Falhas de concretagem	2
Fissuras	2 a 5 *
Flechas	5
Manchas	3
Umidade	3
VIGAS	
Carbonatação	3
Cobrimento deficiente	3
Contaminação por cloretos	4
Corrosão de armaduras	5
Desagregação	3
Desplacamentos	3
Eflorescência	2
Falhas de concretagem	2
Fissuras	2 a 5 *
Flechas	5
Manchas	3
Sinais de esmagamento	4
Umidade	3
PILARES	
Carbonatação	3
Cobrimento deficiente	3
Contaminação por cloretos	4
Corrosão de armaduras	5
Desagregação	3
Desplacamentos	3
Eflorescência	2
Desvio da geometria	4
Falhas de concretagem	3
Fissuras	2 a 5 *
Manchas	3
Recalque	5
Sinais de esmagamento	5
Umidade na base	3

ESCADAS/RAMPAS	
Carbonatação	3
Cobrimento deficiente	3
Contaminação por cloretos	4
Corrosão de armaduras	5
Desagregação	3
Desplacamentos	3
Eflorescência	2
Falhas de concretagem	3
Fissuras	2 a 5 *
Manchas	3
Flechas	5
Sinais de esmagamento	5
Umidade	3
ELEMENTO DE COMPOSIÇÃO ARQUITETÔNICA	
Carbonatação	3
Cobrimento deficiente	3
Contaminação por cloretos	4
Corrosão de armaduras	5
Desagregação	3
Desplacamentos	3
Eflorescência	2
Falhas de concretagem	2
Fissuras	2 a 5 *
Manchas	3
Sinais de esmagamento	5
Umidade	3

3.2.3. Fator de Intensidade (Fj)

O “fator de intensidade” (Fi), classifica o quão grave a manifestação patológica é e varia de 0 a 4, mostrando então qual evolução do dano, conforme a Tabela 13.

Tabela 13 - Fator de intensidade do dano (Fj) x Problema patológica. **Fonte:** Dias (2018), pág. 62, apud. Fonseca (2007).

Tipos de Danos	Fator de Intensidade do dano - Tipos de manifestação
Carbonatação	1-localizada, com algumas regiões com $\text{pH} < 9$, sem atingir a armadura; 2-localizada, atingindo a armadura, em ambiente seco; 3-localizada, atingindo a armadura, em ambiente úmido; 4-generalizada, atingindo a armadura, em ambiente úmido;
Cobrimento Deficiente	1- menores que os previstos em norma sem, no entanto, permitir a localização da armadura; 2- menor que o previsto em norma, permitindo a localização visual da armadura ou armadura exposta em pequenas extensões; 3-deficiente com armaduras expostas em extensões significativas
Contaminação por Cloretos	2-em elementos no interior sem umidade; 3-em elementos no exterior sem umidade; 4-em ambientes úmidos.
Corrosão de Armaduras	2-manifestações leves, pequenas manchas; 3-grandes manchas e/ou fissuras de corrosão; 4-corrosão acentuada na armadura principal, com perda relevante de seção.
Desagregação	2-início de manifestação; 3-manifestações leves, início de estofamento do concreto; 4-por perda acentuada de seção e esfarelamento do concreto.
Deslocamento por Empuxo	3-deslocamento lateral da parede no sentido horizontal, estável; 4- deslocamento lateral da parede no sentido horizontal, instável.
Desplacamento	2 – pequenas escamações do concreto; 3 – lascamento de grandes proporções, com exposição da armadura 4 – lascamento acentuado com perda relevante de seção
Desvios de Geometria	2-pilares e paredes com excentricidade $\leq h/100$ (h =altura); 3- pilares e paredes com excentricidade $h/100 \leq e < h/50$; 4-pilares e paredes com excentricidade $\geq h/50$.
Eflorescência	1-início de manifestações; 2-manchas de pequenas dimensões; 3-manchas acentuadas, em grandes extensões; 4-grandes formações de crostas de carbonato de cálcio (estalactites).
Falha de Concretagem	1-superficial e pouco significativa em relação às dimensões da peça; 2-significante em relação às dimensões da peça; 3-profunda em relação às dimensões da peça, com ampla exposição da armadura; 4-perda relevante da seção da peça.
Fissuras	1-abertura menores do que as máximas previstas em norma; 2-estabilizadas, com abertura até 40% acima dos limites de norma; 3-abertura excessivas; estabilizadas; 4-aberturas excessivas; não estabilizadas.
Flechas	1-não perceptíveis a olho nu; 2-perceptíveis a olho nu, dentro dos limites previstos em norma; 3-superiores em até 40% às previstas na norma; 4-excessivas.
Impermeabilização Deficiente	2-danos na camada protetora e/ou perda de elasticidade do material da impermeabilização; 3-descontinuada, degradada em alguns pontos (pontos de infiltração); 4-degradação acentuada, com perda relevante da estanqueidade.

Manchas	2-manchas escuras de pouca extensão, porém significativas (<50% da área visível do elemento estrutural); 3-manchas escuras de grande extensão (>50%); 4-manchas escuras em todo elemento estrutural (100%).
Obstrução das Juntas de Dilatação	2-perdas de elasticidade do material da junta; início de fissuras paralelas às juntas nas lajes adjacentes; 3-presença de material não compressível na junta; grande incidência de fissuras paralelas às juntas nas lajes adjacentes; 4-fissuras em lajes adjacentes às juntas, com prolongamento em vigas e/ou pilares de suporte.
Recalques	2-indícios de recalque pelas características das trincas na alvenaria; 3-recalque estabilizado com fissuras em peças estruturais; 4-recalque não estabilizado com fissuras em peças estruturais.
Sinais De Esmagamento Do Concreto	3-desintegração do concreto na extremidade superior do pilar, causada por sobrecarga ou movimentação da estrutura; fissuras diagonais isoladas; 4-fissuras de cisalhamento bidiagonais, com intenso lascamento e/ou esmagamento do concreto devido ao cisalhamento e a compressão, com perda substancial de material; deformação residual aparente; exposição e início de flambagem de barras da armadura.
Umidade	1-indícios de umidade; 2-pequenas manchas 3-grandes manchas; 4-generalizada.
Umidade na base	3-indícios de vazamento em tubulações enterradas que podem comprometer as fundações; 4-vazamentos em tubulações enterradas causando erosão aparente junto às fundações

O fator de intensidade (F_i) relacionado para cada dano, segue uma lógica crescente de extensão dos danos encontrados na estrutura, tendo variações de 0 a 4 (Tabela 14), onde quanto maior a intensidade encontrada na estrutura maior será a nota relacionada a este fator.

Tabela 14 - Classificações do dano de determinado elemento (fator de intensidade do dano, F_i). **Fonte:** Fonseca (2007).

Classificação	Fator de Intensidade (F_i)
Sem lesões	0
Lesões leves	1
Lesões toleráveis	2
Lesões graves	3
Estado crítico	4

3.2.4. Grau do Dano (D)

O Grau do Dano (D) de cada elemento é calculado a partir do fator de ponderação e intensidade (F_p e F_i) por meio da utilização da Equação 01, dependendo da intensidade do dano. Essas correlações matemáticas, propostas no método GDE/UnB, são baseadas no modelo de vida útil de Tutti (1982) para corrosão das

armaduras, porém, na metodologia GDE/UnB, este conceito se expande para as demais manifestações patológicas (FONSECA, 2007). O conceito entende que o dano ocorre em duas fases: iniciação e propagação; durante a fase iniciação os danos não comprometem a vida útil da estrutura, já na fase de propagação, os danos se encontram em estágio avançado e podem comprometer tanto a funcionalidade quanto a segurança da estrutura em concreto armado.

$$D = 0,8 \cdot F_i \cdot F_p \quad \text{para } F_i \leq 2$$

$$D = (12 \cdot F_i - 28) \cdot F_p \quad \text{para } F_i \geq 3 \quad (\text{Equação 01})$$

Onde:

D: Grau do dano.

Fi: Fator de intensidade do dano;

Fp: Fator de ponderação do dano.

3.2.5. Grau de Deterioração do Elemento (Gde)

LOPES (1988) propôs que, ao obter-se o grau do dano (D), é possível calcular o Grau de Deterioração do Elemento (Gde), utilizando-se a Equação 02

$$G_{de} = D_{máx} \left[1 + \frac{\sum_{i=1}^m D_i - D_{máx}}{\sum_{i=1}^m D_i} \right] \quad (\text{Equação 02})$$

Onde:

Gde: Grau de deterioração

Dmáx: Maior grau de dano no elemento;

m: número de danos detectados no elemento;

D(i): o grau de dano de ordem (i)

Á partir do Grau de Deterioração do Elemento (Gde), obtida pela equação 02, é possível determinar o nível de deterioração do elemento e da estrutura

enquadrando-a com as ações a serem adotadas, de acordo com o proposto por Fonseca (2007).

3.2.6. Grau de Deterioração de uma família de elementos (Gdf)

O Grau de deterioração de uma família de elementos estruturais (Gdf) é o resultado do agrupamento das peças estruturais compiladas. Para obter o Gdf utiliza-se a Equação 03, que contempla o Grau de deterioração de cada elemento estudado.

Para tal cálculo utiliza-se como base apenas elementos estruturais que em que o nível de deterioração disponha de um valor superior ou médio. Fonseca (2007) propõem considerar apenas os elementos com $G_{de} \geq 15$, pois este é o ponto de transição entre danos considerados baixos (0-15) e médio (a partir de 15) demonstrado na Tabela 16.

$$G_{df} = G_{demáx} \left[\sqrt{1 + \frac{\sum_{i=1}^m G_{de(i)} - G_{demáx}}{\sum_{i=1}^m G_{de(i)}}} \right]$$

(Equação 03)

Onde:

Gfd: Grau de deterioração de uma família de elementos;

Gdemáx: Grau de deterioração máxima de um elemento.

Gde(i): Grau de deterioração do elemento de ordem (i);

D(i): o grau de dano de ordem (i)

Conforme a relevância que tal elemento estrutural tem para a estrutura como um todo, aplica-se um Fator de Relevância Estrutural (Fr) que varia de 1 a 5 e será utilizado para calcular por fim, o Grau de deterioração da estrutura. A Tabela 15 classifica o elemento conforme seu Fator de relevância estrutural.

Tabela 15 - Classificação das famílias de elementos conforme Fator de Relevância. **Fonte:** Fonseca (2007).

Família de Elementos	Fator de Relevância Estrutural
Elementos de Composição Arquitetônica	1
Reservatório Superior	2
Escadas/Rampas, reservatório Inferior, cortinas, lajes secundárias, juntas de dilatação	3
Lajes, fundações, vigas secundárias, pilares secundários	4
Vigas e Pilares principais	5

3.2.7. Grau de Deterioração da Estrutura

O Grau de deterioração da estrutura (Gd), é obtido por fim pela Equação 04.

$$G_d = \frac{\sum_{i=1}^K Fr(i) G_{df}(i)}{\sum Fr(i)} \quad (\text{Equação 04})$$

Onde:

Gd: Grau de deterioração global da Estrutura;

k: número de famílias de elementos presentes;

Gdf: Grau de deterioração de uma família de elementos;

Fr: Fator de relevância Estrutural

Com o Grau de deterioração da estrutura (Gd) é possível definir, portanto, o nível de deterioração da estrutura como: baixo, médio, alto, sofrível ou crítico; bem como indicar quais ações deverão ser tomadas, conforme prescrito por Fonseca (2007) e descrito na Tabela 16.

Tabela 16 - Classificação dos níveis de deterioração do elemento (Gde) e da estrutura Gd pelo método Gde / UnB. **Fonte:** Fonseca (2007).

Nível de Deterioração	G _{de} /G _d	Ações a serem adotadas
Baixo	0-15	Estado Aceitável. Manutenção Preventiva
Médio	15-50	Definir prazo/natureza para nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (Max. 2 anos)
Alto	50-80	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em curto prazo (Max. 1 ano)
Sufrível	80-100	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em curto prazo (Max. 6 meses)
Crítico	>100	Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata

4. ESTUDO DE CASO: OBRA PARALISTADA ED. RESIDENCIAL RUA EVANS

Neste capítulo, será abordado a caracterização da região e da estrutura, bem como breve descrição do desenvolvimento do estudo realizado in loco e apresentação dos dados coletados por elementos da estrutura em questão.

4.1. CARACTERÍSTICAS DA REGIÃO

O local apresenta características de porções do território da Zona Centralidade e de zona central (visto sua proximidade com tais locais de ZC). A ocupação é densa e caracterizada por residências, comércio e serviços diversificados ao longo da via e de logradouros circunvizinhos. A destinação residencial do entorno é caracterizada por edificações assobradadas e apartamentos residenciais de padrão médio e econômico.

A situação socioeconômica da região pelo mapa do IPVS (Índice Paulista de Vulnerabilidade Social), é classificada como pertencente ao e Grupo II, sendo, segundo legenda censitária, de baixa vulnerabilidade social (pesquisa Geosampa – Prefeitura São Paulo 14/08/2020)

Infraestrutura: O local é servido por: pavimentação, coleta de lixo, telefone, rede de internet, iluminação pública, transporte público e saneamento básico (Sabesp), rede de energia elétrica (Enel), rede de distribuição de gás (Comgás).

Zoneamento: Segundo a Lei nº 16.402 de 2016 que estabelece as normas complementares ao Plano Diretor Estratégico e institui os Planos Regionais Estratégicos das Subprefeituras, o zoneamento da região onde se localiza o imóvel é, conforme relatado abaixo:

- Zoneamento – ZC (Zona Centralidade);
- Macrozona – Estruturação e Qualificação Urbana;
- Macro área – Estruturação Metropolitana;
- Zona – Zona Urbana.

4.2. CARACTERÍSTICAS DA EDIFICAÇÃO

A edificação em estudo teve seu projeto legal aprovado pela Prefeitura de São Paulo no ano de 1987; o empreendimento consiste em um edifício residencial (1 torre) localizado no bairro Vila Esperança, especificamente na Rua Evans nº 110, onde em sequência a aprovação do projeto legal foi dado o andamento para aprovação de alvarás e licenças para a construção, sendo que o alvará de construção também é datado no ano de 1987.

O edifício de cunho residencial, possuía a intenção de ser concebido com 11 pavimentos tipo contendo 20 apartamentos e 02 coberturas, sendo 02 apartamentos por andar com área útil de 150m², conforme imagem da planta da unidade (Figura 17), onde cada apartamento possuiria 02 vagas de estacionamento mais depósito, e as 02 coberturas com área de aproximadamente 250m², as quais possuiriam 03 vagas de estacionamento mais depósito. O térreo do edifício possuiria o apartamento do zelador, salão de festas, piscina adulto e infantil. O edifício ainda possuiria um sobressolo onde estariam localizadas as vagas de garagem e uma quadra de squash.



Figura 17 - Planta da unidade privativa da edificação (projeto original). **Fonte:** fornecido pela empresa de intermediação imobiliária de edificação.

O térreo possui área de 1.054,50m² e áreas do empreendimento original estão relacionadas na Figura 18, conforme projeto legal aprovado na ocasião.

ÁREAS (m²)			
TERRENO	REAL		1054,50
	ESCRITURA		1005,00
	COMPUTAVEL	N COMPUTAVEL	
PAV. TIPO	352,54 x 11		3.877,94
PAV. TERREO		352,54	352,54
1º SUB-SOLO		951,26	951,26
2º SUB-SOLO		951,26	951,26
COBERTURA	143,07		143,07
CASA MÁQUINAS		56,40	56,40
BARRILETE		20,73	20,73
CAIXA D'ÁGUA		20,73	20,73
TERRAÇOS		3,56x24	85,44
GUARITA		4,75	4,75
TOTAL			6.464,12

Figura 18 - Quadro de áreas – projeto legal. **Fonte:** projeto da edificação aprovado pela SEHAB (1987).

A obra supracitada teve seus serviços paralisados há aproximadamente 30 anos tendo sido construída até a laje do 6º pavimento (em relação a nível da rua), sendo possível verificar o estado de construção pela análise da Figura 19.



Figura 19 - Foto fachada edifício. **Fonte:** autores.

Para efeitos de análise e melhora do entendimento do procedimento adotado na avaliação da edificação, a Figura 20 é um corte esquemático realizado para nortear as análises e interpretações, contidos neste trabalho, e demonstrar o objeto como se encontra.

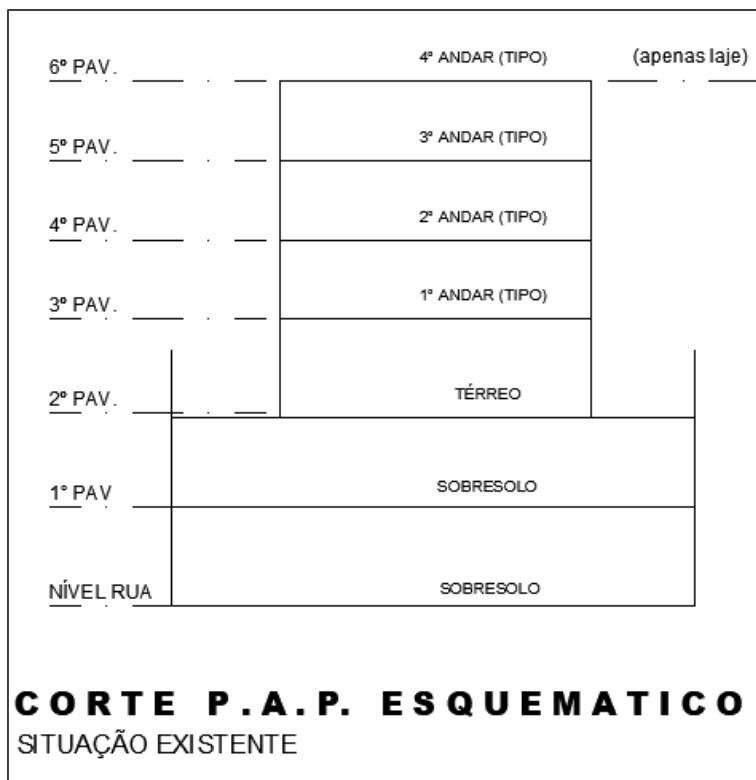


Figura 20 - Corte esquemático da estrutura (situação existente). **Fonte:** autores.

Passados os anos desde a sua paralisação, os proprietários do imóvel entendem que hoje o perfil da demanda da edificação, por estar localizadas próximo à estação Vila Matilde do Metro (Linha 03 Vermelha), deve-se alterar o projeto inicialmente previsto como residencial padrão para apartamentos estúdios, com sua metragem variando de 35m² a 45m², transformando também as instalações de depósitos e quadras em vagas edifício garagem.

4.3. VISTORIA

Foi realizado a vistoria in loco no dia 17 de setembro de 2020, as condições do tempo estavam boas, sendo possível uma boa visualização dos elementos localizados próximos as áreas periféricas e pavimentos superiores (à partir do térreo) mas, devido

à ausência de iluminação artificial, alguns pontos da edificação ficaram prejudicados para realização da vistoria não sendo possível a vistoria em 100% da estrutura.

Outro ponto que impossibilitou o levantamento para elaboração de plantas da situação atual, e da identificação de cada elemento estrutural, foi a presença de moradores de rua utilizando a edificação. Os responsáveis pela edificação tiveram de acionar o policiamento e nosso tempo de vistoria técnica foi reduzido.

Para a vistoria foram utilizados trena laser, trena métrica, fissurômetro, solução de fenolftaleína, marreta, talhadeira e pincel.

Observa-se que a vistoria foi visual e o fato de os elementos estruturais apresentarem fuligem e sujidades depositados em sua superfície pelas reações da formação da crosta negra e por pichações (ou outros entulhos) podem ter prejudicado a identificação de determinadas manifestações patológicas e/ou extensão de danos.

4.4. LEVANTAMENTO DE DADOS DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS

A organização adotada para mapear os elementos e levantar os dados de criticidades das estruturas em questão, de maneira a deixar o mais claro e eficiente possível a determinação do grau de deterioração da estrutura Geral e pontual, foi a separação dos elementos estruturais por famílias, conforme indicado no Item 3.2.1 com auxílio da Tabela 11, e por pavimento para se verificar qual seria a pior situação na edificação.

4.4.1. Considerações sobre os elementos estruturais do edifício

No presente trabalho, não foi possível inspecionar todos os elementos estruturais nomeados no croqui dos elementos estruturais apresentados como apêndice, devido a dificuldades citadas no item 4.3 e devido segurança dos autores.

A Tabela 17 apresenta os elementos estruturais que não foram analisados.

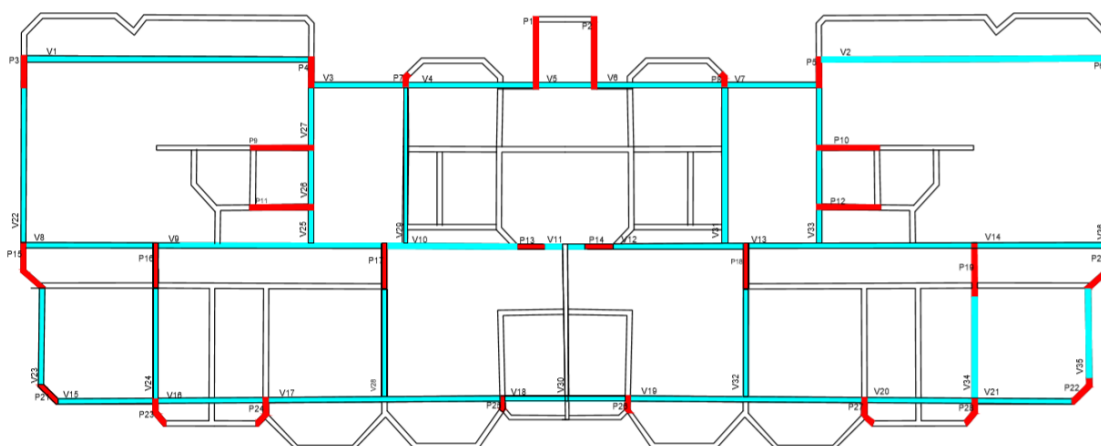
Tabela 17 – Situação dos elementos estruturais. **Fonte:** Autores.

Elemento estrutural	Situação
Vigas no pav. Nível rua nos trechos após escada	Ausência iluminação
Pilares no pav. Nível rua nos trechos após escada	Ausência iluminação
Laje do pav. Nível rua (apoiada no solo)	Ausência iluminação e entulhos / sujeiras piso
Trechos de cortina nos pav. Nível rua e 1º pav.	Ausência iluminação
Estruturas de elementos não constituintes da torre	Escopo do estudo

4.4.2. Levantamento dos dados GDE/UnB

Com as tabelas de índices proposta pelo método GDE/Unb e com a vistoria realizada in loco, foi possível levantar os dados necessários para elaborar as fichas apresentadas no apêndice II, e posteriormente calcular o grau de deterioração da estrutura, conforme apresentado no Capítulo 5.

Devido ao pouco material fornecido pela construtora e afim de melhor informar a localização dos elementos, optou-se por realizar um croqui da estrutura conforme a Figura 21. Tal croqui também se encontra em formato maior como Apêndice neste trabalho.

**Figura 21** – Croqui do pavimento Tipo. **Fonte:** Autores.

Apenas como observação, sendo esse croqui elaborado através do projeto arquitetônico apresentado anteriormente, não foi pontuado a viga VP1, sendo ela uma viga periférica localizada no 1º pavimento.

4.4.3. Descrição do ensaio de Fenolftaleína realizado

Pelo fato da carbonatação ser um dos mais recorrentes mecanismos de deterioração do concreto armado e tendo em vista o tempo em que a edificação se encontra exposta, locada na zona urbana (classe de agressividade III) com alto teor de CO₂ no meio atmosférico, considera-se ser imprescindível a realização do ensaio de carbonatação em elementos da estrutura.

Tal ensaio foi realizado a fim de obter a previsão de vida útil de projeto de acordo com o método de Tutti, e para subsidiar de dados sobre carbonatação para análise e classificação na metodologia GDE/Unb.

Foi estabelecido que seria realizado o ensaio em andares intercalados, intercalando também elementos (pilares) que apresentavam armaduras expostas e sinais claros de corrosão e em elementos aparentemente mais íntegros.

O ensaio foi realizado em 3 pilares em pavimentos distintos, que após as definições foram então levantadas as profundidades de carbonatação, retirando apenas camada de cobrimento de tais elementos, conforme a apresentado a seguir.

Realizada a abertura num ponto do cobrimento da peça para encontrar armadura, foi aplicada a solução de fenolftaleína (a 1% dissolvida em álcool etílico 70%.) e medidas as profundidades de carbonatação encontrada em cada elemento.

Com o ensaio foi verificado que todos os elementos testados apresentaram alto teor de carbonatação e com isso, conseqüentemente, baixo teor do Ph do concreto. Nas figuras de 22 a 24 é demonstrado o ensaio N° 01 realizado no pilar no nível da rua (2° sobressolo).

As Figuras de 25 a 27 se remetem ao ensaio de N° 02 realizado em outra peça de outro pavimento (2° pavimento em relação ao nível da rua – 1° sobressolo) e as figuras 28 e 29 se remetem ao ensaio de N° 03 realizado no pavimento Térreo da edificação (3° pavimento em relação ao nível da rua).

4.4.3.1. Ensaio N°01

Na Figura 22, apresentada a seguir, é mostrado como foi realizada a abertura da quina do pilar, utilizando marreta e talhadeira (*) para se atingir a armadura e verificar a profundidade do avanço da frente carbonatada.



Figura 22 – Fotos ensaio de carbonatação n° 01 – Abertura da quina para se chegar à parte interna do elemento.

Fonte: Autores

(*) Diante da falta de energia, por não ter rede elétrica instalada, não foi possível a abertura com martelete.

Após o atingimento da armadura é realizada a aspersão do composto de fenolftaleína, conforme mostrado na Figura 23, para se avaliar a profundidade do avanço de carbonatação.



Figura 23 – Fotos ensaio de carbonatação n° 01 – Aspersão de fenolftaleína. **Fonte:** Autores

Feita a aspersão do composto de fenolftaleína é avaliada a profundidade da frente carbonatada, conforme item 2.6, e a Figura 24 elucida o resultado da avaliação na peça.



Figura 24 – Fotos ensaio de carbonatação nº 01 – Avaliação da frente carbonatada. **Fonte:** Autores

Realizado o ensaio Nº 01, foi possível avaliar que o cobrimento de concreto encontrado na peça foi de 2,4cm até a armadura e que, em sua totalidade, já estava carbonatado, pois não sofreu alteração de coloração conforme elucidado na Figura 15, Item 2.6. ENSAIO DE PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO.

4.4.3.2. Ensaio Nº 02

No ensaio de Nº 02 foi realizado o mesmo procedimento da primeira avaliação, conforme Figuras 25 a 27, mas no 2º pavimento em relação ao nível da rua (1º sobressolo) em uma alocação diferente do primeiro ensaio:



Figura 25 – Fotos ensaio de carbonatação nº 02 – Abertura da quina para se chegar à parte interna do elemento. **Fonte:** Autores



Figura 26 – Fotos ensaio de carbonatação n° 02 – Aspersão de fenolftaleína. **Fonte:** Autores



Figura 27 – Fotos ensaio de carbonatação n° 02 – Avaliação da frente carbonatada. **Fonte:** Autores

Realizado o ensaio de N° 02, foi possível avaliar que o cobrimento de concreto encontrado na peça foi de 2,0cm até a armadura e que, em sua totalidade, já estava carbonatado.

4.4.3.2. Ensaio N° 03

A peça usada para o ensaio N° 03 possui uma particularidade onde havia um revestimento em massa argamassada com espessura de 2,5mm o que fez com que, após a abertura da quina do pilar (Figura 28) pudesse ser identificado, depois de aspergido a solução de fenolftaleína, uma superfície em sua maioria íntegra, ainda não carbonatada.



Figura 28 – Fotos ensaio de carbonatação n° 03 – Abertura da quina para se chegar à parte interna do elemento.
Fonte: Autores



Figura 29 – Fotos ensaio de carbonatação n° 03 – Avaliação da frente carbonatada. **Fonte:** Autores

Neste ensaio foi possível avaliar que ainda restava parte do concreto ainda sem carbonatar onde a cobertura nominal de concreto era de 1,9cm e a profundidade carbonatava é de 1,5cm.

4.4.4. Apresentação dos danos encontrados nas estruturas

Neste item serão informados os danos encontrados nas estruturas, com alguns exemplos do que foi visualizado, divididos por família de elementos e por pavimento.

Em sua maioria, os danos encontrados nas estruturas são comuns a todos os elementos, sendo os mais comuns dentre eles os seguintes:

- Manchas - Fuligem / crosta negra;
- Armadura aparente;
- Deslocamento do concreto;
- Fissuras;
- Falhas de concretagem - segregações;
- Infiltrações;
- Manchas de eflorescência (lixiviação)
- Corrosão de armadura;

Para facilitar a visualização das manifestações encontradas, estas serão apresentadas em forma de família (Pilares, Vogas e Lajes).

4.4.4.1. Pilares

Nas Figuras de 30 a 33, foi possível verificar os danos mais comuns encontrados nos pilares da estrutura.

Na Figura 30 pode-se observar que o pé do pilar se encontra com baixo cobrimento, pois é possível visualizar já a linha dos estribos de amarração das armaduras mesmo nos locais que não houve deslocamentos devido a corrosão.



Figura 30 – Armadura exposta no pé do pilar localizado no pavimento térreo (3º pavimento em relação ao nível da rua. **Fonte:** Autores

Na Figura 31, em outro pilar de borda locado no pavimento térreo aos fundos do empreendimento, se observa uma maior degradação no pé do pilar com armaduras com perda de seção e um intenso deslocamento do concreto nessa região.



Figura 31 – Armadura exposta com perda de seção e deslocamento do concreto no pé do pilar localizado no pavimento térreo (3º pavimento em relação ao nível da rua. **Fonte:** Autores

Conforme avançando a análise no empreendimento, em pavimentos superiores ao nível da rua, ia notando-se que algumas manifestações se diferiam, como o caso da Figura 32, onde nota-se além da corrosão das armaduras no pé do pilar a ocorrência de fuligem depositada na superfície dos elementos.



Figura 32 – Imagem do pilar localizado no pavimento 2 pavimento tipo (5º pavimento em relação ao nível da rua) com manchas de fuligem além da corrosão das armaduras e deslocamentos do concreto. **Fonte:** Autores

Outra manifestação notada nos pilares conforme ia se avançando a diligência é a excentricidade dos pilares (Figura 33), principalmente nas sacadas onde se tinha o engaste com vigas invertidas, e no mesmo pilar foi detectado falha de concretagem (bicheira).



Figura 33 – Imagem do pilar localizado no pavimento 2 pavimento tipo (5º pavimento em relação ao nível da rua) com excentricidade no engaste com a viga invertida da sacada. **Fonte:** Autores

4.4.4.2. Vigas

Assim como fora realizado nos pilares, as Figuras de 34 a 37 evidenciam algumas das principais manifestações encontradas nas vigas, onde os problemas encontrados e analisados não diferem das que ocorreram em pilares, exceto pelo resto de forma encontrada em algumas vigas do pavimento superior.

Na Figura 34 é possível visualizar a presença da capa de lodo na viga no pavimento do 2º sobressolo (1º pavimento no nível da rua) o que é possível assumir que foi evoluindo ao longo dos anos principalmente pela falta de ventilação do local e pela alta presença de umidade, criando um ambiente de proliferação de bactérias e fungos deteriorando a estrutura.



Figura 34 – Viga do pavimento do 2º sobressolo com presença de microrganismos. **Fonte:** Autores

Avançando com a análise da estrutura, ainda no 2º sobressolo (1º pavimento no nível da rua), é possível encontrar outras vigas com a mesma aparência e manifestações patológicas. A Figura 35 mostra que uma viga neste pavimento além de sofrer com o ataque de micro-organismos e alta umidade, devido a ventilação escassa e a não presença de luz solar, já possui deslocamento do concreto expondo suas armaduras.



Figura 35 – Viga do pavimento do 2º sobressolo com presença de micro-organismos e deslocamento do concreto.

Fonte: Autores

As manifestações são recorrentes em vários componentes na família de vigas e outro tipo de manifestação encontrada foi a presença ainda de madeiras utilizadas na forma, conforme mostra a Figura 36 e 37, que possuem restos de forma deterioradas pelo tempo e o microclima instalado no sistema.



Figura 36 – Viga do 6º pavimento em relação ao nível da rua (4º pavimento tipo) com restos de forma. **Fonte:** Autores



Figura 37 – Viga do 6º pavimento em relação ao nível da rua (4º pavimento tipo) com restos de forma. **Fonte:** Autores

4.4.4.3. Lajes

As lajes são o conjunto de peças que mais parece sofrer com o abandono do empreendimento. Além das manifestações já citadas, e recorrentes de outras famílias de peças estruturais, as lajes possuem as maiores manifestações patológicas indo desde a infiltração de água, o que elucida o mecanismo de lixiviação do concreto até lajes com danos por abrasão, na laje do último pavimento, e falhas na execução do projeto, o que foi verificado em alguns pontos onde a laje foi perfurada para passagens da infraestrutura do prédio.

Na Figura 38 é possível enxergar danos de larga escala através de fissuras ocorridas na laje, onde já ocorre a lixiviação do material de cobertura e o deslocamento em alguns pontos.

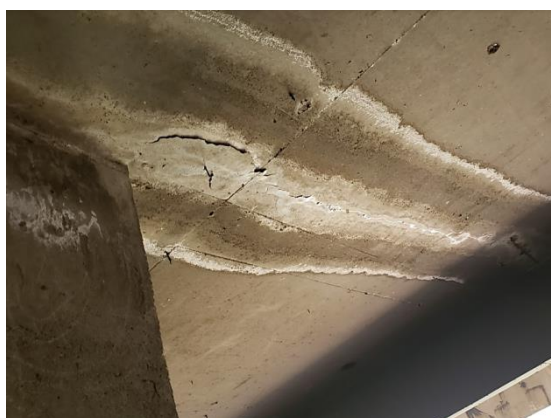


Figura 38 – Laje do 2º sobressolo (1º pavimento em relação ao nível da rua) com deslocamento de material, fissuras no concreto e manchas de lixiviação. **Fonte:** Autores

Além das manifestações já encontradas em outras peças da estrutura abandonada, a possível falha de leitura do projeto ou execução causou, antes mesmo da paralisação da construção, danos a estrutura. A Figura 39 mostra que uma grua que não foi prevista em projeto foi alocada e abandonada após a paralisação da construção. É possível na imagem visualizar as armaduras rompidas o que parece ter acontecido ainda durante a construção, para a subida de materiais, já que à época da construção não se existem as tecnologias e os meios que atualmente se tem para o transporte de materiais entre pavimentos.

A grua em questão necessitou da abertura das lajes do 2º e 1º sobressolo (1º e segundo pavimentos em relação ao nível da rua) e se estende acima do 6º pavimento da edificação referenciado pelo nível da rua, ou seja, o piso do 4º pavimento tipo.



Figura 39 – Laje do 2º sobressolo (1º pavimento em relação ao nível da rua) com as armaduras retorcidas e rompidas e a grua em detalhe. **Fonte:** Autores

Como era de se esperar após a entrada na edificação os pavimentos inferiores, que devido as suas características construtivas sofriam com menor presença de iluminação natural e fechamentos para entrada de água da chuva, possuem o maior número de manifestações dados pela ação da água, seja ela através da lixiviação ou da criação e proliferação de microrganismos que se instalaram e procriaram através da alta umidade no local.

Severas, as manifestações fizeram com que o concreto fosse fissurado em muitos locais intensificando a passagem da água. As Figuras 40 e 41 mostram, respectivamente, o que a falta de ventilação e iluminação natural gerou de acúmulo

de microrganismos no piso do pavimento térreo e as manifestações diretas na laje do 1º sobressolo.



Figura 40 – Piso do pavimento térreo (3º pavimento em relação ao nível da rua) com a formação de poças de água, crescimento de vegetação e acúmulo de lodo. **Fonte:** Autores



Figura 41 – laje do 1º sobressolo (2º pavimento em relação ao nível da rua) com fissuração contínua em larga escala e sinais de lixiviação. **Fonte:** Autores

5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo, serão pontuados o resultado do Grau de deterioração dos elementos calculados pelo método GDE/UnB, assim como os resultados da estrutura em relação ao Grau de deterioração (GDE/UnB) e estimativa de vida útil residual (Tutti) da estrutura.

5.1. GRAU DE DETERIORAÇÃO DAS FAMÍLIAS DE ELEMENTOS CONFORME GdE/ UnB

Seguindo as etapas método GdE/UnB elaborado por Fonseca (2007), a estrutura inspecionada teve seus elementos divididos em famílias: Pilares, Vigas, Lajes e Escada/rampa. Para cada elemento de cada família, foi realizado uma ficha de inspeção, a qual se encontra no “**Apêndice I**”. Os resultados de cada ficha foram concatenados nas tabelas conforme apresentadas a seguir neste capítulo.

As Tabelas de 18 a 25 mostram o resultado do grau de deterioração dos elementos separados por família (Escada, Laje, Viga e Pilar), seguindo o método elucidado no Item 3.2.1. FAMÍLIA DE ELEMENTOS, e seus cálculos realizados conforme explicado no Item 3.2. MÉTODO GDE/UnB – MODELO FONSECA (2007).

Com uma média Gde = 89,68, a família das escadas e rampas tiveram seus dados apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 – Tabela de Grau de Deterioração do Elemento, Escadas. **Fonte:** Autores.

Escadas			
Pavimento	Escada/ Rampa	Gde	Nível
1º a 2º	E1	104,48	CRÍTICO
	E2	95,14	SOFRÍVEL
4º a 5º	E3	70,38	ALTO
5º a 6º	E4	106,49	CRÍTICO
1º a 2º	R1	71,94	ALTO

A família das vigas, com o maior número de elementos analisados, obtiveram a média Gde = 64,67, seguindo os resultados apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 - Tabela de Grau de Deterioração do Elemento, Vigas. **Fonte:** Autores.

Vigas			
Pavimento	Vigas	Gde	Nível
1º Pav	V20	39,00	MÉDIO
	V23	69,90	ALTO
	V24	39,43	MÉDIO
	V30	39,00	MÉDIO
	V6	105,94	CRÍTICO
	V9	39,43	MÉDIO
	VP1	71,19	ALTO
2º Pav	V17	72,96	ALTO
	V24	38,53	MÉDIO
	V30	38,53	MÉDIO
3º Pav	V10	66,39	ALTO
	V18	42,55	MÉDIO
	V19	37,41	MÉDIO
	V30	37,57	MÉDIO
	V32	34,91	MÉDIO
4º Pav	V21	104,54	CRÍTICO
	V34	55,74	ALTO
	V35	42,15	MÉDIO
6º Pav	V12	104,54	CRÍTICO
	V13	66,75	ALTO
	V17	102,63	CRÍTICO
	V20	43,20	MÉDIO
	V30	108,03	CRÍTICO
	V31	106,92	CRÍTICO
	V32	100,18	CRÍTICO
	V33	57,54	ALTO
	V34	108,03	CRÍTICO
	V8	37,71	MÉDIO

A família dos pilares, os elementos mais importantes estruturalmente, obtiveram a média Gde = 104,93, seguindo os resultados apresentados na Tabela 20.

Tabela 20 - Tabela de Grau de Deterioração do Elemento, Pilares. **Fonte:** Autores.

Pilares			
Pavimento	Pilares	Gde	Nível
3º pav	P3	79,09	ALTO
	P4	86,42	SOFRÍVEL
	P6	160,94	CRÍTICO
	P7	163,56	CRÍTICO
	P16	163,17	CRÍTICO
	P19	101,63	CRÍTICO
	P20	171,33	CRÍTICO
	P23	97,94	SOFRÍVEL
	P24	164,29	CRÍTICO
	P27	168,83	CRÍTICO
4º Pav	P5	89,18	SOFRÍVEL
	P8	79,82	ALTO
	P11	78,72	ALTO
5º Pav	P4	80,53	SOFRÍVEL
	P5	103,33	CRÍTICO
	P21	90,97	SOFRÍVEL
6º Pav	P5	85,65	SOFRÍVEL
	P12	97,94	SOFRÍVEL
	P21	98,26	SOFRÍVEL
	P23	100,26	CRÍTICO

E por fim, a família das lajes, com a média Gde = 164,30, seguindo os resultados apresentados na Tabela 21.

Tabela 21 - Tabela de Grau de Deterioração do Elemento, Lajes. **Fonte:** Autores

Lajes			
Pavimento	Laje	Gde	Nível
1º Pav	L1	167,78	CRITICO
	L2	0,00	N/A
2º Pav	L1	167,78	CRITICO
	L2	0,00	N/A
3º Pav	L1	157,63	CRITICO
	L2	158,75	CRITICO
4º Pav	L1	163,56	CRITICO
	L2	163,56	CRITICO
5º Pav	L1	163,56	CRITICO
	L2	163,56	CRITICO
6º Pav	L1	170,31	CRITICO
	L2	166,49	CRITICO

5.2. GRAU DE DETERIORAÇÃO DA ESTRUTURA - GdE/ UnB

Após calcular o grau de deterioração de cada elemento, achou-se o grau de deterioração por família, seguindo a separação apresenta anteriormente no item 5.1. Por diante realizou-se a ponderação das famílias de acordo com o fator de relevância da família conforme a tabela sugerida por Fonseca (2007), resultando a Tabela 22, e por fim, obteve-se o resultado do Grau de Deterioração da Estrutura, sendo de: **Gd = 267,73**.

Tabela 22 - Tabela de Grau de Deterioração das Famílias. **Fonte:** Autores.

Família	Gdf	Fator de relevância estrutural (Fr)	GdfxFr
Laje	322,96	4	1291,85
Pilar	329,68	5	1648,41
Viga	209,62	5	1048,09
Escada/Rampa	187,69	3	563,06

Conforme pressupunha-se, a estrutura avaliada foi caracterizada como Grau de Deterioração **CRÍTICA**.

5.3. ESTIMATIVA DA VIDA ÚTIL DE PROJETO PELA METODOLOGIA DE TUTTI

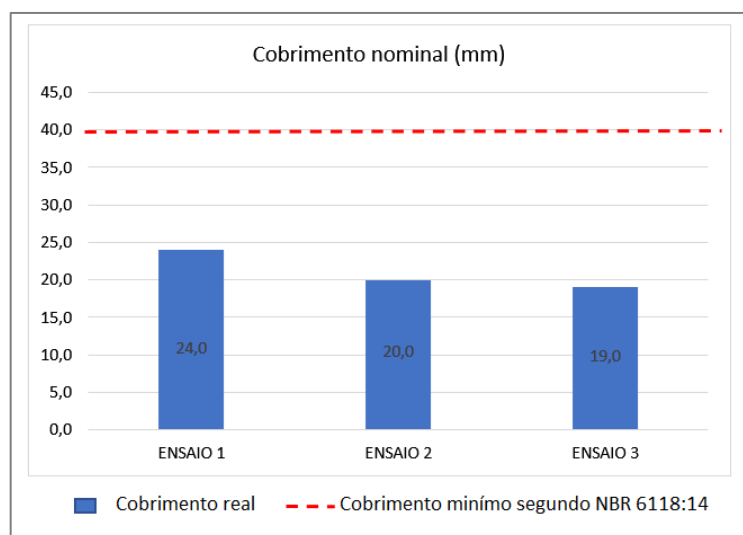
Para atender a metodologia determinística proposta por Tuutti, é necessário obter a profundidade de carbonatação da estrutura, a qual foi pontuada a partir dos ensaios de carbonatação realizado in loco.

5.3.1. Profundidade de carbonatação das estruturas

Foi verificado o cobrimento nominal nos pilares os quais foram realizados o ensaio de carbonatação. Foi relacionado o cobrimento encontrado com o cobrimento mínimo estimado segundo as normas técnicas atuais, NBR 6118:2014, devido a interação com o nível de agressividade do ambiente em que a estrutura está inserida.

Os dados obtidos do cobrimento nominal e o resultado dessa análise comparativa podem ser verificadas no Gráfico 6.

Gráfico 6 - Relação cobrimento nominal encontrado em pilares x NBR 6118:2014. **Fonte:** autores.



A linha tracejada vermelha indica o cobrimento mínimo em relação à norma vigente em relação a pilares. Foi observado que os cobrimentos nominais não atenderam à normativa da NBR 6118:2014, uma vez que o cobrimento se encontra inferior ao estipulado pela norma vigente.

5.3.2. Vida útil de projeto residual da estrutura (Método de Tutti)

Copilando os dados obtidos nos três ensaios realizados para identificar a profundidade de carbonatação nos elementos estudados e aplicando a metodologia determinística de Tutti (1982) verificou-se que, para as duas peças do Ensaio 1 e 2, utilizadas como amostra, já se encontravam carbonatada, não havendo vida útil residual.

Tabela 23 - Cálculo Vida Útil Residual da Estrutura com os dados ensaio carbonatação (método Tutti).**Fonte:** Autores.

	Elemento	andar	Cobrimento (mm)	Profundidade carbonatada (mm)	tempo (anos)	Coeficiente de carbonatação 'k' (mm/Vano)	Tempo residual (ano)	Tempo residual (meses)
ENSAIO 1	P	nível rua	24,0	24,0	30	4,3817805	0,00	0,00
ENSAIO 2	P	2º pav.	20,0	20,0	30	3,6514837	0,00	0,00
ENSAIO 3	P	3º pav.	19,0	15,0	30	3,4689095	1,33	15,96

Desconsiderou-se os dados obtidos no Ensaio n°3, pois pode-se supor que este elemento já recebeu algum tipo de reparo ou que, em época de obra, recebeu acabamento argamassado que não foi aplicado nas demais peças estruturais da edificação, a qual acaba contribuindo na proteção da armadura contra o avanço da carbonatação.

Portanto, através dos ensaios realizados, pode-se considerar que a estrutura obteve o fim da vida útil, que a armadura se encontra despassivada e que o processo de carbonatação que ocorre nas peças em concreto, na estrutura estudada, já ultrapassou as fases de iniciação (CO₂) e a fase de propagação. Sendo assim, segundo Tutti, ultrapassando o grau máximo de corrosão aceitável, conforme Gráfico 5.

Segundo Bolinam Tutikian e Helene (2019, p.100), pesquisadores consideram o fim da Vida Útil de Projeto Residual da estrutura (VUP) quando os agentes agressivos atingem a armadura. Logo, os autores mantem tal consideração e concluí a VUP da estrutura, conforme abaixo.

- VUP residual (anos): 00

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo se encontram considerações finais e recomendações para trabalhos futuros que podem/devem ser realizadas na estrutura do edifício localizado na Rua Evans nº 100, Vila Esperança, zona leste da cidade de São Paulo.

6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considera-se que foram atendidos os objetivos propostos no início desta pesquisa e que a hipótese foi corroborada, onde pode-se observar que:

- a) O grau de deterioração da estrutura pelo método GDE/UnB de $G_d = 267,73$, que pela metodologia aplicada, e relação de níveis de deterioração mostrados na Tabela 16, encontra-se no nível crítico necessitando de inspeções mais detalhadas e imediatas e a necessidade de se planejar uma intervenção urgente na estrutura de tal edifício;
- b) Nas peças estruturais consideradas mais críticas ao empreendimento, que possuem maior relevância estrutural, estão as vigas e pilares principais. Os pilares, que possuem a característica de suporte da carga da estrutura, atingiu em sua família (compilado de pilares), segundo o método aplicado, de $G_{df} = 329,69$ que é 57% maior que o grau de deterioração das vigas ($G_{df} = 209,62$). Nesta comparação, e diante da relevância dos elementos para garantir a capacidade de suporte da estrutura, a intervenção deve-se começar pelos pilares com características de urgência após o escoramento do edifício;
- c) As lajes, que possuem relevância estrutural menor, se comparada aos pilares e vigas, é o segundo grupo de elementos com maior deterioração segundo a análise pelo método GDE/UnB com $G_{df} = 322,96$, sendo seu dano em família 2% menor que os pilares, mas 54% maior que a avaliação realizada nas vigas;
- d) As vigas por sua vez, mesmo possuindo um grau de criticidade elevado – Crítico – $G_{df} = 209,62$, ainda possuem elementos que em sua maioria foram avaliados como “Grau médio” de deterioração. No total de 28 avaliações realizadas na família de viga do edifício, 46% foram classificadas como grau médio de deterioração, 25% classificadas como alto e 28,57% classificadas

como crítico, o que demonstra que a maior parte das peças ainda possui sua integridade estrutural boa, o que mostra que nem todas devam passar por intervenções imediatas;

- e) Outro ponto avaliado neste trabalho foi a Vida Útil de Projeto, utilizando o método de TUTTI, onde obteve-se o resultado 0 (Zero) em anos residuais de projeto. Isto mostra que em sua totalidade a frente de carbonatação já penetrou na camada de concreto, que cobre as armaduras da edificação, causando a despassivação das mesmas necessitando de intervenção imediata para tratamento destas, além de também trazer à tona a necessidade de se adequar as camadas de cobrimento, que foram inferiores as mínimas exigidas por norma.

6.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sobre a edificação estudada, recomenda-se a continuidade da análise da estrutura; com:

- a) Análise dos projetos de estrutura (os quais não foram fornecidos aos autores para a confecção deste trabalho);
- b) Ensaio laboratorial de penetração de cloretos para verificar e validar inexistência de alto teor de cloretos na estrutura podendo ocorrer por exemplo por eventual contaminação da massa por uso de aditivos com base cloretos na construção (o qual não foi considerado neste estudo, devido a edificação não se encontrar em zona marítima).
- c) Mapeamento através de plantas e catalogação das manifestações patológicas existentes na estrutura, com estudo de incidências.
- d) Retirada de testemunhos no local para realização de ensaios tecnológicos (não sendo recomendado utilizar testemunhos retirados de seções rompidas ou próximas a romper ou locais com segregações de concreto ou juntas de concretagem que devem apresentar sua resistência mecânica alterada);
- e) Realização do ensaio de ultrassonografia nas amostras coletadas para aferir sua integridade;
- f) Realização do ensaio de resistência a compressão dos testemunhos retirados no local para identificar a resistência destas peças estruturais, com uma junção

de ensaios esclerométricos (de dureza superficial); podendo assim realizar a curva de relação entre resistência a compressão e esclerometria;

- g) Realizar ensaios tecnológicos / laboratoriais para identificar os compostos químicos e biológicos existentes na estrutura; consideramos que as reações resultaram em crosta negra, fungos tipo Fusarium devido a formação de biofilme preto, existência de sulfatos devido a reação química entre o CaSO_4 - Sulfato de cálcio (“crosta negra” oriunda da reação do carbonato de cálcio com o ácido sulfúrico com o $2\text{H}_2\text{O}$ dão origem a etringita -sulfoaluminato de cálcio) entre outros componentes químicos e orgânicos.
- h) Com subsidio das informações acima pode-se obter eventualmente outras considerações finais sobre a estrutura, bem como apoiar decisões para intervenções e/ ou possível retomada da construção;
- i) Tais recomendações para análises e inspeções futuras não anulam as recomendações resultadas do cálculo do grau de degradação realizada neste trabalho que, segundo a metodologia Gde/Unb de Fonseca (2007), para o nível “crítico” obtido para a estrutura, é de “realização de intervenções imediatas”.

Sobre o tema recomendamos para trabalhos futuros:

- a) Realização de estudos que compilem dados de diversas edificações abandonadas para melhor entendimento das principais manifestações patológicas existentes nestas estruturas. Buscando relações como: intensidade dos danos x idade das edificações; problemas patológicos e intensidades x características e fase da construção da edificação, entre outras;
- b) Realização de estudos técnicos e científicos sobre edificações abandonadas, o qual, visto a relevância do tema, identificamos poucos livros, artigos e teses específicas;
- c) Realização de um manual técnico para construtores de ‘boas maneiras’ para ações de proteções na a estrutura em caso extremo de ter de paralisar uma construção, bem como conscientização dos danos que devem ocorrer na correlação com o tempo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto — Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

Tribunal de Contas da União (TCU). “Obras paralisadas no país - causas e soluções”, 2019.

Disponível em <<https://portal.tcu.gov.br/imprensa/noticias/obras-paralisadas-no-pais-causas-e-solucoes.htm>>, acessado 20/12/2020 as 20:31

PAZINI, Ênio Figueiredo; Meira, Gibson. “Corrosão das armaduras das estruturas de concreto”. Boletim técnico nº 06. ALCOPANT, 2013.

Réus, Giovana Costa; Ditzel, Luiz Felipe S.; Medeiros, Marcelo H. F. “Efeito do metacaulim na carbonatação natural: avaliação com modelos de previsão de vida útil”. In: Conferência Nacional de Patologia e Recuperação de Estruturas (CONPAR). Recife, Pernambuco. 31 de agosto de 2017.

Possan, E. “Modelagem da carbonatação e previsão de vida útil de estruturas de concreto em ambiente urbano”. 265 p. Tese (Tese) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010

Tuutti, K. “Corrosion of steel in concrete”, Stockholm: Swedish Cement and Concrete Research Institute. 1982

LOPES, Anne Neiry de Mendonça. “Mitigação da retração autógena em concretos de alta resistência contendo aditivo redutor de retração e seus efeitos na macro e microestrutura”, 2011.

NEVILLE, ADAM M. Propriedades do Concreto. São Paulo: PINI, 1997

RIBEIRO, DANIEL V. Corrosão e Degradação de Estruturas de Concreto. Rio de Janeiro: ELSEVIER, 2018.

HELENE, P.R.L. Corrosão em armaduras para concreto armado (4ª ed). São Paulo, PINI, 1999.

HELENE, P.R.L. Contribuição ao Estudo da Corrosão em Armaduras de Concreto Armado. São Paulo, Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1993.

MONTEMOR, M.F.; SIMÕES, A.M.P.; FERREIRA, M.G.S. Corrosion behaviour of rebars in fly ash mortar exposed to carbon dioxide and chlorides. *Cement and Concrete Composites*, v. 24, n. 1, 2002.

NUNES, F. Influência da Dosagem na Carbonatação dos Concretos. São Paulo, Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1998

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

FERREIRA, M.B. Estudo da carbonatação natural de concretos com diferentes adições minerais após 10 anos de exposição. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, UFG, Goiânia, Goiás., 2013

VISSER, J. “Influence of the carbon dioxide concentration on the resistance to carbonation of concrete. *Construction and Building Materials*,” v. 67, 8-13, 2014.

CARMONA, T.G. “Modelos de previsão da despassivação das armaduras em estruturas de concreto sujeitas à carbonatação”. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo. 2005

FIGUEIREDO, E.J.P.; MEIRA, G.R. (“Corrosión de armadura de estructuras de hormigón”. *ALCONPAT Internacional (Boletim Técnico)*. Mérida (México), 2013

ISAIA, G. O Concreto: da era clássica à contemporânea. In: ISAIA, G. *Concreto: ensino, pesquisa e realizações*. V. 1. São Paulo: IBRACON, p. 1-43.

BROOMFIELD, J. *Corrosion of steel in concrete understanding, investigation and repair* (2nd ed). London, Taylor & Francis, 2007

MILERRO, FJ . *Chemical Oceanography*. [S.l.: s.n.], 2006
disponível em < <https://www.portalsaofrancisco.com.br/quimica/corrosao>>, acessado em 23 de março de 2020 às 14:01.

ANDRADE, C. Calculation of Chloride Diffusion Coefficients in Concrete from Ionic Migration Measurements. *Cement and Concrete Research*, v. 23, 1993. p. 724-742.

CABRAL, A. E. B. Avaliação dos Sistemas de Reparo Utilizados em estruturas atacadas por Cloretos Através da Resistência de Polarização. Porto Alegre, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS. 2000

CASCUDO, O. O Controle da Corrosão das Armaduras em Concreto: Inspeção e Técnicas Eletroquímicas. Ed. PINI, São Paulo, Ed. UFG, 1997.

HELENE, P. Contribuição ao Estudo da Corrosão em Armaduras de Concreto Armado. São Paulo,. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 1993

GENTIL, V. (2007) Corrosão (5ª ed). Rio de Janeiro, LTC 360 p.

TAYLOR, H.F.W. (1997) Cement chemistry, 2nd ed. Londres: Thomas Telford

HELENE, P. R. Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto. 2. ED. São Paulo, 1992. Cap. 1, p. 18-26

HELENE, P. Contribuição ao Estudo da Corrosão em Armaduras de Concreto Armado. São Paulo, 1993, 271 p. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

ANDRADE, C. Calculation of Chloride Diffusion Coefficients in Concrete from Ionic Migration Measurements. Cement and Concrete Research, v. 23, 1993. p. 724-742.

CABRAL, A. E. B. Avaliação dos Sistemas de Reparo Utilizados em estruturas atacadas por Cloretos Através da Resistência de Polarização. Porto Alegre, 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS.

CASCUDO, O. O Controle da Corrosão das Armaduras em Concreto: Inspeção e Técnicas Eletroquímicas. Ed. PINI, São Paulo, Ed. UFG, 1997. 237p.

METHA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. (2014) Concreto: microestrutura, propriedades e materiais (2ª ed). São Paulo, IBRACON, 782p.

MUNHOZ, F.A.C. (2007) Efeito de adições ativas na mitigação das reações álcali-silica e álcali-silicato. Dissertação (Mestrado) – universidade de São Paulo, São Paulo.

ANDRIOLO, F.R. (1997) Observação de estruturas de concreto: Validade quanto à ocorrência de reação álcali-agregado. In: Simpósio sobre reatividade Álcali-agregado em estruturas de concreto. Goiania. Proceedings... Goiania: IBRACON. 14p.

AL-DULAIJAN, S.U.; et al. (2003) Sulfate resistance of plain and blended cements exposed to varying concentrations of sodium sulfate. *Cement and Concrete Composites*, v. 25, n. 4-5, p. 429-437 May-July.

HELENE, P.R.L. (1999) *Corrosão em armaduras para concreto armado* (4^a ed). São Paulo, PINI, 48 p.

PECCHIO M. et al. Produtos da reação álcali-silicato em concretos de edificações da região Metropolitana do Grande Recife/PE. In. II SIMPÓSIO SOBRE REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO, 2006, Rio de Janeiro.

ANEXO I

Pavimento nível rua – 1º sobressolo

Elemento estrutural: PILARES

**DESCRIÇÃO DOS DANOS:**

- Fuligem / crosta negra depositado pela superfície dos elementos;
- Armadura aparente;
- Desplacamento do concreto;
- Baixo cobrimento;
- Fissuras;
- Corrosão de armadura;
- Elementos com falha de concretagem - segregações;
- Umidade no pé do pilar;
- Elementos com aparentes desvios de geometria

Pavimento nível rua – 1º sobressolo**Elemento estrutural: VIGAS**

**DESCRIÇÃO DOS DANOS:**

- Fuligem / crosta negra depositado pela superfície dos elementos;
 - Biodeterioração (manchas esverdeadas / depósito de materiais orgânicos na superfície);
 - Armadura aparente;
 - Baixo cobrimento;
 - Fissuras;
 - Corrosão de armadura;
 - Elementos com falha de concretagem - segregações;
 - Manchas de eflorescências (por lixiviação);
 - Infiltrações;
-

Pavimento nível rua – 1º sobressolo**Elemento estrutural: LAJES**

**DESCRIÇÃO DOS DANOS:**

- Armadura aparente;
 - Desplacamento do concreto;
 - Fissuras;
 - Corrosão de armadura;
 - Manchas de eflorescências (por lixiviação);
 - Infiltrações;
 - Fuligem / crosta negra depositado pela superfície dos elementos;
 - Biodeterioração (depósitos de materiais orgânicos na laje piso do pavimento superior);
 - Abertura laje para equipamento provisório de obra;
-

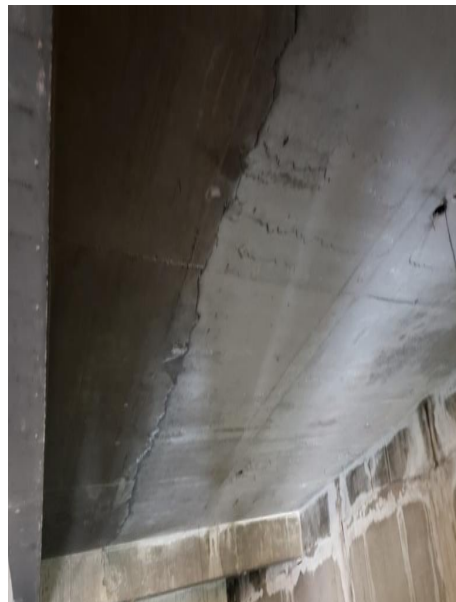
1° Pavimento – 2° sobressolo**Elemento estrutural: VIGAS**

**DESCRIÇÃO DOS DANOS:**

- Fuligem / crosta negra depositado pela superfície dos elementos;
 - Biodeterioração (depósitos de materiais orgânicos na laje piso do pavimento superior);
 - Armadura aparente;
 - Destacamento do concreto;
 - Fissuras;
 - Corrosão de armadura;
 - Manchas de eflorescências (por lixiviação);
 - Infiltrações;
-

1º Pavimento – 2º sobressolo**Elemento estrutural: PILARES****DESCRIÇÃO DOS DANOS:**

- Fuligem / crosta negra depositado pela superfície dos elementos ;
- Armadura aparente;
- Desplacamento do concreto;
- Baixo cobrimento;
- Fissuras;
- Corrosão de armadura;
- Elementos com falha de concretagem - segregações;
- Umidade no pé do pilar;
- Corrosão (principalmente algumas no pé do pilar)

1º Pavimento – 2º sobressolo**Elemento estrutural: LAJE****DESCRIÇÃO DOS DANOS:**

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Biodeterioração (materiais orgânicos na laje piso do pavimento superior);• Armadura aparente;• Furos nas lajes executados posteriormente a concretagem, sem tratamento, com armadura aparente; | <ul style="list-style-type: none">• Baixo cobrimento;• Fissuras;• Corrosão de armadura;• Manchas de eflorescências (por lixiviação);• Infiltrações;• Fuligem / crosta negra; |
|--|---|

2º Pavimento nível rua – Térreo

Elemento estrutural: VIGAS

**DESCRIÇÃO DOS DANOS:**

- Fuligem / crosta negra depositado pela superfície dos elementos;
 - Biodeterioração (manchas esverdeadas / depósito de materiais orgânicos na superfície);
 - Armadura aparente;
 - Desplacamento do concreto;
 - Fissuras;
 - Corrosão de armadura;
 - Elementos com falha de concretagem - segregações;
 - Manchas de eflorescências (por lixiviação);
 - Infiltrações (pelo andar superior) e escoamento de água nas vigas de borda (fachada);
 - Furos nas lajes executados posteriormente a concretagem, sem tratamento, com armadura aparente, com fissuração em torno do furo.
-

2º Pavimento nível rua – Térreo**Elemento estrutural: LAJE****DESCRIÇÃO DOS DANOS:**

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Fuligem / crosta negra depositado pela superfície dos elementos;• Armadura aparente;• Corrosão de armadura; | <ul style="list-style-type: none">• Baixo cobrimento;• Fissuras;• Manchas de eflorescências (por lixiviação);• Infiltrações; |
|---|---|

2º Pavimento nível rua – Térreo**Elemento estrutural: PISO (laje do 1º pav. em relação a rua – 2º sobressolo)**



DESCRIÇÃO DOS DANOS:

- Empoçamentos de água;
 - Biodegradação com algas, plantas, raízes, musgo, manchas esverdeadas e micro-organismos
-

3 ao 4º Pavimento nível rua – 1º e 2º andar tipo

Elemento estrutural: PILARES

**DESCRIÇÃO DOS DANOS:**

- Fuligem / crosta negra depositado pela superfície dos elementos;
- Armadura aparente;
- Desplacamento do concreto;
- Baixo cobrimento;
- Fissuras;
- Corrosão de armadura;

- Elementos com falha de concretagem - segregações;
- Desvio de geometria;
- Nichos de concretagem ('bicheira');
- Umidade (pé do pilar e escorrimento);

3 ao 4º Pavimento nível rua – 1º e 2º andar tipo

Elemento estrutural: VIGAS

**DESCRIÇÃO DOS DANOS:**

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Fuligem / crosta negra depositado pela superfície dos elementos; • Armadura aparente; • Desplacamento do concreto; • Baixo cobrimento; • Fissuras; • Corrosão de armadura; | <ul style="list-style-type: none"> • Elementos com falha de concretagem - segregações; • Desvio de geometria; • Nichos de concretagem ('bicheira'); • Umidade (pé do pilar e escorrimento); |
|---|---|

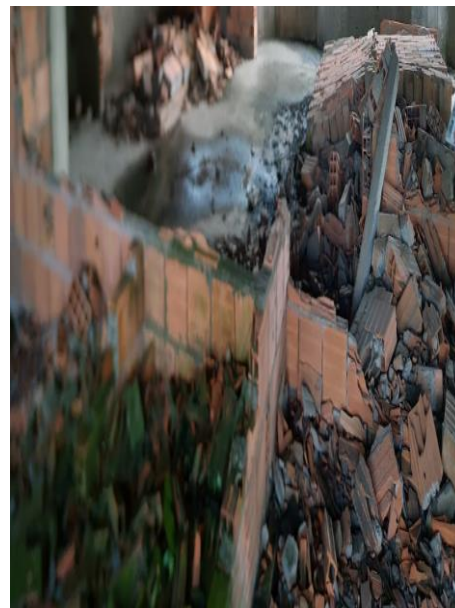
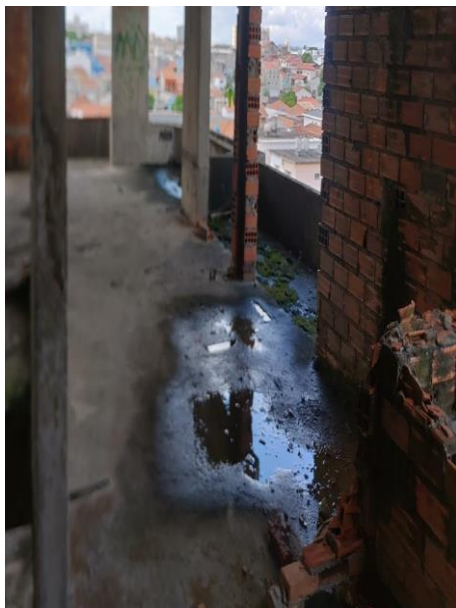
3 ao 4º Pavimento nível rua – 1º e 2º andar tipo

Elemento estrutural: LAJES

**DESCRIÇÃO DOS DANOS:**

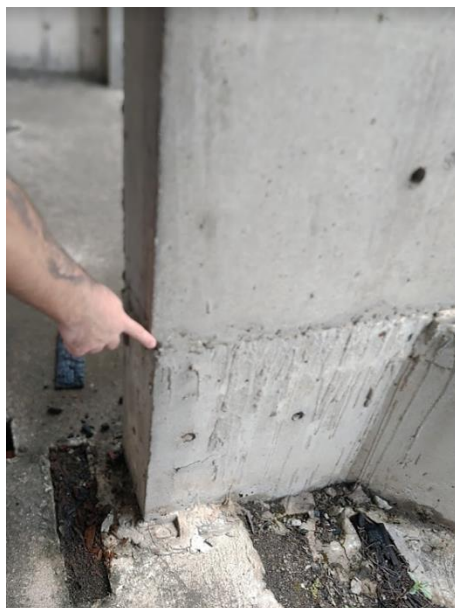
- Manchas - Fuligem / crosta negra;
- Armadura aparente;
- Desplacamento do concreto;
- Fissuras;

- falha de concretagem - segregações;
- Infiltrações;
- Manchas de eflorescência (lixiviação)
- Corrosão de armadura;

3 ao 4º Pavimento nível rua – 1º e 2º andar tipo**Elemento estrutural: PISOS (laje do andar inferior)****DESCRIÇÃO DOS DANOS:**

- Empoçamentos de água;
- Entulho / resíduo de construção.

- Biodeterioração (depósito de algas, plantas, manchas esverdeadas)

5° Pavimento nível rua – 3° andar tipo**Elemento estrutural: PILARES****DESCRIÇÃO DOS DANOS:**

- Fuligem / crosta negra depositado pela superfície dos elementos;
- Armadura aparente;
- Baixo cobrimento;
- Fissuras;
- Corrosão de armadura;
- Elementos com falha de concretagem - segregações;
- Desvio de geometria;
- Nichos de concretagem ('bicheira')
- Umidade (pé do pilar e escorrimento);
- Pilar da escada com área de secção abaixo exigências normativas (Pilar com 9x9cm)

5° Pavimento nível rua – 3° andar tipo

Elemento estrutural: VIGAS



DESCRIÇÃO DOS DANOS:

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Fuligem / crosta negra • Armadura aparente; • Desplacamento do concreto; • Baixo cobrimento; • Fissuras; | <ul style="list-style-type: none"> • Concreto segregado; • Brita aparente / perda da nata de cimento; • Manchas escuras; • Resto de forma; • Corrosão de armadura; |
|--|---|

5° Pavimento nível rua – 3° andar tipo

Elemento estrutural: LAJES

**DESCRIÇÃO DOS DANOS:**

- Manchas - Fuligem / crosta negra;
- Armadura aparente;
- Desplacamento do concreto;
- Fissuras;
- Infiltrações;
- Corrosão de armadura (visível perda de secção)

- Concreto segregado;
- Resto de forma;
- Brita aparente / perda da nata de cimento - deterioração bioquímica do concreto.
- Manchas de eflorescência (lixiviação)

5° Pavimento nível rua – 3° andar tipo**Elemento estrutural: PISOS (laje do andar inferior)****DESCRIÇÃO DOS DANOS:**

- Empoçamentos de água;
- Entulho / resíduo de construção.

- Biodeterioração (depósito de algas, plantas, manchas esverdeadas)

6º Pavimento nível rua – 4º andar tipo (*apenas laje*)**Elemento estrutural: PISOS (laje do andar inferior)****DESCRIÇÃO DOS DANOS:**

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Empoçamentos de água;• Corrosão em armadura de arranque; | <ul style="list-style-type: none">• Manchas – fuligem, crosta negra.• Concreto com brita aparente / perda de nata de cimento |
|---|---|

Nível rua ao 5º Pavimento – 1º sobressolo ao 3º andar tipo
Elemento estrutural: ESCADAS



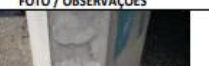
DESCRIÇÃO DOS DANOS:

- Manchas - Fuligem / crosta negra;
- Armadura aparente;
- Fissuras;
- Infiltrações;
- Corrosão de armadura;

- Concreto segregado;
- Resto de forma;
- Biodegradação (algas, manchas verdes, microrganismos)

APÊNDICE I

CÁLCULO DE PILARES					
NOME DO ELEMENTO:	P3	ANDAR:	3º Pavimento		
FAMÍLIA DE ELEMENTO:	PILAR DE BORDA	LOCAL:	PILAR BORDA DIREITA FRENTE		
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES
Carbonatação	3	3	4	60	
Cobrimento deficiente	3	3	1	2,4	
Corrosão de armaduras	5	5	2	8	
Desplacamento	3	3	2	4,8	
Eflorescência	2	2	2	3,2	
Fissuras	2 a 5*	3	2	4,8	
Manchas	3	3	2	4,8	
D máx:	60	Σ	88		
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:		79,09	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA:		ALTO
NOME DO ELEMENTO:	P4	ANDAR:	3º Pavimento		
FAMÍLIA DE ELEMENTO:	PILAR DE BORDA	LOCAL:	PILAR BORDA ESQUERDA FRENTE		
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES
Carbonatação	3	3	4	60	
Cobrimento deficiente	3	3	1	2,4	
Corrosão de armaduras	5	5	2	8	
Eflorescência	2	2	2	3,2	
Fissuras	2 a 5*	3	2	4,8	
Manchas	3	3	2	4,8	
Umidade na base	3	3	3	24	
D máx:	60	Σ	107,2		
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:		86,42	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA:		SOFRÍVEL
NOME DO ELEMENTO:	P6	ANDAR:	3º Pavimento		
FAMÍLIA DE ELEMENTO:	PILAR DE BORDA	LOCAL:	PILAR BORDA DIREITA FRENTE		
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES
Carbonatação	3	3	4	60	
Cobrimento deficiente	3	3	1	2,4	
Corrosão de armaduras	5	5	4	100	
Desplacamento	3	3	4	60	
Fissuras	2 a 5*	3	3	24	
Manchas	3	3	2	4,8	
Umidade na base	3	3	2	4,8	
D máx:	100	Σ	256		
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:		160,94	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA:		CRÍTICO
NOME DO ELEMENTO:	P7	ANDAR:	3º Pavimento		
FAMÍLIA DE ELEMENTO:	PILAR DE BORDA	LOCAL:	PILAR BORDA ESQUERDA FRENTE		
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES
Carbonatação	3	3	4	60	
Cobrimento deficiente	3	3	1	2,4	
Corrosão de armaduras	5	5	4	100	
Desplacamento	3	3	2	4,8	
Eflorescência	2	2	3	16	
Falha de concretagem	3	3	1	2,4	
Fissuras	2 a 5*	3	2	4,8	
Manchas	3	3	4	60	
Umidade na base	3	3	3	24	
D máx:	100	Σ	274,4		
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:		163,56	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA:		CRÍTICO
NOME DO ELEMENTO:	P16	ANDAR:	3º Pavimento		
FAMÍLIA DE ELEMENTO:	PILAR DE BORDA	LOCAL:	PILAR BORDA ESQUERDA FUNDOS		
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES
Carbonatação	3	3	4	60	
Cobrimento deficiente	3	3	1	2,4	
Corrosão de armaduras	5	5	4	100	
Desplacamento	3	3	4	60	
Eflorescência	2	2	2	3,2	
Fissuras	2 a 5*	3	3	24	
Manchas	3	3	1	2,4	
Umidade na base	3	3	3	24	
D máx:	100	Σ	276		
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:		163,77	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA:		CRÍTICO

NOME DO ELEMENTO:		P19		ANDAR:		3º Pavimento	
FAMÍLIA DE ELEMENTO:		PILAR DE BORDA		LOCAL:		PILAR BORDA DIREITA FUNDOS	
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES		
Carbonatação	3	3	4	60			
Cobrimento deficiente	3	3	1	2,4			
Corrosão de armaduras	5	5	3	40			
Desplacamento	3	3	4	60			
Fissuras	2 a 5*	3	2	4,8			
Manchas	3	3	2	4,8			
Umidade na base	3	3	3	24			
	D máx:	60	Σ	196			
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:				101,63	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA:		CRÍTICO

NOME DO ELEMENTO:		P20		ANDAR:		3º Pavimento	
FAMÍLIA DE ELEMENTO:		PILAR DE BORDA		LOCAL:		PILAR BORDA ESQUERDA FUNDOS	
DANOS		Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES	
Carbonatação		3	3	4	60		
Cobrimento deficiente		3	3	2	4,8		
Corrosão de armaduras		5	5	4	100		
Desplacamento		3	3	4	60		
Eflorescência		2	2	3	16		
Fissuras		2 a 5*	3	3	24		
Manchas		3	3	4	60		
Umidade na base		3	3	3	24		
		D máx: 100		Σ	348,8		
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:				171,33	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA:		CRÍTICO

NOME DO ELEMENTO:		P23		ANDAR:		3º Pavimento		
FAMÍLIA DE ELEMENTO:		PILAR INTERNO		LOCAL:		PILAR INTERNO FUNDOS		
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES			
Carbonatação	3	3	3	4				
Cobrimento deficiente	3	3	3	1				2,4
Corrosão de armaduras	5	5	5	3				40
Desplacamento	3	3	3	3				24
Eflorescência	2	2	2	2				3,2
Fissuras	2 a 5*	3	3	2				4,8
Manchas	3	3	3	2				4,8
Umidade na base	3	3	3	3				24
		D máx:	60	Σ				163,2
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:				97,94	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA:			
					SOFRÍVEL			

NOME DO ELEMENTO:		P24		ANDAR: 3º Pavimento	
FAMÍLIA DE ELEMENTO:		PILAR DE BORDA		LOCAL: PILAR BORDA DIREITA FUNDOS	
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES
Carbonatação	3	3	4	60	
Cobrimento deficiente	3	3	2	4,8	
Corrosão de armaduras	5	5	4	100	
Desplacamento	3	3	4	60	
Falha de concretagem	3	3	1	2,4	
Fissuras	2 a 5*	3	3	24	
Manchas	3	3	2	4,8	
Umidade na base	3	3	3	24	
D máx:		100	Σ	280	
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:		164,29		NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA: CRÍTICO	

NOME DO ELEMENTO:		P27		ANDAR:		3º Pavimento		
FAMÍLIA DE ELEMENTO:		PILAR DE BORDA		LOCAL:		PILAR BORDA ESQUERDA FUNDOS		
DANOS		Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES		
Carbonatação		3	3	3	4			
Cobrimento deficiente		3	3	3	3			24
Corrosão de armaduras		5	5	4	4			100
Desplacamento		3	3	3	4			60
Falha de concretagem		3	3	3	3			24
Fissuras		2 a 5*	3	3	3			24
Manchas		3	3	3	2			4,8
Umidade na base		3	3	3	3			24
		D máx: 100		Σ	320,8			
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:				168,83	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA:		CRÍTICO	

NOME DO ELEMENTO:	P5		ANDAR: 4º Pavimento		FOTO / OBSERVAÇÕES 
FAMÍLIA DE ELEMENTO:	PILAR DE BORDA		LOCAL: PILAR INTERNO FRENTE		
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi	D	
Carbonatação	3	3	4	60	
Cobrimento deficiente	3	3	1	2,4	
Corrosão de armaduras	5	5	3	40	
Desplacamento	3	3	2	4,8	
Fissuras	2 a 5*	3	1	2,4	
Manchas	3	3	2	4,8	
Umidade na base	3	3	1	2,4	
D máx:		60	Σ	116,8	
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:		89,18		NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA: SOFRÍVEL	

NOME DO ELEMENTO:	P8		ANDAR: 4º Pavimento		
FAMÍLIA DE ELEMENTO:	PILAR DE BORDA		LOCAL: PILAR BORDA DIREITA FRENTE		
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES 
Carbonatação	3	3	4	60	
Cobrimento deficiente	3	3	1	2,4	
Corrosão de armaduras	5	5	2	8	
Desvio de geometria	4	4	2	6,4	
Eflorescência	2	2	2	3,2	
Falha de concretagem	3	3	1	2,4	
Fissuras	2 a 5*	3	1	2,4	
Manchas	3	3	2	4,8	
	D máx:		60	Σ	
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:			79,82	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA: ALTO	

NOME DO ELEMENTO:		P11		ANDAR: 4º Pavimento	
FAMÍLIA DE ELEMENTO:		PILAR ESCADA		LOCAL: PILAR INTERNO ESCADA	
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES 
Carbonatação	3	3	4	60	
Cobrimento deficiente	3	3	1	2,4	
Corrosão de armaduras	5	5	2	8	
Desplacamento	3	3	2	4,8	
Fissuras	2 a 5*	3	1	2,4	
Manchas	3	3	2	4,8	
Umidade na base	3	3	2	4,8	
D máx:		60	Σ	87,2	
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:		78,72		NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA: ALTO	

NOME DO ELEMENTO:		P4		ANDAR: 5º Pavimento	
FAMÍLIA DE ELEMENTO:		PILAR DE BORDA		LOCAL: PILAR BORDA ESQUERDA FRENTE	
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES 
Carbonatação	3	3	4	60	
Cobrimento deficiente	3	3	1	2,4	
Corrosão de armaduras	5	5	2	8	
Desplacamento	3	3	2	4,8	
Desvio de geometria	4	4	2	6,4	
Fissuras	2 a 5*	3	1	2,4	
Manchas	3	3	2	4,8	
Umidade na base	3	3	1	2,4	
D máx:		60	Σ	91,2	
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:		80,53		NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA: SOFRÍVEL	

NOME DO ELEMENTO:	P5		ANDAR: 5º Pavimento			
FAMÍLIA DE ELEMENTO:	PILAR INTERNO		LOCAL: PILAR INTERNO FRENTE			
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES 	
Carbonatação	3	3	4	60		
Cobrimento deficiente	3	3	1	2,4		
Corrosão de armaduras	5	5	2	8		
Desplacamento	3	3	2	4,8		
Eflorescência	2	2	3	16		
Fissuras	2 a 5*	3	4	60		
Manchas	3	3	4	60		
Umidade na base	3	3	2	4,8		
D máx:		60	Σ	216		
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:			103,33	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA:		CRÍTICO

NOME DO ELEMENTO:		P21		ANDAR:		5º Pavimento	
FAMÍLIA DE ELEMENTO:		PILAR DE BORDA		LOCAL:		PILAR BORDA DIREITA FUNDOS	
DANOS		Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES	
Carbonatação		3	3	3	4	60	
Cobrimento deficiente		3	3	3	1	2,4	
Corrosão de armaduras		5	5	5	2	8	
Desvio de geometria		4	4	4	2	6,4	
Efloração		2	2	2	3	16	
Fissuras		2 a 5*	3	3	1	2,4	
Manchas		3	3	3	2	4,8	
Umidade na base		3	3	3	3	24	
D máx:		60		Σ		124	
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:				90,97		NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA:	
						SOFRÍVEL	

NOME DO ELEMENTO:		P5		ANDAR:		6º Pavimento	
FAMÍLIA DE ELEMENTO:		PILAR INTERNO		LOCAL:		PILAR INTERNO FRENTE	
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES		
Carbonatação	3	3	4	60			
Cobrimento deficiente	3	3	1	2,4			
Corrosão de armaduras	5	5	2	8			
Desplacamento	3	3	2	4,8			
Efflorescência	2	2	2	3,2			
Fissuras	2 a 5*	3	1	2,4			
Manchas	3	3	3	24			
		D máx:	60	Σ			
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:				85,65	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA:		
					SOFRÍVEL		

NOME DO ELEMENTO:		P12		ANDAR:		6º Pavimento	
FAMÍLIA DE ELEMENTO:		PILAR DE BORDA		LOCAL:		PILAR BORDA DIREITA FRENTE	
DANOS		Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES	
Carbonatação		3	3	4	60		
Cobrimento deficiente		3	3	1	2,4		
Corrosão de armaduras		5	5	3	40		
Desplacamento		3	3	2	4,8		
Desvio de geometria		4	4	2	6,4		
Efflorescência		2	2	3	16		
Falha de concretagem		3	3	1	2,4		
Fissuras		2 a 5*	3	1	2,4		
Manchas		3	3	3	24		
Umidade na base		3	3	2	4,8		
		D máx:	60	Σ	163,2		
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:				97,94	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA:		SOFRÍVEL

NOME DO ELEMENTO:		P21		ANDAR:		6º Pavimento		
FAMÍLIA DE ELEMENTO:		PILAR DE BORDA		LOCAL:		PILAR BORDA ESQUERDA FUNDOS		
DANOS		Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES		
Carbonatação		3	3	3	4			
Cobrimento deficiente		3	3	3	1			2,4
Corrosão de armaduras		5	5	5	3			40
Desplacamento		3	3	3	3			24
Efflorescência		2	2	2	2			3,2
Falha de concretagem		3	3	3	1			2,4
Fissuras		2 a 5*	3	3	2			4,8
Manchas		3	3	3	2			4,8
Umidade na base		3	3	3	3			24
		D máx:		60	Σ	165,6		
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:				98,26		NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA:		
						SOFRÍVEL		

NOME DO ELEMENTO:		P23		ANDAR:		6º Pavimento	
FAMÍLIA DE ELEMENTO:		PILAR INTERNO		LOCAL:		PILAR INTERNO FUNDOS	
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES		
Carbonatação	3	3	4	60			
Cobrimento deficiente	3	3	1	2,4			
Corrosão de armaduras	5	5	3	40			
Desplacamento	3	3	3	24			
Efflorescência	2	2	2	3,2			
Fissuras	2 a 5*	3	2	4,8			
Manchas	3	3	3	24			
Umidade na base	3	3	3	24			
D máx:		60	Σ	182,4			
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:		100,26		NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA:		CRÍTICO	

CÁLCULO DE LAJES						
NOME DO ELEMENTO:	L1	ANDAR:		1º Pavimento		
FAMÍLIA DE ELEMENTO:	Lajes	LOCAL:		Frente		
Carbonatação	3	3	4	60		
Cobrimento deficiente	3	3	1	2,4		
Corrosão de armaduras	5	5	4	100		
Desplacamento	3	3	4	60		
Eflorescência	2	2	3	16		
Fissuras	2 a 5*	3	3	24		
Manchas	3	3	3	24		
Umidade	3	3	3	24		
D máx:				100		
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:				167,78	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA: CRÍTICO	
NOME DO ELEMENTO:	L2	ANDAR:		1º Pavimento		
FAMÍLIA DE ELEMENTO:	Lajes	LOCAL:		Fundo		
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:		NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA: NÃO AVALIADO				
NOME DO ELEMENTO:	L1	ANDAR:		2º Pavimento		
FAMÍLIA DE ELEMENTO:	Lajes	LOCAL:		Frente		
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES	
Carbonatação	3	3	4	60		
Cobrimento deficiente	3	3	1	2,4		
Corrosão de armaduras	5	5	4	100		
Desplacamento	3	3	4	60		
Eflorescência	2	2	3	16		
Fissuras	2 a 5*	3	3	24		
Manchas	3	3	3	24		
Umidade	3	3	3	24		
D máx:				100		
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:				167,78	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA: CRÍTICO	
NOME DO ELEMENTO:	L2	ANDAR:		2º Pavimento		
FAMÍLIA DE ELEMENTO:	Lajes	LOCAL:		Fundo		
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:		NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA: NÃO AVALIADO				
NOME DO ELEMENTO:	L1	ANDAR:		3º Pavimento		
FAMÍLIA DE ELEMENTO:	Lajes	LOCAL:		Frente		
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES	
Carbonatação	3	3	4	60		
Cobrimento deficiente	3	3	1	2,4		
Corrosão de armaduras	5	5	4	100		
Desplacamento	3	3	3	24		
Eflorescência	2	2	3	16		
Fissuras	2 a 5*	3	3	24		
Manchas	3	3	2	4,8		
Umidade	3	3	2	4,8		
D máx:				100		
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:				157,63	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA: CRÍTICO	
NOME DO ELEMENTO:	L2	ANDAR:		3º Pavimento		
FAMÍLIA DE ELEMENTO:	Lajes	LOCAL:		Fundo		
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES	
Carbonatação	3	3	4	60		
Cobrimento deficiente	3	3	1	2,4		
Corrosão de armaduras	5	5	4	100		
Desplacamento	3	3	2	4,8		
Eflorescência	2	2	2	3,2		
Fissuras	2 a 5*	3	3	24		
Manchas	3	3	3	24		
Umidade	3	3	3	24		
D máx:				100		
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:				158,75	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA: CRÍTICO	

NOME DO ELEMENTO:	L1	ANDAR:	4º Pavimento
FAMÍLIA DE ELEMENTO:	Lajes	LOCAL:	Frente
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi D
Carbonatação	3	3	4 60
Cobrimento deficiente	3	3	1 2,4
Corrosão de armaduras	5	5	4 100
Desplacamento	3	3	3 24
Eflorescência	2	2	3 16
Fissuras	2 a 5*	3	3 24
Manchas	3	3	3 24
Umidade	3	3	3 24
D máx:	100	Σ	274,4
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:		163,56	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA: CRÍTICO



NOME DO ELEMENTO:	L2	ANDAR:	4º Pavimento
FAMÍLIA DE ELEMENTO:	Lajes	LOCAL:	Fundo
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi D
Carbonatação	3	3	4 60
Cobrimento deficiente	3	3	1 2,4
Corrosão de armaduras	5	5	4 100
Desplacamento	3	3	3 24
Eflorescência	2	2	3 16
Fissuras	2 a 5*	3	3 24
Manchas	3	3	3 24
Umidade	3	3	3 24
D máx:	100	Σ	274,4
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:		163,56	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA: CRÍTICO



NOME DO ELEMENTO:	L1	ANDAR:	5º Pavimento
FAMÍLIA DE ELEMENTO:	Lajes	LOCAL:	Frente
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi D
Carbonatação	3	3	4 60
Cobrimento deficiente	3	3	1 2,4
Corrosão de armaduras	5	5	4 100
Desplacamento	3	3	3 24
Eflorescência	2	2	3 16
Fissuras	2 a 5*	3	3 24
Manchas	3	3	3 24
Umidade	3	3	3 24
D máx:	100	Σ	274,4
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:		163,56	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA: CRÍTICO



NOME DO ELEMENTO:	L2	ANDAR:	5º Pavimento
FAMÍLIA DE ELEMENTO:	Lajes	LOCAL:	Fundo
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi D
Carbonatação	3	3	4 60
Cobrimento deficiente	3	3	1 2,4
Corrosão de armaduras	5	5	4 100
Desplacamento	3	3	3 24
Eflorescência	2	2	3 16
Fissuras	2 a 5*	3	3 24
Manchas	3	3	3 24
Umidade	3	3	3 24
D máx:	100	Σ	274,4
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:		163,56	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA: CRÍTICO



NOME DO ELEMENTO:	L1	ANDAR:	6º Pavimento
FAMÍLIA DE ELEMENTO:	Lajes	LOCAL:	Frente
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi D
Carbonatação	3	3	4 60
Cobrimento deficiente	3	3	2 4,8
Desagregação	3	3	4 60
Corrosão de armaduras	5	5	4 100
Desplacamento	3	3	3 24
Eflorescência	2	2	3 16
Fissuras	2 a 5*	3	3 24
Manchas	3	3	3 24
Umidade	3	3	3 24
D máx:	100	Σ	336,8
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:		170,31	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA: CRÍTICO



NOME DO ELEMENTO:		L2		ANDAR: 6º Pavimento	
FAMÍLIA DE ELEMENTO:		Lajes		LOCAL: Fundo	
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES
Carbonatação	3	3	4	60	
Cobrimento deficiente	3	3	1	2,4	
Desagregação	3	3	3	24	
Corrosão de armaduras	5	5	4	100	
Desplacamento	3	3	3	24	
Eflorescência	2	2	3	16	
Fissuras	2 a 5*	3	3	24	
Manchas	3	3	3	24	
Umidade	3	3	3	24	
D máx:		100	Σ	298,4	
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:		166,49		NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA: CRÍTICO	

CÁLCULO DE VIGAS

NOME DO ELEMENTO:		V30 (1)		ANDAR:		1º Pavimento	
FAMÍLIA DE ELEMENTO:		Viga Principal		LOCAL:		Transversal na Escadaria	
DANOS		Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES	
Carbonatação		3	3	3	24		
Cobrimento deficiente		3	3	1	2,4		
Corrosão de armaduras		5	5	2	8		
Desagregação		3	3	2	4,8		
Desplacamento		3	3	2	4,8		
Eflorescência		2	2	2	3,2		
Falha de concretagem		2	2	2	3,2		
Fissuras		2 a 5	4	2	6,4		
Infiltração De Água		3	3	1	2,4		
Manchas		3	3	2	4,8		
D máx:		24		Σ	64		
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:				39,00	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA:		MÉDIO

NOME DO ELEMENTO:	V6		ANDAR:		1º Pavimento	
FAMÍLIA DE ELEMENTO:	Viga Principal		LOCAL:		Longitudinal na lateral esquerda do prédio	
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES	
Carbonatação	3	3	3	24		
Cobrimento deficiente	3	3	2	4,8		
Corrosão de armaduras	5	5	3	40		
Desagregação	3	3	3	24		
Desplacamento	3	3	2	4,8		
Eflorescencia	2	2	3	16		
Falha de concretagem	2	2	3	16		
Fissuras	2 a 5	4	2	6,4		
Infiltração De Água	3	3	4	60		
Manchas	3	3	4	60		
D máx:	60		Σ	256		
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:			105,94	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA:		CRÍTICO

NOME DO ELEMENTO:	V20 (1)		ANDAR:		1º Pavimento		
FAMÍLIA DE ELEMENTO:	Viga Principal		LOCAL:		Longitudinal lado direito fundos		
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES		
Carbonatação	3	3	3	24			
Cobrimento deficiente	3	3	1	2,4			
Corrosão de armaduras	5	5	2	8			
Desagregação	3	3	2	4,8			
Desplacamento	3	3	2	4,8			
Eflorescencia	2	2	2	3,2			
Falha de concretagem	2	2	2	3,2			
Fissuras	2 a 5		4	2			6,4
Infiltração De Agua	3	3	1	2,4			
Manchas	3	3	2	4,8			
D máx:	24		Σ	64			
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:			39,00	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA:		MÉDIO	

NOME DO ELEMENTO:	VP1		ANDAR:	1º Pavimento	
FAMÍLIA DE ELEMENTO:	Viga Principal		LOCAL:	Transversal proximo elevador lado esquerdo frente	
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES
Carbonatação	3	3	3	24	
Cobrimento deficiente	3	3	3	24	
Corrosão de armaduras	5	5	3	40	
Desagregação	3	3	3	24	
Desplacamento	3	3	3	24	
Eflorescência	2	2	3	16	
Falha de concretagem	2	2	3	16	
Fissuras	2 a 5	4	2	6,4	
Infiltração De Água	3	3	1	2,4	
Manchas	3	3	2	4,8	
D máx:	40		Σ	181,6	
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:			71,19		NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA: ALTO

NOME DO ELEMENTO:	V9		ANDAR:	1º Pavimento	
FAMÍLIA DE ELEMENTO:	Viga Principal		LOCAL:	Longitudinal lado direito frente	
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES
Carbonatação	3	3	3	24	
Cobrimento deficiente	3	3	2	4,8	
Corrosão de armaduras	5	5	2	8	
Desagregação	3	3	2	4,8	
Desplacamento	3	3	2	4,8	
Eflorescência	2	2	2	3,2	
Falha de concretagem	2	2	1	1,6	
Fissuras	2 a 5	4	2	6,4	
Infiltração De Água	3	3	2	4,8	
Manchas	3	3	2	4,8	
D máx:	24		Σ	67,2	
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:			39,43		NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA: MÉDIA

NOME DO ELEMENTO:	V24(1)		ANDAR:	1º Pavimento	
FAMÍLIA DE ELEMENTO:	Viga Principal		LOCAL:	Transversal lado direito frente	
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES
Carbonatação	3	3	3	24	
Cobrimento deficiente	3	3	2	4,8	
Corrosão de armaduras	5	5	2	8	
Desagregação	3	3	2	4,8	
Desplacamento	3	3	2	4,8	
Eflorescência	2	2	2	3,2	
Falha de concretagem	2	2	1	1,6	
Fissuras	2 a 5	4	2	6,4	
Infiltração De Água	3	3	2	4,8	
Manchas	3	3	2	4,8	
D máx:	24		Σ	67,2	
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:			39,43		NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA: MÉDIA

NOME DO ELEMENTO:	V23		ANDAR:	1º Pavimento	
FAMÍLIA DE ELEMENTO:	Viga Principal		LOCAL:	Transversal borda frente	
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES
Carbonatação	3	3	3	24	
Cobrimento deficiente	3	3	2	4,8	
Corrosão de armaduras	5	5	3	40	
Desagregação	3	3	3	24	
Desplacamento	3	3	2	4,8	
Eflorescência	2	2	3	16	
Falha de concretagem	2	2	2	3,2	
Fissuras	2 a 5	4	3	32	
Infiltração De Água	3	3	2	4,8	
Manchas	3	3	2	4,8	
D máx:	40		Σ	158,4	
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:			69,90		NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA: ALTO

NOME DO ELEMENTO:		V17 (2)		ANDAR: 2º Pavimento		
FAMÍLIA DE ELEMENTO:		Viga Principal		LOCAL: Longitudinal lado direito frente		
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES	
Carbonatação	3	3	3	24		
Cobrimento deficiente	3	3	3	24		
Corrosão de armaduras	5	5	3	40		
Desagregação	3	3	3	24		
Desplacamento	3	3	3	24		
Eflorescencia	2	2	4	40		
Falha de concretagem	2	2	3	16		
Fissuras	2 a 5		4	2		6,4
Infiltração De Agua	3	3	2	4,8		
Manchas	3	3	3	24		
D máx:	40		Σ	227,2		
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:			72,96	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA: ALTO		

NOME DO ELEMENTO:		V24 (2)		ANDAR: 2º Pavimento		
FAMÍLIA DE ELEMENTO:		Viga Principal		LOCAL: Perpendicular ao elevador frente		
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES	
Carbonatação	3	3	3	24		
Cobrimento deficiente	3	3	1	2,4		
Corrosão de armaduras	5	5	2	8		
Desagregação	3	3	2	4,8		
Desplacamento	3	3	2	4,8		
Eflorescencia	2	2	1	1,6		
Falha de concretagem	2	2	1	1,6		
Fissuras	2 a 5		4	2		
Infiltração De Agua	3	3	1	2,4		
Manchas	3	3	2	4,8		
D máx:	24		Σ	60,8		
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:			38,53	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA: MÉDIO		

NOME DO ELEMENTO:		V30 (2)		ANDAR: 2º Pavimento	
FAMÍLIA DE ELEMENTO:		Viga Principal		LOCAL: Perpendicular a escadaria	
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES
Carbonatação	3	3	3	24	
Cobrimento deficiente	3	3	1	2,4	
Corrosão de armaduras	5	5	2	8	
Desagregação	3	3	2	4,8	
Desplacamento	3	3	2	4,8	
Eflorescencia	2	2	1	1,6	
Falha de concretagem	2	2	1	1,6	
Fissuras	2 a 5		4	6,4	
Infiltração De Agua	3	3	1	2,4	
Manchas	3	3	2	4,8	
D máx:	24		Σ	60,8	
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:			38,53	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA: MÉDIO	

NOME DO ELEMENTO:		V10		ANDAR: 3º Pavimento		
FAMÍLIA DE ELEMENTO:		Viga Principal		LOCAL: Longitudinal paralelo ao elevador		
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES	
Carbonatação	3	3	3	24		
Cobrimento deficiente	3	3	3	24		
Corrosão de armaduras	5	5	3	40		
Desagregação	3	3	2	4,8		
Desplacamento	3	3	2	4,8		
Eflorescência	2	2	2	3,2		
Falha de concretagem	2	2	2	3,2		
Fissuras	2 a 5		4	2		6,4
Infiltração De Água	3	3	1	2,4		
Manchas	3	3	2	4,8		
D máx:	40		Σ	117,6		
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:			66,39	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA: ALTO		

NOME DO ELEMENTO:		V30 (3)		ANDAR:		3º Pavimento	
FAMÍLIA DE ELEMENTO:		Viga Principal		LOCAL:		Transversal perpendicular a escadaria	
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES		
Carbonatação	3	3	3	24			
Cobrimento deficiente	3	3	2	4,8			
Corrosão de armaduras	5	5	2	8			
Desagregação	3	3	2	4,8			
Fissuras	2 a 5	4	2	6,4			
Infiltração De Água	3	3	1	2,4			
Manchas	3	3	2	4,8			
D máx:	24		Σ	55,2			
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:				37,57	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA:		MÉDIO

NOME DO ELEMENTO:		V19		ANDAR:		3º Pavimento	
FAMÍLIA DE ELEMENTO:		Viga Principal		LOCAL:		Longitudinal lateral direita	
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES		
Carbonatação	3	3	3	24			
Cobrimento deficiente	3	3	1	2,4			
Corrosão de armaduras	5	5	2	8			
Eflorescência	2	2	2	3,2			
Falha de concretagem	2	2	2	3,2			
Fissuras	2 a 3	4	2	6,4			
Infiltração De Água	3	3	1	2,4			
Manchas	3	3	2	4,8			
D máx:	24		Σ	54,4			
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:				37,41	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA:		MÉDIO

NOME DO ELEMENTO:		V32 (3)		ANDAR:	3º Pavimento	
FAMÍLIA DE ELEMENTO:		Viga Secundaria		LOCAL:	Transversal lado direito perpendicular escadaria	
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES	
Carbonatação		3	3	3	24	
Cobrimento deficiente		3	3	1	2,4	
Corrosão de armaduras		5	5	2	8	
Eflorescência		2	2	2	3,2	
Fissuras	2 a 5		4	2	6,4	
D máx:	24			Σ	44	
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:				34,91	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA: MÉDIO	

NOME DO ELEMENTO:	V18		ANDAR:	3º Pavimento	
FAMÍLIA DE ELEMENTO:	Viga Principal		LOCAL:	Longitudinal lateral direito paralelo as sacadas	
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES
Carbonatação	3	3	3	24	
Cobrimento deficiente	3	3	2	4,8	
Corrosão de armaduras	5	5	2	8	
Desagregação	3	3	3	24	
Desplacamento	3	3	2	4,8	
Eflorescência	2	2	2	3,2	
Falha de concretagem	2	2	1	1,6	
Fissuras	2 a 5	4	2	6,4	
Infiltração De Água	3	3	2	4,8	
Manchas	3	3	3	24	
D máx:	24		Σ	105,6	
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:			42,55	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA: MÉDIO	

NOME DO ELEMENTO:		V34 (4)		ANDAR:		4º Pavimento	
FAMÍLIA DE ELEMENTO:		Viga Principal		LOCAL:		Transversal lado direito fundo	
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES		
Carbonatação	3	3	3	24			
Cobrimento deficiente	3	3	1	2,4			
Corrosão de armaduras	5	5	2	8			
Desagregação	3	3	2	4,8			
Desplacamento	3	3	2	4,8			
Eflorescência	2	2	3	16			
Falha de concretagem	2	2	2	3,2			
Fissuras	2 a 5	4	3	32			
Infiltração De Água	3	3	2	4,8			
Manchas	3	3	3	24			
D máx:	32		Σ	124			
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:				55,74	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA:		ALTA

NOME DO ELEMENTO:	V35	ANDAR:	4º Pavimento			
FAMÍLIA DE ELEMENTO:	Viga Principal	LOCAL:	Transversal lado direito fundo			
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES	
Carbonatação	3	3	3	24		
Cobrimento deficiente	3	3	1	2,4		
Corrosão de armaduras	5	5	2	8		
Desagregação	3	3	2	4,8		
Desplacamento	3	3	2	4,8		
Eflorescencia	2	2	3	16		
Falha de concretagem	2	2	2	3,2		
Fissuras	2 a 5		4	2		6,4
Infiltração De Água	3	3	2	4,8		
Manchas	3	3	3	24		
D máx:	24		Σ	98,4		
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:		42,15	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA:		MÉDIO	

NOME DO ELEMENTO:	V21	ANDAR:	4º Pavimento		
FAMÍLIA DE ELEMENTO:	Viga Principal	LOCAL:	Longitudinal lado direito fundo		
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES
Carbonatação	3	3	3	24	
Cobrimento deficiente	3	3	2	4,8	
Corrosão de armaduras	5	5	3	40	
Desagregação	3	3	3	24	
Deslocamento	3	3	2	4,8	
Eflorescência	2	2	3	16	
Falha de concretagem	2	2	2	3,2	
Fissuras	2 a 5	4	3	32	
Infiltração De Água	3	3	3	24	
Manchas	3	3	4	60	
D máx:	60		Σ	232,8	
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:			104,54	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA:	CRÍTICO

NOME DO ELEMENTO:	V34 (6)	ANDAR:	6º Pavimento		
FAMÍLIA DE ELEMENTO:	Viga Principal	LOCAL:	Perpendicular a escadaria lado direito		
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES
Carbonatação	3	3	3	24	
Cobrimento deficiente	3	3	2	4,8	
Corrosão de armaduras	5	5	3	40	
Desagregação	3	3	3	24	
Desplacamento	3	3	3	24	
Eflorescência	2	2	3	16	
Falha de concretagem	2	2	3	16	
Fissuras	2 a 5		4	32	
Infiltração De Água	3	3	4	60	
Manchas	3	3	4	60	
D máx:	60		Σ	300,8	
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:			108,03	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA:	CRÍTICO

NOME DO ELEMENTO:	V30 (6)		ANDAR:		6º Pavimento		
FAMÍLIA DE ELEMENTO:	Viga Principal		LOCAL:		Perpendicular a escadaria central		
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES		
Carbonatação	3	3	3	24			
Cobrimento deficiente	3	3	2	4,8			
Corrosão de armaduras	5	5	3	40			
Desagregação	3	3	3	24			
Desplacamento	3	3	3	24			
Eflorescencia	2	2	3	16			
Falha de concretagem	2	2	3	16			
Fissuras	2 a 5		4	3			32
Infiltração De Água	3	3	4	60			
Manchas	3	3	4	60			
D máx:	60		Σ	300,8			
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:			108,03	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA:		CRÍTICO	

NOME DO ELEMENTO:	V31		ANDAR:	6º Pavimento	
FAMÍLIA DE ELEMENTO:	Viga Principal		LOCAL:	Perpendicular escadaria lado esquerdo	
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES
Carbonatação	3	3	3	24	
Cobrimento deficiente	3	3	2	4,8	
Corrosão de armaduras	5	5	3	40	
Desagregação	3	3	3	24	
Desplacamento	3	3	3	24	
Eflorescência	2	2	3	16	
Falha de concretagem	2	2	3	16	
Fissuras	2 a 5	4	2	6,4	
Infiltração De Água	3	3	4	60	
Manchas	3	3	4	60	
D máx:	60		Σ	275,2	
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:			106,92		NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA: CRÍTICO

NOME DO ELEMENTO:		V33		ANDAR:		6º Pavimento	
FAMÍLIA DE ELEMENTO:		Viga Principal		LOCAL:		Transversal elevador fundos	
DANOS		Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES	
Carbonatação		3	3	3	24		
Cobrimento deficiente		3	3	2	4,8		
Corrosão de armaduras		5	5	2	8		
Desagregação		3	3	2	4,8		
Desplacamento		3	3	2	4,8		
Eflorescência		2	2	3	16		
Falha de concretagem		2	2	3	16		
Fissuras	2 a 5		4	3	32		
Infiltração De Água		3	3	3	24		
Manchas		3	3	3	24		
D máx:		32		Σ	158,4		
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:			57,54	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA:		ALTO	

NOME DO ELEMENTO:	V8		ANDAR:	6º Pavimento		
FAMÍLIA DE ELEMENTO:	Viga Principal		LOCAL:	Longitudinal lado direito frente		
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES	
Carbonatação	3	3	3	24		
Cobrimento deficiente	3	3	2	4,8		
Corrosão de armaduras	5	5	2	8		
Desagregação	3	3	2	4,8		
Desplacamento	3	3	2	4,8		
Eflorescência	2	2	1	1,6		
Falha de concretagem	2	2	1	1,6		
Fissuras	2 a 5		4	2		6,4
D máx:	24		Σ	56		
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:			37,71	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA:	MÉDIO	

NOME DO ELEMENTO:	V20 (6)		ANDAR:	6º Pavimento	
FAMÍLIA DE ELEMENTO:	Viga Principal		LOCAL:	Transversal lado direito fundo	
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES
Carbonatação	3	3	3	24	
Cobrimento deficiente	3	3	2	4,8	
Corrosão de armaduras	5	5	2	8	
Desagregação	3	3	3	24	
Desplacamento	3	3	2	4,8	
Eflorescência	2	2	3	16	
Falha de concretagem	2	2	2	3,2	
Fissuras	2 a 5	4	2	6,4	
Infiltração De Água	3	3	2	4,8	
Manchas	3	3	3	24	
D máx:	24		Σ	120	
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:			43,20		NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA: MÉDIO

NOME DO ELEMENTO:	V12	ANDAR:	6º Pavimento		
FAMÍLIA DE ELEMENTO:	Viga Principal	LOCAL:	longitudinal central paralela a escadaria		
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES
Carbonatação	3	3	3	24	
Cobrimento deficiente	3	3	2	4,8	
Corrosão de armaduras	5	5	3	40	
Desagregação	3	3	4	60	
Deslocamento	3	3	3	24	
Eflorescencia	2	2	2	3,2	
Falha de concretagem	2	2	3	16	
Fissuras	2 a 5	4	3	32	
Infiltração De Agua	3	3	2	4,8	
Manchas	3	3	3	24	
D máx:	60		Σ	232,8	
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:		104,54	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA:	CRÍTICO	

NOME DO ELEMENTO:		V32 (6)		ANDAR:		6º Pavimento	
FAMÍLIA DE ELEMENTO:		Viga Principal		LOCAL:		Transversal lado direito fundo	
DANOS		Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES	
Carbonatação		3	3	3	24		
Cobrimento deficiente		3	3	2	4,8		
Corrosão de armaduras		5	5	2	8		
Desagregação		3	3	3	24		
Desplacamento		3	3	2	4,8		
Eflorescência		2	2	3	16		
Falha de concretagem		2	2	2	3,2		
Fissuras		2 a 5	4	3	32		
Infiltração De Água		3	3	2	4,8		
Manchas		3	3	4	60		
D máx:		60		Σ	181,6		
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:			100,18	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA:		CRÍTICO	

NOME DO ELEMENTO:	V13	ANDAR:	6º Pavimento		
FAMÍLIA DE ELEMENTO:	Viga Principal	LOCAL:	Longitudinal central fundo		
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES
Carbonatação	3	3	3	24	
Cobrimento deficiente	3	3	2	4,8	
Corrosão de armaduras	5	5	3	40	
Desagregação	3	3	2	4,8	
Desplacamento	3	3	2	4,8	
Eflorescencia	2	2	1	1,6	
Falha de concretagem	2	2	1	1,6	
Fissuras	2 a 5	4	3	32	
Infiltração De Agua	3	3	1	2,4	
Manchas	3	3	2	4,8	
D máx:	40		Σ	120,8	
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:			66,75	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA:	ALTO

NOME DO ELEMENTO:		V17 (6)		ANDAR:		6º Pavimento	
FAMÍLIA DE ELEMENTO:		Viga Principal		LOCAL:		Longitudinal lado direito frente	
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES		
Carbonatação	3	3	3	24			
Cobrimento deficiente	3	3	2	4,8			
Corrosão de armaduras	5	5	2	8			
Desagregação	3	3	3	24			
Desplacamento	3	3	3	24			
Eflorescência	2	2	2	3,2			
Falha de concretagem	2	2	2	3,2			
Fissuras	2 a 5	4	3	32			
Infiltração De Água	3	3	3	24			
Manchas	3	3	4	60			
D máx:	60		Σ	207,2			
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:			102,63	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA:		CRÍTICO	

CÁLCULO DE ESCADAS/RAMPAS

NOME DO ELEMENTO:	E1		ANDAR:	1º ao 2º pavimento	
FAMÍLIA DE ELEMENTO:	Escada/ Rampa		LOCAL:	Interno	
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES
Carbonatação	3	3	3	24	
Cobrimento deficiente	3	3	2	4,8	
Corrosão de armaduras	5	5	2	8	
Desagregação	3	3	3	24	
Desplacamento	3	3	3	24	
Eflorescencia	2	2	3	16	
Falha de concretagem	3	3	2	4,8	
Fissuras	2 a 5	4	2	6,4	
Infiltração De Água	3	3	4	60	
Manchas	3	3	4	60	
D máx:	60	m:	Σ	232	
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:			104,48	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA: CRÍTICO	

NOME DO ELEMENTO:	E2		ANDAR: 1º ao 2º pavimento			
FAMÍLIA DE ELEMENTO:	Escada/ Rampa		LOCAL: Externo			
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES 	
Carbonatação	3	3	3	24		
Cobrimento deficiente	3	3	2	4,8		
Corrosão de armaduras	5	5	2	8		
Desagregação	3	3	3	24		
Desplacamento	3	3	2	4,8		
Eflorescencia	2	2	2	3,2		
Falha de concretagem	3	3	2	4,8		
Fissuras	2 a 5		4	2		6,4
Infiltração De Água	3	3	4	60		
Manchas	3	3	2	4,8		
D máx:	60	m:	Σ	144,8		
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:			95,14	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA: SOFRÍVEL		

NOME DO ELEMENTO:		E3		ANDAR:		4º ao 5º pavimento	
FAMÍLIA DE ELEMENTO:		Escada/ Rampa		LOCAL:		Interno	
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES		
Carbonatação	3	3	3	24			
Cobrimento deficiente	3	3	2	4,8			
Corrosão de armaduras	5	5	3	40			
Desagregação	3	3	3	24			
Desplacamento	3	3	3	24			
Eflorescência	2	2	2	3,2			
Falha de concretagem	3	3	2	4,8			
Fissuras	2 a 5	4	3	32			
Infiltração De Água	3	3	2	4,8			
Manchas	3	3	2	4,8			
D máx:	40	m:	Σ	166,4			
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:				70,38	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA:		ALTO

NOME DO ELEMENTO:		E4		ANDAR: 5º ao 6º pavimento	
FAMÍLIA DE ELEMENTO:		Escada/ Rampa		LOCAL: Interno	
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES
Carbonatação	3	3	3	24	
Cobrimento deficiente	3	3	3	24	
Corrosão de armaduras	5	5	3	40	
Desagregação	3	3	3	24	
Desplacamento	3	3	3	24	
Eflorescência	2	2	3	16	
Falha de concretagem	3	3	3	24	
Fissuras	2 a 5	4	2	6,4	
Infiltração De Água	3	3	4	60	
Manchas	3	3	3	24	
D máx:	60	m:	Σ	266,4	
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:		106,49		NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA: CRÍTICO	

NOME DO ELEMENTO:	R1		ANDAR:		1º ao 2º pavimento	
FAMÍLIA DE ELEMENTO:	Escada/ Rampa		LOCAL:		Interno	
DANOS	Fp autor	Fp adotado	Fi	D	FOTO / OBSERVAÇÕES	
Carbonatação	3	3	3	24		
Cobrimento deficiente	3	3	3	24		
Corrosão de armaduras	5	5	3	40		
Desagregação	3	3	2	4,8		
Desplacamento	3	3	2	4,8		
Eflorescência	2	2	3	16		
Falha de concretagem	3	3	2	4,8		
Fissuras	2 a 5	4	3	32		
Infiltração De Água	3	3	3	24		
Manchas	3	3	3	24		
D máx:	40	m:	Σ	198,4		
GRAU DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO:			71,94	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DA PEÇA:		CRÍTICO