

UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO  
PRO-REITORIA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**AVALIAÇÃO DE ESTRUTURAS DE EDIFÍCIOS EM CONCRETO  
ARMADO COM VISTAS À REABILITAÇÃO**

JACKLINE DE ASSIS LOPES SANTOS OLIVEIRA

Recife  
2008

JACKLINE DE ASSIS LOPES SANTOS OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DE ESTRUTURAS DE EDIFÍCIOS EM CONCRETO ARMADO  
COM VISTAS À REABILITAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Católica de Pernambuco como requisito parcial, exigido pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil, na área de Concentração em Engenharia das Construções, orientada pelos professores Eliana Cristina Barreto Monteiro e Romilde Almeida de Oliveira.

Recife  
2008

O48a

Oliveira, Jackline de Assis Lopes Santos

A avaliação de estruturas de edifícios em concreto armado com vistas à reabilitação / Jackline de Assis Lopes Santos Oliveira ; orientador Eliana Cristina Barreto Monteiro ; co-orientador Romilde Almeida de Oliveira.

113 f. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Católica de Pernambuco. Pró-reitoria de Ensino, Pesquisa e Extensão. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, 2008.

1. Construção civil – Inspeção. 2. Construção de concreto armado – Manutenção e reparos . 3. Edifícios – proteção. I. Título.

CDU 69.059.2

**UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO**  
**PRÓ-REITORIA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO – PROESPE**  
**MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL**

**JACKLINE DE ASSIS LOPES SANTOS OLIVEIRA**

**AVALIAÇÃO DE ESTRUTURAS DE EDIFÍCIOS EM CONCRETO**  
**ARMADO COM VISTAS À REABILITAÇÃO**

Banca Examinadora:

---

Professor Dr. André Tavares da Cunha Guimarães  
Examinador Externo – FURG

---

Professor Dr. José Orlando Vieira Filho  
Examinador Interno

---

Professora Dra. Eliana Cristina Barreto Monteiro  
Orientadora

**Aprovada em 27 de Março de 2008**

## DEDICATÓRIA

À Deus, pela oportunidade da vida.

Ao meu pai, pelo esforço e dedicação.

Ao meu esposo, pelo amor e companheirismo de quem esteve sempre ao meu lado durante a realização deste trabalho.

## AGRADECIMENTOS

Aos PROFESSORES, Eliana Cristina Barreto Monteiro e Romilde Almeida de Oliveira, meus orientadores, pelo incentivo.

Aos PROFESSORES do Mestrado em Engenharia Civil, Maria da Graça X. V. Ferreira, Antônio Oscar Cavalcanti, Valdemir Alexandre dos Santos, Paulo Roberto do Lago Helene, Arnaldo Cardim Carvalho Filho e Robson Pequeno de Sousa, pelo ensino.

Aos PROFESSORES Sérgio do Rêgo Barros Machado Dias e Cláudio S Mota, pela recomendação ao Mestrado e amizade.

Ainda ao PROFESSOR Cláudio Mota, pela assessoria ao longo da pesquisa.

Ao PROFESSOR José de Melo, pelo suporte em estatística no decorrer de todo o curso.

Aos colegas de mestrado, Carlos Alberto, Gilberto, Elilde, Fuad, Genilson, Fred, Geovani, Mauro, e em especial Ariosto e Mônica, pela amizade, solidariedade e colaboração.

Ao amigo Flávio Augusto pela cooperação na realização dos ensaios.

Ao meu irmão Fábio de Assis, pela orientação no desenvolver da pesquisa.

A Rosely de Fátima, amiga de longa data, cujo apoio constante tornou possível à realização deste trabalho.

Aos meus pais Francisco e Lourdes (in memoriam), exemplos de integridade, perseverança e amor.

Ao meu querido filho a razão todo esse esforço.

E finalmente ao meu esposo Bartolomeu pela força e compreensão.

TODA CRISE É FONTE SUBLIME DE ESPÍRITO RENOVADOR PARA OS QUE SABEM TER ESPERANÇA. EU CREIO QUE NÓS, COMO POVO, FÔSSEMOS EDUCADOS PARA A TOLERÂNCIA RECÍPROCA, PARA O RESPEITO À AUTORIDADE, PARA O TRABALHO PERSISTENTE, SEM CONFLITOS ENTRE EMPRESÁRIOS E TRABALHADORES, SE NÓS TODOS NOS UNÍSSEMOS PARA COMPREENDER AS NECESSIDADES DESSES VALORES ESPIRITUAIS NA VIDA DE CADA UM OU DE CADA GRUPO SOCIAL, NÓS TERÍAMOS UM PAÍS EXTREMAMENTE VENTUROSO.

EMMANUEL – PSICOGRAFADO POR FRANCISCO CÂNDIDO XAVIER

**TÍTULO: AVALIAÇÃO DE ESTRUTURAS DE EDIFÍCIOS EM CONCRETO ARMADO COM VISTAS À REABILITAÇÃO****RESUMO**

Com o crescente número de ocorrências patológicas encontradas nas estruturas de concreto armado, conforme levantamento de danos realizado por Dal Molin, 1988; Andrade, 1997, cresce também a demanda por serviços de inspeção e manutenção nos condomínios residenciais no Estado de Pernambuco e em todo o País.

Entretanto, é possível observar que a prática de inspeções periódicas ainda não faz parte da cultura de uma determinada faixa da população, que não possui meios econômicos, e conhecimento da importância da manutenção para garantir a integridade da estrutura.

Estas inspeções visam detectar danos à estrutura em tempo hábil a minorar os custos de reparo, aplicando assim uma manutenção preventiva como forma de garantir a vida útil estimada em projeto para a edificação.

Foi utilizado neste trabalho um roteiro de inspeção com utilização de ensaios e metodologia de quantificação de danos, para verificar o estado de degradação de três edifícios residenciais, com mais de vinte anos de construídos e próximos à orla marítima onde a agressividade ambiental é forte.

A deterioração encontrada em cada um dos edifícios foi devido à intervenção inadequada realizada em cada prédio. A última intervenção realizada na Edificação A, foi corretiva executada por mão de obra não qualificada orientada pelo próprio condomínio, que não tem conhecimento técnico na área de engenharia civil. Na edificação B, a situação é semelhante, agravada pela opinião de alguns condôminos de que não há necessidade desta rotina, mesmo a estrutura estando em estado crítico, conforme confirmado com a aplicação da metodologia ora proposta. E para a edificação C, na ocasião da pesquisa, existia uma empresa de engenharia civil executando os serviços de manutenção, porém isto se deve, de forma pontual, a gestão atual do condomínio.

**PALAVRAS-CHAVE:** patologia, inspeção, manutenção, durabilidade, vida útil.

**TITLE: AN EVALUATION OF THE REHABILITATION OF REINFORCED  
CONCRETE BUILDING STRUCTURES**

**ABSTRACT**

With the growing number of serious problems found in the reinforced concrete structures, according to the research on damage done by Dal Molin in 1998 and Andrade 1997, there has been a growing demand for inspections and the maintenance of residential buildings both in Pernambuco and country as a whole.

However, it is possible to observe that the practice of periodical inspections is still not part of the culture of a specific section of the population, who don't have the financial means nor a knowledge of the importance of maintenance as a guarantor of the building's safety.

These inspections aim to detect structural faults in time to minimize repair costs. Preventative maintenance is meant to guarantee the useful life of the building.

In this study, there was an inspection schedule using tests and a methodology to measure damage, to check the state of direpair of three residential buildings, all more than 20 years old, all on the coast where the environmental effects are strong.

The deterioration found in each of these buildings was due to inadequate preventative measures. The last action taken in Building A was undertaken by unqualified labourers directed by the condominium with no technical knowledge in the area of the civil engineering. In Building B, the situation is similar, worsened by the opinion of several residents who think that there in no need for this kind of inspection. And this even though the building is in a critical state according to the research done. As for Building C, at the time of our research, there was a civil engineering firm performing maintenance services, though this is due to last minute action taken by the present management of the building.

**KEYWORDS:** pathology, inspection, maintenance, durability

**NOTAÇÕES E SÍMBOLOS**

Símbolo	Significado
CO <sub>2</sub>	dióxido de carbono
SO <sub>2</sub>	dióxido de enxofre
H <sub>2</sub> S	gás sulfídrico
Ca(OH) <sub>2</sub>	hidróxido de cálcio
F <sub>p</sub>	fator de ponderação do dano
F <sub>i</sub>	fator de intensidade do dano
D	grau do dano
m	quantidade de danos encontrados no elemento
G <sub>de</sub>	grau de deterioração do elemento
G <sub>df</sub>	grau de deterioração da família de um elemento
n	número de elementos componentes da família
Fr	fator de relevância estrutural da família de elementos
G <sub>d</sub>	grau de deterioração da estrutura
K	número de famílias de elementos presentes na edificação
VUE	vida útil estimada
VUR	vida útil de referência dos componentes

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 2.1 – Incidência das manifestações patológicas na França, segundo Albeige.	28
Figura 2.2 - Fluxograma geral de inspeção, ABECE.	50
Figura 2.3 – Vida útil de estruturas de concreto armado, segundo Castro.	57
Figura 2.4 - Fluxograma da metodologia para o cálculo do Grau de Deterioração da Estrutura.	58
Figura 2.5 - Grau do dano x Fator de intensidade do dano.	63
Figura 3.1 - Intensidade do dano na família de pilar da Edificação A.	77
Figura 3.2 - Intensidade do dano na família de laje da Edificação A.	79
Figura 3.3 - Danos observados na estrutura da Edificação A.	81
Figura 3.4 - Intensidade do dano na família de laje da Edificação B.	90
Figura 3.5 - Danos observados na estrutura da Edificação B.	91
Figura 3.6 - Intensidade do dano no pilar P6 da Edificação C.	96
Figura 3.7 - Danos observados na estrutura da Edificação C.	98
Figura 4.1 - Comparativo do grau do dano entre as edificações vistoriadas.	102

**LISTA DE FOTOS**

Foto 1.1 - Vista superior dos escombros do Ed Areia Branca, PE.	18
Foto 1.2 - Parte da estrutura do Ed Palace II, RJ, que não desabou.	19
Foto 2.1 - Intervenção inadequada.	44
Foto 2.2 - Destacamento de vida de concreto armado com produto de corrosão, ignorado pelos condôminos.	45
Foto 3.1 - Fissura em viga de bordo do Ed A.	73
Foto 3.2 - Ensaio de velocidade do pulso ultra-sônico no P1 do Ed A.	74
Foto 3.3 - Ensaio de esclerometria no P4 do Ed A.	75
Foto 3.4 - Ensaio de profundidade de carbonatação no P20 do Ed A.	76
Foto 3.5 - Destacamento da viga de concreto armado do Ed A.	78
Foto 3.6 - Eflorescência na laje do Ed A.	80
Foto 3.7 - Corrosão da armadura da laje do Ed A.	80
Foto 3.8 - Corrosão de armadura de viga com perda de seção no Ed B.	83
Foto 3.9 - Ensaio de profundidade de carbonatação no P9 do Ed B.	85
Foto 3.10 - Destacamento do pilar com exposição da armadura em processo de corrosão do Ed B.	87
Foto 3.11 - Estribo da viga exposto apresentando corrosão do Ed B.	88
Foto 3.12 - Destacamento da viga do Ed B.	89
Foto 3.13 - Reparo em vigas de bordo do Ed C.	93
Foto 3.14 - Reparo indevido em corrosão da armadura da viga do Ed C.	97

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 2.1 - Incidência de patologias segmentada conforme a origem principal, em pesquisa desenvolvida em países europeus.	28
Tabela 2.2 - Defeitos encontrados em construções.	28
Tabela 2.3 - Classes de agressividade em função das condições de exposição da estrutura ou de suas partes.	29
Tabela 2.4 - Classes de agressividade ambiental.	42
Tabela 2.5 - Classes de agressividade ambiental em função das condições de exposição.	43
Tabela 2.6 - Prazos de garantias na construção civil.	47
Tabela 2.7 - Instalações hidráulicas e sanitárias.	48
Tabela 2.8 - Equipamentos industrializados.	48
Tabela 2.9 - Impermeabilizações.	49
Tabela 2.10 - Critérios de avaliação das medidas de potenciais de corrosão.	53
Tabela 2.11 - Classificação da velocidade do pulso ultra-sônico no concreto.	54
Tabela 2.12 - Classificação dos danos e fatores de intensidade.	60
Tabela 2.13 - Famílias de elementos estruturais, danos e fatores de ponderação.	62
Tabela 2.14 - Classificação da estrutura conforme o Gde.	65
Tabela 2.15 - Classificação da estrutura conforme o Gd.	68
Tabela 2.16 - Prazo máximo de intervenção em função dos níveis de deterioração dos elementos ou da estrutura.	68
Tabela 3.1 - Ensaio de velocidade do pulso ultra-sônico na Edificação A.	73
Tabela 3.2 - Ensaio de esclerometria na Edificação A.	75
Tabela 3.3 - Ensaio de profundidade de carbonatação na Edificação A.	75
Tabela 3.4 - Avaliação dos danos e grau de deterioração do elemento pilar na Edificação A.	77

Tabela 3.5 - Avaliação dos danos e grau de deterioração do elemento viga na Edificação A.	78
Tabela 3.6 - Avaliação dos danos e grau de deterioração do elemento laje na Edificação A.	79
Tabela 3.7 - Grau de deterioração da estrutura da Edificação A.	81
Tabela 3.8 – Valores dos fatores utilizados na Edificação A.	82
Tabela 3.9 - Ensaio de velocidade do pulso ultra-sônico na Edificação B.	84
Tabela 3.10 - Ensaio de esclerometria na Edificação B.	84
Tabela 3.11 - Ensaio de profundidade de carbonatação na Edificação B.	85
Tabela 3.12 - Avaliação dos danos e grau de deterioração do elemento pilar na Edificação B.	86
Tabela 3.13 - Avaliação dos danos e grau de deterioração do elemento viga na Edificação B.	87
Tabela 3.14 - Avaliação dos danos e grau de deterioração do elemento laje na Edificação B.	89
Tabela 3.15 - Avaliação dos danos e grau de deterioração do elemento reservatório na Edificação B.	90
Tabela 3.16 - Grau de deterioração da estrutura da Edificação B.	91
Tabela 3.17 - Valores dos fatores utilizados na Edificação B.	92
Tabela 3.18 - Ensaio de velocidade do pulso ultra-sônico na Edificação C.	93
Tabela 3.19 - Ensaio de esclerometria na Edificação C.	94
Tabela 3.20 - Ensaio de profundidade de carbonatação na Edificação C.	94
Tabela 3.21 - Avaliação dos danos e grau de deterioração do elemento pilar na Edificação C.	95
Tabela 3.22 - Avaliação dos danos e grau de deterioração do elemento viga na Edificação C.	96
Tabela 3.23 - Avaliação dos danos e grau de deterioração do elemento laje na Edificação C.	97

Tabela 3.24 - Grau de deterioração da estrutura da Edificação C.	98
Tabela 3.25 - Valores dos fatores utilizados na Edificação C.	99
Tabela 4.1 - Comparativo do grau do dano entre os edifícios vistoriados.	101

## SUMÁRIO

### CAPÍTULO 1

#### INTRODUÇÃO 18

1.1	IMPORTÂNCIA DO TEMA	18
1.1.1	Manifesto público	20
1.1.2	Manutenção obrigatória	21
1.2	OBETIVO DO TRABALHO	23
1.3	CONTEÚDO DO TRABALHO	24

### CAPÍTULO 2

#### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 25

2.1	CONSIDERAÇÕES SOBRE DURABILIDADE E VIDA ÚTIL	25
2.2	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	27
2.2.1	Origens	29
2.2.1.1	Projeto	29
2.2.1.2	Materiais	30
2.2.1.3	Execução	31
2.2.1.4	Utilização	32
2.3	CORROSÃO DA ARMADURA	33
2.3.1	Corrosão por íons cloreto	34
2.3.2	Corrosão por carbonatação	35
2.4	QUALIDADE DO CONCRETO	36
2.4.1	Dosagem	37
2.4.2	Compacidade	37
2.4.3	Permeabilidade	37
2.4.4	Homogeneidade	38

2.4.5	Adensamento	38
2.4.6	Fissuras	38
2.4.7	Ataque químico	39
2.4.7.1	Ataque por sulfatos	39
2.4.7.2	Ataque por ácidos	40
2.4.7.3	Reação álcali-agregado	40
2.4.7.4	Ataque por água marinha	40
2.4.8	Ataque físico	40
2.4.8.1	Ciclos de congelamento e descongelamento	40
2.4.8.2	Erosão do concreto	41
2.5	ASPECTOS AMBIENTAIS	41
2.6	RESPONSABILIDADE TÉCNICA	43
2.7	MANUAL DE USO E MANUTENÇÃO DAS EDIFICAÇÕES	46
2.8	CHECKLIST ABECE	49
2.8.1	Inspeção preliminar	50
2.8.2	Inspeção detalhada	51
2.8.2.1	Ensaio	51
2.8.2.1.1	Ensaio de esclerometria	52
2.8.2.1.2	Ensaio de potencial de corrosão	53
2.8.2.1.3	Ensaio de velocidade de propagação da onda ultra-sônica	53
2.8.2.1.4	Ensaio extração de testemunho	55
2.8.2.1.5	Ensaio de profundidade de carbonatação	55
2.8.3	Diagnóstico	56
2.8.4	Prognóstico	56
2.8.5	Terapia	56
2.9	METODOLOGIA PARA QUANTIFICAÇÃO DO DANO NA ESTRUTURA	57
2.9.1	Fator de intensidade	59
2.9.2	Fator de ponderação	61
2.9.3	Grau do dano	63
2.9.4	Grau de deterioração de um elemento	64

2.9.5	Grau de deterioração de uma família de elementos	66
2.9.6	Fator de relevância estrutural da família de elementos	67
2.9.7	Grau de deterioração da estrutura	67
2.10	TIPOS DE DANOS E CONCEITUAÇÃO	69
2.10.1	Segregação	69
2.10.2	Eflorescência	69
2.10.3	Desagregação	69
2.10.4	Esfoliação	69
2.10.5	Carbonatação	69
2.10.6	Flechas excessivas	70
2.10.7	Manchas de corrosão	70
2.10.8	Corrosão por cloretos	70
2.10.9	Manchas	70
2.10.10	Infiltração	70

### CAPÍTULO 3

#### PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL E RESULTADOS 71

3.1	PLANEJAMENTO DA PESQUISA	71
3.1.1	Classificação dos ambientes pesquisados	71
3.1.2	Descrição das edificações	71
3.2	PLANEJAMENTO DO EXPERIMENTO E RESULTADOS	72
3.2.1	Caracterização do ambiente	72
3.2.2	Edificação A	72
3.2.2.1	Inspeção visual	72
3.2.2.2	Ensaio realizados	73
3.2.2.3	Quantificação de danos	76
3.2.2.3.1	Grau de deterioração dos elementos da estrutura	76
3.2.2.3.2	Grau de deterioração da estrutura	81
3.2.2.4	Cálculo da vida útil estimada	82
3.2.3	Edificação B	82

3.2.3.1	Inspeção visual	82
3.2.3.2	Ensaios realizados	84
3.2.3.3	Quantificação de danos	86
3.2.3.3.1	Grau de deterioração dos elementos da estrutura	86
3.2.3.3.2	Grau de deterioração da estrutura	91
3.2.3.4	Cálculo da vida útil estimada	92
3.2.4	Edificação C	92
3.2.4.1	Inspeção visual	92
3.2.4.2	Ensaios realizados	93
3.2.4.3	Quantificação de danos	94
3.2.4.3.1	Grau de deterioração dos elementos da estrutura	95
3.2.4.3.2	Grau de deterioração da estrutura	98
3.2.4.4	Cálculo da vida útil estimada	99
 CAPÍTULO 4		
DISCUSSÃO DOS RESULTADOS		100
4.1	INSPEÇÃO VISUAL	100
4.2	ENSAIOS	100
4.3	GRAU DE DETERIORAÇÃO DAS ESTRUTURAS	101
 CAPÍTULO 5		
CONSIDERAÇÕES FINAIS		104
5.1	CONCLUSÕES	104
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	105
 REFERÊNCIAS		106

## CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 IMPORTÂNCIA DO TEMA

É de fácil identificação a falta de preocupação com as estruturas de concreto armado, não só no Estado de Pernambuco, como também no Brasil. Casos como o desmoronamento do Edifício Areia Branca, localizado na região Metropolitana do Recife, ou Palace II, no Estado do Rio de Janeiro, acontecem também em outros Estados e fora do País, e são simplesmente esquecidos pela população com o passar dos anos, mesmo que atinjam grandes proporções.



Foto 1.1 - Vista superior dos escombros do Ed Areia Branca, PE.  
(<http://geraldofreire.uol.com.br/prediopp.html>)



Foto 1.2 - Parte da estrutura do Ed Palace II, que não desabou RJ.  
(<http://veja.abril.com.br/vejarj/070307/imagens/cidade1.jpg>)

As estruturas de concreto armado mesmo as bem projetadas, bem executadas e com a utilização de materiais corretamente especificados, necessitam de manutenção preventiva prevista para atingir a vida útil de projeto, garantida por uma durabilidade com um desempenho acima de um limite mínimo aceitável.

No segundo semestre de 2007, houve o colapso de duas pontes e a interdição de outra, por causa de colapso parcial, em Goiânia/GO. No Estado de Pernambuco, em Goiana, foi a ponte Sérgio Loreto, da década de 20, que teve sua última manutenção a mais de cinco anos, também desabou. E mais uma, em Hunan, na China, que ainda estava em fase de construção. Logo a situação atual exige maior preparo para os profissionais da área e conscientização da população de que as estruturas de concreto não são projetadas para a eternidade.

Na tentativa de aumentar a vida útil destas estruturas, instituições de pesquisa aprofundaram estudos no que diz respeito às reações químicas ocorridas durante a hidratação do cimento, tendo em vista a durabilidade que também está diretamente ligada aos constituintes da mistura (agregados, cimento, aço), a dosagem (relação água/cimento,

uso de aditivos) e a execução deste material (adensamento, cura). Como também um programa de manutenção adequado à estrutura aumentará o período de vida útil, visto que os problemas estruturais encontrados em seu início, terão efeitos e custo de reparo minorado.

### **1.1.1 MANIFESTO PÚBLICO**

A partir de sinistros ocorridos no País e através de debates técnicos, entidades como Instituto Brasileiro do Concreto - IBRACON, Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural - ABECE, Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia - IBAPE e Instituições de Ensino, elaboraram documento intitulado por Manifesto Público, “Lições do Areia Branca – acidentes, responsabilidades e segurança das obras”, que visa reduzir riscos de acidentes, minimizando o desgaste emocional e prolongando a vida útil das estruturas de concreto armado, IBRACON, 2004.

De acordo com o manifesto as fases de projeto, execução e uso/manutenção caracterizam as etapas do processo construtivo de uma edificação. Onde para as três primeiras já existe conscientização da importância entre o meio técnico e a população, apesar de em algumas situações, estas etapas ainda não alcançarem nível de qualidade, como mostra, o início da pesquisa, os índices de defeitos relacionados a estas etapas. E quanto à fase uso/manutenção tem ficado a critério dos condomínios, que pela falta de conhecimento não faz, ou pior, contrata mão de obra não qualificada que através de técnica inadequada pode comprometer a segurança e funcionamento estrutural da edificação.

Ficou proposto no debate iniciativas que englobam as edificações existentes, no âmbito de inspeções periódicas, realizadas por profissionais habilitados, elaborando laudo técnico, diagnosticando a estrutura e orientando quanto às intervenções necessárias. E quanto a rotina destas inspeções, caberá a Prefeitura Municipal e Órgãos Públicos estimular a prática através de desconto em impostos ou multas.

Outro ponto discutido no debate foi a certificação da mão de obra, que deverá ser reciclada periodicamente, em seus conhecimentos, e caberá a fiscalização do Sindicato da Construção Civil e CREA, a punição ao empregador que não cumprir a legislação atuante.

Para o ensino de engenharia e arquitetura, também houve considerações no âmbito da introdução de disciplinas relacionadas com segurança, vida útil, patologia, terapia das estruturas, ética profissional, e atualização dos professores na área de fundação, estruturas, materiais de construção, como também maior participação de Doutores no corpo docente da universidade.

A implantação de um programa de conscientização e controle (com prazo de validade) das habilitações dos profissionais sujeita a comprovação do conhecimento técnico, através de entidades como o MEC e CREA, foi o proposto para o exercício profissional, enfatizando o aprimoramento deste nas áreas de projeto, execução, inspeção e manutenção.

E por fim a necessidade da elaboração via ABNT, de Norma Brasileira de Inspeção de Obras Civis, padronizando conceitos e atividades no sentido da garantia de segurança, beneficiando a comunidade.

### **1.1.2 MANUTENÇÃO OBRIGATÓRIA**

Embora seja crescente o reconhecimento da importância da manutenção na durabilidade das estruturas de concreto armado, foi possível observar no desenvolvimento desta pesquisa que para se tornarem efetivas as manutenções dos edifícios, há necessidade da criação de uma legislação adequada.

Como já está acontecendo em algumas cidades como Recife (PE), Olinda (PE), Santos (SP), Salvador (BA), que autoridades municipais juntamente com o meio técnico procura criar leis que obriguem os condomínios a realizarem inspeções regulares, analisando as condições de habitabilidade das edificações, quanto ao estado das estruturas, condições das instalações elétricas, hidráulicas e segurança contra incêndio.

Segundo Oliveira (2005), leis relativas à manutenção prediais necessitam de elementos básicos, como por exemplo:

- Obrigatoriedade e periodicidade das inspeções;
- Definição de responsabilidades;

- Critérios de manutenção atendendo às normas da ABNT;
- Multas.

Em Salvador, no Estado da Bahia, a lei em vigor faz referência à Prefeitura Municipal autorizando vistorias em prédios comerciais, residenciais ou públicos que tiverem mais de cinco anos de construção e mais de três pisos. E o não atendimento aos requisitos de segurança pelo condomínio implica em sanção legal.

Para o Estado de São Paulo, em Santos, os condomínios têm obrigação de contratar empresas ou profissional legalmente habilitado, cadastrado na prefeitura, para avaliar o estado das estruturas. Este assumirá responsabilidade técnica, civil e criminal por suas conclusões.

Ainda em Santos, a vistoria deve ser realizada visualmente, com o auxílio de equipamentos de precisão e com registro fotográfico, informando em laudo técnico a metodologia utilizada e patologias encontradas na estrutura (com prováveis causas e prazos para reparos). Na necessidade de intervenção à estrutura, a lei orienta que cópia do laudo seja apresentado à prefeitura, que cobrará multa ao condomínio caso não cumpra com as recomendações do profissional responsável pela inspeção.

Na Cidade de Olinda (PE), o seu Código de Obras prevê “Habite-se Renovado” a cada cinco anos, que exige elaboração de laudo de vistoria assinado por um engenheiro civil, registrado no Conselho Regional de Arquitetura e Agronomia - CREA, atestando a segurança e habitabilidade do imóvel. Quando houver necessidade de intervenção do imóvel para restituir a segurança e habitabilidade, a licença de habitar será expedida mediante confirmação da execução do projeto registrado na prefeitura.

Em Recife (PE), a Lei 1232, aprovada em 2007, faz referência a obrigatoriedade da autovistoria, a cada três anos, para as edificações acima de três pavimentos e suas instalações, por profissional habilitado junto ao Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia – CREA. A mesma considera o síndico do condomínio como responsável pela realização da vistoria e apresentação do laudo quando solicitado, como também a execução das medidas recomendadas neste laudo, e para o descumprimento o síndico será responsabilizado em solidariedade com o condomínio, por danos que a falta de manutenção venha causar a moradores ou a terceiros.

## **1.2 OBJETIVO DO TRABALHO**

### **Objetivo geral**

O objetivo desta pesquisa é avaliar metodologias de inspeção em estruturas de concreto armado, identificando as manifestações mais encontradas em edifícios residenciais.

### **Objetivo específico**

Como objetivo específico, esta pesquisa busca padronizar procedimentos de inspeção e avaliação das estruturas de concreto armado.

Através da determinação de graus de deterioração das estruturas, considerando a agressividade do ambiente em que está inserida a edificação e as recomendações do checklist elaborado pela Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural (ABECE, 2005), o intuito da pesquisa é subsidiar planos de manutenção das estruturas ao longo do tempo.

### **1.3 CONTEÚDO DO TRABALHO**

O presente trabalho é composto por cinco capítulos, assim distribuídos:

No primeiro capítulo aborda-se a importância do tema, juntamente com o objetivo e conteúdo do trabalho, respectivamente;

O segundo capítulo se refere à revisão bibliográfica, onde estão apresentados conceitos sobre durabilidade e vida útil das estruturas de concreto armado, aspectos ambientais e responsabilidade técnica. Ainda são abordadas nesta seção as recomendações do Checklist da ABECE, 2005 e a metodologia para a quantificação de danos utilizada por Castro, 1994, modificada por Lopes, 1998 e Boldo, 2002 e utilizada por Lemos 2006;

No terceiro capítulo é abordado o procedimento experimental e a apresentação dos resultados;

No quarto capítulo encontra-se a discussão dos resultados obtidos em relação à inspeção visual, ensaios e graus de deterioração encontrados nas estruturas de concreto armado;

No quinto e último capítulo são apresentadas as considerações finais, baseadas nas referências bibliográficas e nos resultados obtidos ao longo do desenvolvimento desta pesquisa, como também recomendações para trabalhos futuros.

## **CAPÍTULO 2**

### **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **2.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE DURABILIDADE E VIDA ÚTIL**

Problemas relativos à conservação e manutenção das edificações têm apresentado relevante crescimento. Isto se dá pelos mais diversos motivos. As edificações antigas têm sua manutenção constantemente negligenciada ou ignorada. Os antigos construtores e pesquisadores tinham uma tendência a se aterem mais às questões de resistência e desempenho estrutural em detrimento à durabilidade ao longo do tempo. As manifestações patológicas (principalmente externas) comprometem a estética e o conforto do edifício, ocasionando uma desvalorização do mesmo perante o mercado e também aumento na insegurança do usuário.

Devido aos acontecimentos de ruínas em edificações de grande porte, a preocupação com a vida útil das estruturas vem aumentando ao longo dos anos devido não só aos altos custos de construção/manutenção, como também a descoberta de concretos com características distintas (alto desempenho, alto adensável, colorido, entre outros).

Um processo de degradação ocorre quando há uma transformação dos materiais ao interagirem com o meio ambiente, isto é, existe uma estreita dependência entre a estrutura e o meio onde ela está inserida, e mais ainda o microclima, formado nas proximidades das edificações, é o fator mais importante a ser considerado na avaliação da durabilidade (CEB, 1991, citado por ANDRADE, 1997).

Classificando a durabilidade de uma estrutura, considera-se que esta é função da resistência mecânica e que está relacionada com a relação água/cimento (a/c) utilizada na mistura, sabendo também que a utilização de adições minerais nesta mistura pode propiciar mudanças benéficas a estrutura interna do concreto, quando utilizada de forma adequada. A agressividade ambiental, as características construtivas (projeto, execução e utilização), a utilização de procedimentos de manutenção e o tempo previsto para uma determinada estrutura, são fatores que devem ser levados em consideração para projetar estruturas duráveis.

Trabalhos de levantamento de danos realizados em estruturas de concreto armado no Brasil (Dal Molin, 1988; Andrade, 1997) mostraram que as obras vêm apresentando uma degradação precoce. A corrosão de armaduras é o fenômeno responsável por uma parcela dos danos, com índices de ocorrência variando entre 27 % e 64 %. Outras manifestações patológicas causadas por ataques químicos, ação de sulfatos e reação álcali-agregado também vem degradando as construções.

De acordo com a NBR 6118 : 2003 devem existir, nos projetos, detalhamentos que possibilitem a execução dos sistemas de drenagem, juntas de dilatação e movimentação, a fim de evitar a percolação de água através das juntas e sobre as superfícies de concreto. Também o detalhamento das armaduras deve ser feito de maneira que permita o adequado lançamento e adensamento do concreto. Proteção das superfícies de concreto seja com pinturas impermeabilizantes, revestimento de argamassa, cerâmica ou outro sistema mais adequado podem ser utilizados. Todas essas recomendações são importantes para se obter períodos maiores de vida útil das estruturas de concreto armado.

Segundo Zarzar, 2007, “O Conhecimento da vida útil e da curva de deterioração de cada material ou estrutura são fatores de fundamental importância para a confecção de orçamentos reais para a obra, assim como de programas de manutenção adequados e realistas. De acordo com a ISO 15686-1 vida útil (vida de serviço) é o período de tempo, após a instalação no qual uma construção ou suas partes satisfazem ou excedem as exigências de desempenho”.

Em sua dissertação de mestrado, Zarzar, 2007, utilizou o Método dos fatores para estimar, em anos, a vida útil de um componente ou família de componentes, com o objetivo de garantir que a vida útil de serviço será maior do que a vida útil de projeto. O ponto de partida do método dos fatores é a vida útil de referência (VUR), que é um período documentado, em anos, no qual se espera que um componente ou grupo de componentes possam durar. O método usa uma série de fatores variáveis que se reportam à situação específica de um caso.

Fator A: qualidade do componente

Fator B: nível do projeto

Fator C: nível de execução do projeto

Fator D: ambiente interno

Fator E: ambiente externo

Fator F: condições de uso

Fator G: nível de manutenção

O método dos fatores pode ser expresso pela fórmula:

$$VUE = VUR \cdot A \cdot B \cdot C \cdot D \cdot E \cdot G \quad [2.1]$$

Onde: VUE = vida útil estimada;

VUR = vida útil de referência dos componentes

## 2.2 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

A expressão “patologia” trazida da medicina passou a ser utilizada na engenharia civil, por causa dos defeitos construtivos, que começaram a ser observados no início dos anos 50.

Helene (1986) entende patologia como a parte da engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos e origens dos defeitos das construções civis, e a solução destes problemas patológicos cabem a terapia.

Aranha (1994) trata as patologias em edificações, não apenas relacionada a problemas em estrutura de concreto armado, como também aos subsistemas (vedações, revestimentos, instalações, outros).

A patologia está diretamente ligada à vida útil da estrutura, quer seja na etapa de projeto, execução, escolha de materiais ou até utilização.

A Tabela 2.1 refere-se à pesquisa desenvolvida em países europeus, ressaltando maior ocorrência percentual de problemas relacionados à etapa de projeto.

Tabela 2.1 - Incidência de patologias segmentada conforme a origem principal, em pesquisa desenvolvida em países europeus (PRÖPSTER, 1981), IBRACON

Defeitos	Alemanha	Bélgica	Dinamarca	Romênia
Projeto	40,1%	49,0%	36,6%	34,0%
Materiais	29,3%	22,0%	22,2%	24,2%
Execução	14,5%	15,0%	25,0%	21,6%
Uso	9,0%	9,0%	8,7%	12,2%
Outros	7,1%	5,0%	7,5%	8,0%

Castro (1994), cita pesquisa realizada por Albige, 1978, na França, com levantamento de 10.000 casos de defeitos em construções, onde mostra que a maior parcela de ocorrência das manifestações patológicas provém da etapa de execução da edificação, conforme Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Defeitos encontrados em construções (Albige, 1978)

Defeitos	Ocorrência
Execução	51%
Projeto	37%
Manutenção	7,5%
Materiais	4,5%

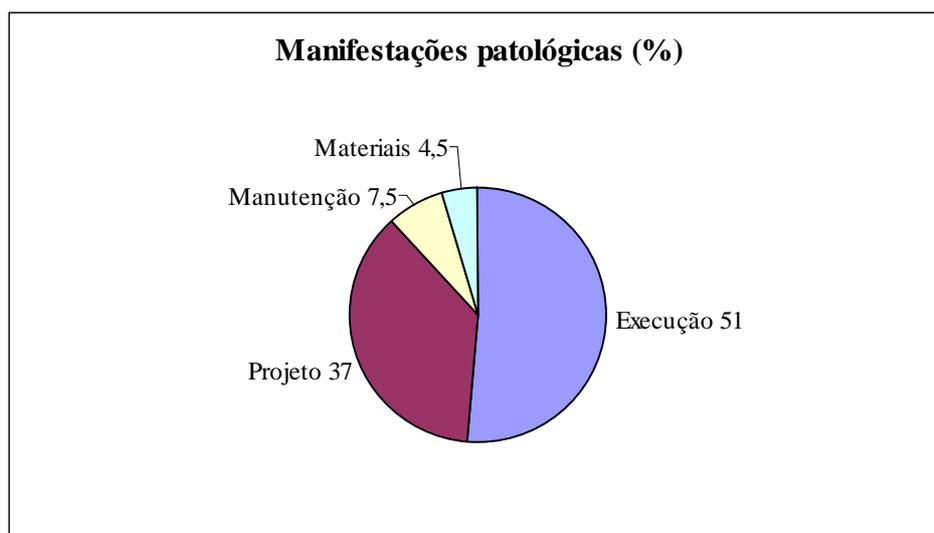


Figura 2.1 - Incidência das manifestações patológicas na França, segundo Albige, 1978.

A NBR 6118 : 2003 classifica o ambiente em quatro classes de agressividade, especificando relações água/cimento máximas, resistência característica à compressão e cobrimentos de armadura mínimos para cada classe. Porém não se deve desprezar a análise de microclimas particulares existentes na estrutura. Nesses casos, é importante fixar concretos e cobrimentos mais rigorosos, como também projetar detalhes construtivos e tratamentos superficiais visando a agressividade do meio onde se encontra a estrutura. A Tabela 2.3 apresenta as classes de agressividade em função das condições de exposição da estrutura ou de suas partes.

Tabela 2.3 - Classes de agressividade em função das condições de exposição da estrutura ou de suas partes (NBR 6118)

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana	Pequeno
III	Forte	Marinha	Grande
		Industrial	
IV	Muito forte	Industrial	Elevado
		Respingos de maré	

## 2.2.1 Origens das manifestações patológicas

### 2.2.1.1 Projeto

Com a evolução tecnológica dos últimos anos os projetistas estão concebendo obras mais arrojadas, devendo ser cuidadosamente analisados os detalhes construtivos para não favorecer a degradação prematura da estrutura, como é o caso das infiltrações.

Nos diversos projetos necessários para a construção da edificação encontramos orientações importantes do ponto de vista estrutural, como a especificação da relação água/cimento, máximas resistências características à compressão e cobrimentos de armaduras mínimos, de acordo com a agressividade de cada meio, para a obtenção de uma

estrutura de qualidade. Visando a durabilidade da edificação, também devem ser considerados, em um projeto arquitetônico, por exemplo, detalhes diversos como o uso adequado de pingadores, jardineiras e placas de concreto aparente.

Outro exemplo é a utilização de peças de concreto armado, caixas de ar condicionado, em regiões de ambiente marinho, mesmo que indicadas em projeto arquitetônico da edificação devem ser cuidadosamente analisadas, a fim de garantir um adequado comportamento em uso. Pois peças como estas geralmente possuem pequena espessura de recobrimento, submetendo a armadura à corrosão, que com pouco tempo compromete não só a estética do edifício, como também a segurança dos condôminos, devido a possibilidade de destacamento desses elementos.

Assim observa-se a necessidade da compatibilização dos projetos (de arquitetura, de estrutura, de impermeabilização, de revestimento, das instalações hidrossanitárias) concebendo uma obra eficaz sob o ponto de vista da durabilidade.

#### 2.2.1.2 Materiais

Quando a origem do problema está relacionada aos materiais deve-se considerar não só o material em si, como sua utilização para composição do elemento estrutural, que é o caso do concreto armado, o qual é composto por água, areia, brita, cimento, aditivo, adições e por fim a armadura.

Em geral, as causas relacionadas aos materiais estão ligadas ao uso de materiais impróprios ao tipo de obra a ser executada e à deficiência no controle de aquisição (qualidade inferior à especificada nos projetos), recebimento e estocagem, estabelecendo-se procedimentos incompatíveis aos previstos nos projetos e permitindo-se a deterioração dos mesmos (BOLDO, 2002 apud ARANHA, 1994).

É necessário conhecer desse modo, as características de cada material ainda na fase de projeto, se especificar conforme a oferta da região e fiscalizar o recebimento, visto que este planejamento implicará em custos adicionais ao empreendimento, como é o caso de obras de grande porte, que instalam a usina de concreto e laboratório para análise, dentro do canteiro de obras. E, as de pequeno porte, como edifícios residenciais e comerciais, que

fabricam o seu próprio concreto, analisando apenas a resistência à compressão em laboratórios terceirizados.

Cuidados com a contaminação por cloretos, sulfatos, álcalis e pH são recomendados limitando valores na água de amassamento. Por isso é necessário conhecer a procedência deste primeiro material que compõe o nosso concreto.

Para os agregados (areia e brita) os ensaios estão relacionados com a capacidade resistente, análise petrográfica e características físicas como a granulometria, formatos dos grãos e presença de material pulverulento. Esses ensaios são realizados para controlar a variabilidade nas propriedades do concreto, identificar se existem contaminantes reativos, que possam provocar reações químicas expansivas que danificam o concreto.

Quanto ao cimento existem ensaios físicos e químicos. Os físicos controlam a resistência à compressão, finura, início e fim de pega, entre outros. E os químicos avaliam quanto a composição adequada a cada situação e a perda ao fogo. No caso dos aditivos deve-se observar se a utilização é realmente a recomendada para o caso específico e se este não contém cloretos na sua composição ou substâncias incompatíveis com o tipo de cimento utilizado. Quanto ao aço os ensaios devem assegurar o patamar de escoamento, limite de resistência, alongamento mínimo e dobramento.

### 2.2.1.3 Execução

Durante a utilização da edificação é possível observar falhas, que provém da fase de execução da obra relacionadas à quantidades de atividades simultâneas, ao alto número de participantes envolvidos, à mão de obra não qualificada e a tentativa do empresariado em reduzir o custo final do empreendimento.

Na execução, as atividades relacionadas à produção do concreto (mistura, transporte, lançamento, adensamento e cura) são as que mais influenciam na durabilidade conforme Boldo, 2002 apud Canovas, 1988. Em geral, a obtenção de uma estrutura de concreto durável está relacionada com a observância de processos construtivos adequados no que se refere aos 4 C's: Composição (traço), Compactação (adensamento), Cura e Cobrimento (BOLDO, 2002 apud CLÍMACO, 1995).

A seqüência de colocação dos materiais na betoneira, o tempo de mistura, a homogeneização dos materiais constituintes são aspectos fundamentais para uma mistura adequada. Também é importante o tempo se gasta para transportar o material depois de pronto, visto que este deve ser compatível com as características do concreto e condições de temperatura evitando a perda acentuada de abatimento. Para o lançamento as recomendações são referentes a peças altas como pilares, dividindo o serviço em etapa para evitar a segregação do concreto com a concentração dos agregados graúdos nas regiões inferiores, originando vazios. Na etapa de adensamento é possível gerar problemas como exsudação e segregação, com o excesso ou deficiência de vibração, podendo ser minimizado na correta escolha da frequência e amplitude do vibrador, bem como o tempo de utilização do mesmo. Por fim a cura, que objetiva reter a água no concreto e evitar o surgimento de fissuras por secagem superficial, que irá possibilitar o acesso dos agentes agressivos ao interior do concreto, reduzindo a durabilidade da estrutura.

Mesmo quando a falha afeta apenas a estética da edificação, exige cuidado especial, pois o problema tratado de forma inadequada e em desacordo com as normas pode provocar sérias conseqüências como o caso de detalhes em concreto aparente em fachadas.

#### 2.2.1.4 Utilização

O planejamento da manutenção de uma edificação durante sua vida é fundamental para garantir o desempenho esperado. Logo assim que o prédio for entregue aos usuários, cabe a estes utilizá-lo da maneira mais eficiente, com o objetivo de garantir as características originais ao longo de sua vida útil. A eficiência está diretamente ligada às atividades de uso, como não exceder os carregamentos previstos em projeto e efetuar os serviços de manutenção em prazo útil.

## 2.3 CORROSÃO DA ARMADURA

Quando o cimento se combina com a água, seus diversos componentes se hidratam formando um conglomerado sólido, constituído pelas fases hidratadas do cimento e uma fase aquosa que é resultado do excesso de água de amassamento, necessária para dar trabalhabilidade ao concreto. O concreto resulta, portanto, em um sólido compacto e denso, porém poroso. A rede de poros permite que o concreto apresente certa permeabilidade aos líquidos e gases. Assim, ainda que o revestimento das armaduras seja uma barreira física, esta é permeável, em certa medida, e permite o acesso de elementos agressivos (CASTRO, 1994).

A corrosão das armaduras observadas nas estruturas de concreto armado, consiste na deterioração do metal existente neste produto, provocando perda de seção e a formação de pontos de corrosão de caráter expansivo, seguido de fissuras, lascamentos e por fim destacamento da camada de revestimento. Sendo a corrosão um processo evolutivo comprometerá a segurança estrutural da peça, podendo colapsar a estrutura de concreto afetada.

A presença de íons cloretos, ou a diminuição da alcalinidade do concreto, causada pelas reações de carbonatação, são fatores que determinam a despassivação da armadura propiciando a corrosão.

Fatores como relação água/cimento, mistura adequada do concreto, transporte, lançamento, adensamento e cura, são relevantes sob o ponto de vista da corrosão da armadura, visto que afetam a compactação, afetando também o início do processo corrosivo. E o revestimento da armadura, além de propiciar uma barreira física, também exerce o papel de ambiente passivador da mesma.

Volumes de 3 a 10 vezes superiores ao do aço original e tensões internas superiores a 15 MPa, são esperadas nos produtos de corrosão, que à medida que vão se processando, vão se acumulando cada vez mais ao redor das armaduras, formando verdadeiras “crostas” no seu entorno (CASCUDO, 1997).

É possível a identificação da corrosão de armadura numa peça de concreto armado, através de fissuras, fragmentação e destacamento do revestimento, lascamento do concreto, provocado pela tensão interna, ou por manchas marrom avermelhadas que aparecem na

superfície do concreto quando este está muito úmido. E a durabilidade da peça é afetada pela perda de seção das barras e pelo comportamento mecânico de fissuração do concreto com suas conseqüências.

Existem também técnicas que detectam a corrosão em níveis prematuros, de forma não destrutiva como o potencial de corrosão e a técnica de resistividade elétrica do concreto, que também é de caráter não destrutivo e permite ter um parâmetro controlador do processo eletroquímico.

### 2.3.1 Corrosão por íons cloreto

As armaduras no concreto permanecem em condições normais em um meio alcalino que permite que elas trabalhem na região de passividade do diagrama de Pourbaix (POURBAIX, 1961). Entretanto essa passividade pode ser alterada pela presença de íons cloreto em quantidades suficientes para romper pontualmente a película passiva, conhecida por corrosão por cloretos.

A presença de cloretos no concreto pode ser originada das seguintes fontes: agregados contaminados por sais, aditivos, água de amassamento, água do mar, soluções de sais degelantes, atmosfera marinha (maresia), processos industriais (HELENE, 1986; ANDRADE, 1992; MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Segundo Andrade (1992), o aço do concreto armado pode ser agredido pontualmente, levando a ruptura, pela corrosão conhecida com nome de “pite”.

Para os fatores que influenciam a penetração de íons de cloreto tem-se que, o tempo que estes levam para alcançar a armadura do concreto, depende da concentração de cloretos no meio externo, processo de execução, grau de carbonatação, natureza de um cátion que acompanha o cloreto, temperatura, fissuras e qualidade do concreto, conforme ANDRADE (1992).

Os íons cloreto que apresentam risco são os dissolvidos na fase aquosa, após a cura do concreto. Os íons combinados que formam cloroaluminatos, segundo Andrade (1992), como por exemplo,  $C_3A.Cl_2.H_2O$  e  $Ca(OH)_2.CaCl_2.H_2O$ , conforme Mehta (1994), não são agressivos à armadura.

De acordo com Pontes (2006), em sua dissertação de mestrado, é possível medir a concentração de cloretos em determinada região, através do método da vela úmida, que possibilita o mapeamento desta concentração considerando critérios como a distância da orla marítima, clima, barreiras impostas ao deslocamento do vento como edifícios, florestas. Auxiliando a implantação de uma obra com especificações para o concreto, quanto ao nível de agressividade, de acordo com a região.

### 2.3.2 Corrosão por carbonatação

A exposição do concreto ao meio ambiente pode diminuir seu pH, quando existe penetração de gases como dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) e gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) em seus poros. A ação desses gases diminuem a alcalinidade que provém da presença do hidróxido de cálcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) existente nas reações de hidratação do cimento, caracterizando o processo de carbonatação.

Concretos afetados pela penetração, principalmente do  $\text{CO}_2$ , reduz seu pH de 12,5 a 9,4, aproximadamente, alterando sua estabilidade química e despассивando a armadura.

Fatores como a composição do concreto, relação água/cimento, técnicas construtivas (transporte, lançamento, adensamento e cura), afetam a profundidade de carbonatação, que aumenta consideravelmente no início e tende lentamente a estacionar, fenômeno explicado pela hidratação do cimento, que aumenta gradativamente, devido à liberação de água.

Quando a profundidade de carbonatação alcança a armadura, pode haver corrosão, como se esta armadura estivesse exposta à atmosfera, com maior preocupação se o interior do concreto continuar úmido, por um período de tempo significativo.

Num concreto de boa qualidade, bem adensado e curado, a carbonatação se dá superficialmente, só tendo importância nos pontos em que a armadura esteja muito próxima à superfície do concreto (LEMOS, 2006).

Para aferir a profundidade de carbonatação, utiliza-se um método simples que consiste em tratar uma superfície de concreto recém rompida com uma solução de fenolftaleína e álcool. O concreto adquire a cor vermelho carmim quando não está

carbonatado, enquanto a parte carbonatada não se altera. O ensaio com fenolftaleína é utilizado como indicativo do pH (maior do que 9,5 para coloração vermelho carmim) (OLIVEIRA, 2005).

Cuidados devem ser tomados durante o processo de execução da fratura e mensuração da frente de carbonatação, ressaltando que a superfície não deve ser serrada, molhada ou apresentar excesso de poeira, pois fatores como estes prejudicam a visualização e podem falsear os resultados, para o processo de medida da profundidade de carbonatação.

O tipo de cimento influencia o processo da carbonatação, de acordo com (MEHTA; MONTEIRO, 1994). A presença de pozolanas na pasta de cimento pode promover a redução do tamanho e do volume dos vazios e das microfissuras produzindo uma maior coesão da estrutura interna o que possibilita redução da permeabilidade.

## **2.4 QUALIDADE DO CONCRETO**

O concreto é um material que não pode ser considerado com durabilidade eterna, embora tenha características de uma pedra artificial e a aparência de uma compacidade perfeita. O mesmo, ao longo dos anos, sofre deterioração devido aos agentes externos (físico, químico).

Em relação à qualidade é imprescindível o cumprimento das normas técnicas estabelecidas pela ABNT, executada por empresa credenciada ao órgão competente e profissional qualificado, visto que a vida útil das estruturas de concreto armado está condicionada ao serviço executado adequadamente.

Existem vários fatores que afetam a qualidade do concreto desencadeando a deterioração, sendo de suma importância a escolha adequada dos materiais, a dosagem e os processos executivos.

#### 2.4.1 Dosagem

É um fator que influencia significativamente o comportamento futuro do concreto, atuando como elemento protetor da armadura, por exemplo. Logo levando em consideração o cobrimento, esta dosagem deve proporcionar a máxima compacidade, que significa garantia da menor porosidade impedindo a penetração dos agentes agressivos.

#### 2.4.2 Compacidade

Esta é inversamente proporcional à porosidade, sendo considerada também como propriedade importante para a qualidade do concreto, pois garantirá a resistência à penetração dos agentes agressivos.

A compacidade é adquirida principalmente pela qualidade dos materiais, e adequada proporção entre os mesmos, podendo ser afetada pelos processos de mistura, transporte e adensamento utilizado durante a concretagem, que podem provocar a segregação do concreto afetando a sua homogeneidade.

#### 2.4.3 Permeabilidade

É o fluxo de um fluido devido diferentes pressões.

Aspectos como umidade relativa, periodicidade das chuvas, orientação dos ventos e temperatura, influenciam os mecanismos de transporte que atuam no concreto, e este ocorre pela água ou gases.

A permeabilidade no concreto pode ser influenciada por vários fatores, entre os quais se destacam os materiais constituintes, idade e o tipo de cura. A redução do consumo de cimento, não prejudicando a pasta, reduz a permeabilidade; o aumento da relação água/cimento, aumenta a permeabilidade; o uso de materiais finos, como sílica ativa, pode reduzir o coeficiente de permeabilidade (ANDRADE, 1997).

#### 2.4.4 Homogeneidade

O concreto é um material composto de vários materiais podendo diminuir sua heterogeneidade através do correto procedimento de mistura, transporte, lançamento, adensamento e cura, que proporcionará adequada compacidade e homogeneidade, protegendo a armadura no ambiente em que estará submetido.

#### 2.4.5 Adensamento

Existem várias técnicas utilizadas para a compactação do concreto, por exemplo, compactação com vibradores de imersão, com rolos vibratórios ou compactação com pressão. Todas têm como fundamento a diminuição dos vazios, extraindo-se grande parte do ar aprisionado, fluidificando a argamassa da mistura, diminuindo o atrito interno e acomodando o agregado graúdo. São refletidos todos estes fatores diretamente na elevação da resistência do concreto.

#### 2.4.6 Fissuras

Mesmo as fissuras que são pouco profundas podem ter abertura suficiente para possibilitar o acesso de agentes agressivos à armadura, provocando corrosão, ou serem indícios de um concreto pouco resistente e permeável.

Podem ser consideradas como manifestações patológicas características das estruturas de concreto, sendo o dano de ocorrência mais comum e aquele que aparece das deformações muito acentuadas, mais chama a atenção dos leigos para o fato de que algo de anormal está a acontecer (SOUZA e RIPPER, 1994).

Observa-se este fenômeno, fissuração, com mais facilidade em peças de grande área ou volume, como as lajes ou blocos de concreto. Conhecidas como fissuras térmicas da

massa do concreto, que provém da hidratação do cimento com a baixa condutividade do concreto que gera um gradiente térmico entre as partes internas e externas da massa,

ocasionando o esfriamento da camada externa enquanto o núcleo ainda está quente, gerando as fissuras.

Para o concreto no estado plástico as fissuras apresentadas estão relacionadas com falhas na execução da concretagem como, movimentação da ferragem durante a compactação, a movimentação das fôrmas, ou ainda perda de água por evaporação no concreto fresco.

Neville (1997), afirma que “impedindo-se completamente a evaporação depois do lançamento do concreto, elimina-se a fissuração”. A perda da água provém da absorção das fôrmas, dos agregados, da evaporação, sendo intensificada através da umidade relativa do ambiente, velocidade do vento ou temperatura.

Conforme Ripper (1994), “para temperaturas do ar e do concreto a 32° C, umidade relativa de 10% e velocidade do vento de 40 Km/h, o grau de evaporação é 50 vezes maior do que quando a temperatura do ar e do concreto for de 21° C, a umidade relativa de 70 % e não haja vento. Mesmo quando são usados os mesmos materiais, proporções, métodos de mistura, manuseio, acabamento e cura as trincas podem ocorrer ou não, dependendo apenas das condições do tempo”.

#### 2.4.7 Ataque químico:

Segundo Clímaco, (1990); Andrade, (1992); Alonso e Andrade, (1992), os ataques químicos mais comuns são:

##### 2.4.7.1 Ataques por sulfatos:

Este provoca uma reação expansiva, resultante dos íons sulfatos combinados com aluminatos de cálcio hidratado do cimento, que desagrega a massa do concreto e reduz a sua resistência consideravelmente.

#### 2.4.7.2 Ataque por ácidos:

Os ácidos provocam desagregação do concreto pela redução na capacidade aglomerante da pasta de cimento, afetando a hidratação dos componentes cálcicos do cimento (hidróxido de cálcio, silicatos, aluminatos cálcicos hidratados).

#### 2.4.7.3 Reação álcali-agregado:

É a reação dos álcalis do cimento com a sílica não cristalina do agregado, em presença da água que provoca a formação de produtos expansivos que desagregam o concreto.

#### 2.4.7.4 Ataque por água marinha:

Cloreto de sódio, sulfatos, íons de magnésio e outros componentes podem provocar ataque não só ao concreto como também à armadura.

#### 2.4.8 Ataque físico:

Segundo Clímaco, (1990); Cánovas, (1992), os ataques físicos mais comuns no concreto são:

##### 2.4.8.1 Ciclos de congelamento e descongelamento

Aparecem fissuras provocadas por pressões internas no concreto, que são geradas pela penetração de água nos seus poros e o aumento de volume em torno de 9 %, pelo efeito do congelamento.

#### 2.4.8.2 Erosão do concreto

Consiste no desgaste, escavando ou criando buracos, no concreto pela ação do atrito de corpos como, passagem de veículos, ou até, a circulação de água em grande velocidade pela superfície do concreto.

Ainda sobre a qualidade do concreto vale salientar a utilização de adições minerais, que quando utilizada na quantidade e condições de cura ideal para cada traço, bem como em função da sua composição química, mineralógica e granulométrica, propicia propriedades benéficas ao concreto como: coesão, viscosidade, redução do consumo de água para uma mesma trabalhabilidade, menor calor de hidratação, redução do fenômeno de exsudação, aumento na resistência à compressão e à tração, e, contudo aumentando a durabilidade do concreto.

Como exemplos de adições temos, cinza volante, cinza da casca de arroz, escória de alto forno, sílica ativa, metaculim, fíler, entre outros, e cada um com características e propriedades distintas que propiciam as qualidades acima citadas ao concreto.

## 2.5 ASPECTOS AMBIENTAIS

Sabendo-se que as propriedades físicas, químicas e mecânicas do concreto não se mantêm inalteradas ao longo dos anos, como se acreditava no passado, diversos pesquisadores se motivaram a desenvolver projetos de estruturas de concreto armado arrojadas que tenham como princípios básicos a durabilidade e vida útil mais longa, uma vez que desta forma também estarão diminuindo o impacto ambiental.

Na tentativa de trazer benefícios ao meio ambiente, também se passou a utilizar a técnica da inspeção preventiva, visto que a patologia corrigida no tempo certo e de forma

correta implica em danos menores à estrutura, necessitando de intervenções também menores.

Fatores como o alto nível de cloretos e sulfatos, variações de temperatura e umidade e águas contaminadas por agentes agressivos aceleram a deterioração da estrutura. Caso a reabilitação da estrutura, afetada por agentes como estes, não aconteça em tempo hábil, provocará além dos danos à estrutura, também ao ambiente, pois será necessário maior quantidade de funcionários para realização dos serviços, aumentando o nível de ruídos, pela utilização de maquinaria, e possivelmente provocando poluição sonora. Caso haja demolições, remoção de entulhos, ou mesmo a utilização de maquinaria, provocará a poluição do ar, não só com partículas de poeira, como também com o aumento da emissão de CO<sub>2</sub>, por algumas máquinas. E se considerarmos que a patologia pode atingir partes essenciais da estrutura levando à ruína da edificação, ou mesmo a necessidade de demolição, pode caracterizar este impacto como visual e emocional, não só aos proprietários das unidades, como ao entorno da região.

Cabe ao projetista estrutural, em fase de planejamento da obra, considerar o ambiente em que está inserida, acatando as recomendações da NBR 6118/2003, sobre durabilidade relacionada às ações físicas e químicas de meio ambiente, que atuam sobre as estruturas de concreto.

As Tabelas 2.4 e 2.5 mostram a classe de agressividade ambiental para os projetos de estruturas e como avaliar esta agressividade.

Tabela 2.4 - Classes de agressividade ambiental (NBR-6118,2003)

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Insignificante
II	Média	Pequeno
III	Forte	Grande
IV	Muito forte	Elevado

Tabela 2.5 - Classes de agressividade ambiental em função das condições de exposição (NBR-6118,2003)

Macro-clima	Micro-clima			
	Ambientes internos		Ambientes externos e obras em geral	
	Seco <sup>1</sup> UR $\leq$ 65%	Úmidos ou ciclos <sup>2</sup> de molhagem e secagem	Seco <sup>3</sup> UR $\leq$ 65%	Úmidos ou ciclos <sup>4</sup> de molhagem e secagem
Rural	I	I	I	II
Urbana	I	II	I	II
Marinha	II	III	-----	III
Industrial	II	III	II	III
Especial <sup>5</sup>	II	III ou IV	III	III ou IV
Respingos de maré	-----	-----	-----	IV
Submersa $\neq$ 3m	-----	-----	-----	I
Solo	-----	-----	Não agressivo I	Úmido e agressivo II, III, IV

<sup>1</sup> Salas, dormitórios, banheiros, cozinhas, e área de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura.

<sup>2</sup> Vestiários, banheiros, cozinhas, lavanderias industriais e garagens.

<sup>3</sup> Obras em regiões secas, como o nordeste do país, partes protegidas de chuva em ambientes predominantemente seco.

<sup>4</sup> Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

<sup>5</sup> Microclima especial significa ambiente com agressividade bem conhecida, que permitirá definir a classe de agressividade III ou IV nos ambientes úmidos. Se o ambiente for seco, a classe de agressividade será sempre II nos ambientes internos, e III nos externos.

## 2.6 RESPONSABILIDADE TÉCNICA

Problemas como ausência de planejamento global nas edificações; sistemática extremamente simplista de aprovação de projetos; negligência no controle tecnológico dos materiais, onde deveria haver a interferência de fiscalização independente; a não obrigatoriedade de cobertura securitária na fase de construção; e as concepções errôneas presente nas ditas construções de baixo custo, já haviam sido citado por (CLIMACO e NEPOMUCENO, 1994), como fatores que interferem na qualidade das obras.

Apesar de ser de conhecimento geral que a responsabilidade, no que se refere à estabilidade da estrutura é do construtor, existem profissionais que desatendendo às normas técnicas, realizam serviços sem a cautela adequada ao trabalho, resultando em falhas ou defeitos na fase de execução da obra. Podem ainda ser agravados com erros de concepção, ou de cálculo do projeto, responsabilizando, desta vez, os seus autores.

A Foto 2.1 mostra a realização de intervenção inadequada em edifício, no Bairro de Piedade, Jaboatão dos Guararapes/PE, realizada por uma empresa de engenharia civil, credenciada ao órgão competente. Os serviços são realizados no pilotis do edifício, onde foi escarificado sete pilares simultaneamente deixando as armaduras expostas; e na fachada encontra-se armadura principal também exposta em pilar com altura aproximada de 21m, e viga de bordo com comprimento de exposição da armadura em aproximadamente 3m.



Foto 2.1 - Intervenção inadequada

É possível observar que os danos seriam minimizados se, os proprietários se conscientizassem de que também são responsáveis pelo estado da estrutura, e a manutenção fosse tratada como fator importante para que as estruturas continuassem desempenhando as funções para as quais foram projetadas.

Na Foto 2.2 é possível observar o destacamento da viga de concreto armado, com exposição da armadura em processo de corrosão, no hall de escada. A edificação localiza-se no bairro do Cordeiro, Recife/PE, e é composta por pilotis e três pavimentos de apartamentos residenciais.



Foto 2.2 - Destacamento de viga de concreto com produto de corrosão, ignorado pelos condôminos.

No que se refere à responsabilidade técnica, vale ressaltar as citações do Professor Meirelles, do livro “Direito de Construir”, transcrito por MORAES (1992), a saber:

1) Erros de concepção

“Os erros de concepção ou de cálculo do projeto que afetem a segurança da obra tornam seus autores responsáveis pelos danos deles resultantes. Perante o proprietário, responderá sempre o construtor, no caso responsável técnico pela obra, mas com direito regressivo contra quem elaborou o projeto e efetuou os cálculos, se os defeitos tiverem origem nas falhas desses trabalhos. Além do construtor, se houver um profissional fiscal da obra, ele responderá também, solidariamente com o construtor, porque ficam ambos vinculados profissionalmente à execução da obra e tecnicamente empenhados na sua perfeição”.

## 2) Erros de execução

“Os defeitos de execução de projeto são de responsabilidade exclusiva do construtor, que por eles responde por cinco anos, se afetam a segurança da obra. Na execução do projeto o construtor fica adstrito às indicações das plantas e às especificações do memorial descritivo, cumprindo-lhe realizar os serviços com as cautelas e a técnica adequada ao trabalho. Desatendendo às normas técnicas da construção ou executando infielmente o construtor em responsabilidade legal, por violação de dever profissional imposto pela legislação reguladora dos trabalhos de Engenharia e Arquitetura, e se sujeita conseqüentemente, à reparação civil do dano”.

O proprietário de uma edificação é o responsável por sua manutenção. No caso de propriedade condominial, os proprietários condôminos são os responsáveis pela manutenção das partes autônomas individualizadas e co-responsáveis pelo conjunto do prédio. Sendo este um trabalho de engenharia, a gestão de manutenção deve ser delegada para empresa ou profissional habilitado que assumirá a responsabilidade técnica, assessorando o síndico nas decisões referentes à manutenção da edificação.

## **2.7 MANUAL DE USO E MANUTENÇÃO DAS EDIFICAÇÕES**

Depois de concluída a edificação deverá ser entregue a cada proprietário, pelo responsável pela obra, um manual que contenha todas as informações necessárias para orientar as atividades de operação, uso e manutenção da sua estrutura como:

- Descrição do processo construtivo da obra.
- Informações sobre procedimentos recomendáveis para operação, uso e manutenção da edificação.
- Instruções sobre procedimentos para situações de emergência.
- Informações sobre responsabilidades e garantias.

Na Tabela 2.6 são apresentados os prazos de garantias para os serviços na construção civil, sugerido pela ADEMI, 2004.

Tabela 2.6 - Prazos de garantias na construção civil (Manual de uso, inspeção e manutenção das edificações, ADEMI-PE, 2004)

<b>Defeitos</b>	<b>Serviços</b>	<b>Prazos</b>
Defeitos visíveis ou de fácil constatação	Fechaduras, trincos, dobradiças.	90 dias após a entrega da obra
	Porta, marcos, alisares.	
	Pintura	
	Esquadria de alumínio ou ferro	
	Louças, metais sanitários.	
	Válvulas de descarga	
	Interruptores, tomadas, disjuntores.	
	Pisos, revestimentos cerâmicos.	
	Pias, bancadas	
Defeitos ocultos	Funcionamento das instalações água	90 dias após a constatação do defeito
	Funcionamento instalações sanitárias	
	Instalações elétricas	
	Vazamento em geral	
	Impermeabilizações	
	Instalações de gás	
Defeitos quanto à solidez e segurança da obra	Problemas com fundação	5 anos de garantia a partir do habite-se
	Problemas estruturais	

A ADEMI/PE (2004) orienta também sobre periodicidades quanto aos reparos e manutenções, para algumas partes constituintes de uma edificação, conforme as Tabelas 2.7 a 2.11.

A Tabela 2.7 apresenta sugestões de manutenção e periodicidade para as instalações hidráulicas e sanitárias no edifício, que quando executadas nos prazos recomendados e com técnica adequada à situação, evita que a estrutura seja agredida por águas servidas (no caso de esgoto, fossa, sumidouro); ou mesmo a agressão à armadura pelo contato com a água pura.

Tabela 2.7 - Instalações hidráulicas e sanitárias (ADEMI-PE, 2004)

<b>Inspeção/Meses</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Sistema de sucção e recalque	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Fossa e sumidouro			x			x			x			x
Caixas de passagens, gordura, esgoto			x			x			x			x
Águas pluviais			x			x			x			x
Calhas						x						x
Aeradores						x						x
Descargas						x						x
Válvula redutora de pressão												x
Reservatórios												x
Registros de gaveta e pressão												x
Ralos e sifões												x

Para as instalações elétricas, conforme Tabela 2.8, a orientação é que faça consulta à construtora para análise junto ao projetista se existe reserva suficiente, tanto em relação à unidade privativa, como a subestação do edifício, antes do acréscimo de carga para os equipamentos. A fim de evitar sobrecarga ao circuito, que por sua vez pode provocar incêndio e dependendo da intensidade comprometer a estabilidade da estrutura.

Tabela 2.8 - Instalações elétricas (ADEMI-PE, 2004)

<b>Inspeção/Meses</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Disjuntor DR			x			x			x			x
Quadro de distribuição dos circuitos						x						x
Subestações						x						x
Sistema de aterramento						x						x

A Tabela 2.9 apresenta sugestões de manutenção e periodicidade para as impermeabilizações. Deve-se evitar que reparo à impermeabilização seja executado com sistema diferente do original, pois a incompatibilidade pode comprometer o desempenho do sistema e prejudicar a estrutura pelo contato com a água, que não era previsto em projeto. Como também, não utilizar plantas de grande porte, que possam no decorrer do tempo prejudicar as impermeabilizações.

Tabela 2.9 - Impermeabilizações (ADEMI-PE, 2004)

<b>Inspeção/Meses</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Rejunte interno						x						x
Camadas drenantes do jardim												x
Fachada												x

## 2.8 “CHECKLIST” ABECE (2005)

A ABECE (Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural) coordenou a ação de profissionais de estruturas, entre projetistas, professores e engenheiros de execução, elaborando de forma consensual um Plano de Vistoria “checklist” mínimo tendo como objetivo minimizar os riscos e indicar as formas de preservar a integridade dos edifícios com mais de dez anos de construção.

A metodologia proposta pela ABECE foi originada da necessidade da introdução de medidas técnicas, na área de inspeção em estruturas de concreto armado, para reduzir os riscos de acidentes, que ocorrem no Estado de Pernambuco. A entidade contou com a colaboração de 100 engenheiros do setor da construção civil.

Em qualquer estrutura de concreto armado, a ser reparada, uma etapa fundamental é a inspeção detalhada, realizada por uma equipe técnica, devidamente treinada e experiente, nos campos de cálculo estrutural, tecnologia, execução e reparos em concreto.

Esta inspeção tem por objetivo conhecer os itens relacionados na figura apresentada a seguir.

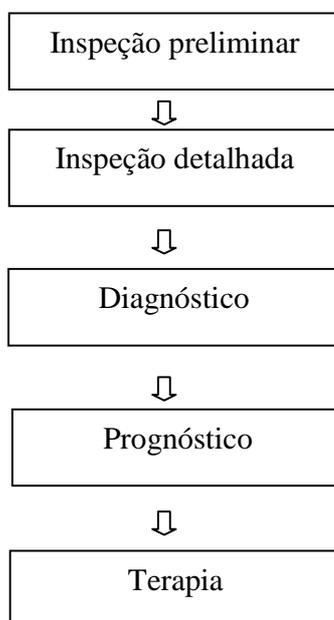


Figura 2.2 - Fluxograma geral de inspeção (ABECE, 2005).

### 2.8.1 Inspeção preliminar

Caberá a esta etapa coletar informações do histórico e antecedentes da edificação como nome, endereço, data de construção, motivo da solicitação, agressividade do ambiente e o órgão responsável pela obra. Também, informações de aspecto geral como construtora, projetos, caracterização da edificação quanto ao número de andares, tipo de lajes, tipo de fundação, utilização e concepção da obra, e verificação da existência de registro de intervenções anteriores.

As informações coletadas nesta etapa auxiliarão no levantamento das manifestações patológicas que serão classificadas de acordo com a gravidade do dano a estrutura, sendo separadas por elemento estrutural, e registras as possíveis causas destas manifestações.

Na seleção dos métodos de ensaios de avaliação da resistência do concreto endurecido, dispõem-se de métodos de dureza superficial do concreto, velocidade de

propagação de ondas ultra-sônicas e extração de testemunhos. Profundidade de carbonatação, teor de íons cloretos, potencial de corrosão, entre outros, avaliam sob o ponto de vista da durabilidade.

Ainda será determinada nesta etapa, a amostragem para a inspeção detalhada considerando os pontos críticos da estrutura e o microclima (condições de umidade, insolação, exposição a agentes agressivos).

## 2.8.2 Inspeção detalhada

Nesta etapa as investigações consideram também a possibilidade de a estrutura ser submetida a ataques de agentes agressivos como ações de sulfatos, águas agressivas, ácidas, reações álcali-agregados, etc. E investigar, desta vez “in loco”, a existência de intervenções anteriores, registrando-se que tipo de intervenção, por que motivo e se resulta no carregamento adicional da estrutura, determinará quais ensaios serão aplicados à estrutura.

Definições quanto à origem, causa e mecanismos de ocorrência da patologia estarão evidenciados nesta fase da inspeção, como também os locais de concentração dos trabalhos: pilares, lajes, reservatórios, escadas, rampas, fundações, jardineiras, juntas de dilatação, fachadas.

### 2.8.2.1 Ensaios

Para garantir a estabilidade da edificação é necessária a realização de inspeções periódicas, no intuito de interromper qualquer processo de degradação constatado. Existem estudos que recomendam intervalos de cinco anos entre as inspeções, porém fatores como aparecimento de fissuras, tanto nas estruturas de concreto armado como nas alvenarias, servirão como indícios da necessidade de intervalos menores entre estas vistorias.

Na atual demanda pelas inspeções duas são as dificuldades encontradas pelo profissional, sendo a primeira as ausências de registro e documentação de edifícios antigos. Esta documentação auxilia no conhecimento do histórico da obra, das características

construtivas e na concepção de utilização. A falta desta documentação não impede, no entanto o levantamento de dados através de questionários com os moradores, as inspeções detalhadas e medições in loco, auxiliam no conhecimento da construção analisada. A segunda dificuldade é a não utilização da tecnologia existente, como alguns ensaios ora apresentados neste trabalho, que também acaba por não apresentar registros confiáveis das patologias locais, visto que em algumas situações o diagnóstico da patologia encontrada foi baseado no “achismo” do profissional.

Os ensaios aplicados na avaliação de estruturas de concreto acabadas, podem ser classificados como não destrutivos, que não causam danos ao elemento estrutural, ou destrutivos os que afetam a estrutura para poder classificar o nível deterioração em que a mesma se encontra.

#### 2.8.2.1.1 Ensaio de esclerometria

Aplicado à concretos estruturais, este método não substitui os ensaios regulamentares de controle de qualidade do concreto.

O ensaio de esclerometria, como método não destrutivo, avalia a qualidade do concreto endurecido, através de um índice da dureza superficial do concreto. Alguns fenômenos como carbonatação, rugosidade ou umidade na superfície da peça ensaiada pode influenciar os resultados, como também a posição da realização do ensaio, que pode ser corrigida pela escala presente no esclerômetro, esbeltez do elemento estrutural e idade do concreto.

A direção do esclerômetro deve ser horizontal, condições de temperatura ambiente semelhantes e aplicados nove impactos por peça. Há observação para que se evitem impactos sobre agregados, armaduras, bolhas, etc. A aferição do equipamento é feita por meio de uma bigorna especial de aço de dureza Brinell de 50 MPa, que forneça índices esclerométricos de cerca de 80 %, para aferição da curva de resistência característica.

### 2.8.2.1.2 Ensaio de potencial de corrosão

A medida do potencial de corrosão consiste na determinação da diferença de potencial elétrico entre o aço das armaduras e um eletrodo de referência que se coloca em contato com a superfície do concreto, MONTEIRO (1994). E para os parâmetros segue a Tabela 2.10.

Tabela 2.10 - Critérios de avaliação das medidas de potenciais (ASTM C876, 1992)

Potencial de corrosão relativo ao eletrodo de referência de cobre-sulfato de cobre-esc(mv)	Probabilidade de corrosão (%)
Mais negativo que -350	95
Mais positivo que -200	5
De -200 a -350	Incerta

Este ensaio permite determinar onde pode haver corrosão no momento da medida, porém não indica quanto a estrutura está danificada.

Segundo Andrade (1992), o teor de umidade do concreto, o teor de oxigênio disponível, diferentes espessuras de revestimento, presença de fissuras na peça e existência de correntes erráticas são fatores que podem mascarar os resultados obtidos no ensaio.

### 2.8.2.1.3 Ensaio da velocidade de propagação de onda ultra-sônica

Também como ensaio não destrutivo, a velocidade de propagação ultra-sônica, através da propagação de ondas longitudinais, verifica:

- A homogeneidade do concreto;
- Detecta falhas internas (fissuras, vazios);
- Qualidade do concreto em relação às especificações;
- Variações no concreto proveniente de agressividade do meio ambiente;
- Qualidade de uma peça de concreto em relação à outra.

O ensaio segue as recomendações da NBR 8802 (1994), conforme Tabela 2.11.

Tabela 2.11 - Classificação da velocidade do pulso ultra-sônico no concreto (RICON et al, 1988).

Velocidade de propagação (m/s)	Qualidade do concreto
<2000	Deficiente
2000 a 3000	Normal
3001 a 4000	Alta
>4000	Durável

No entanto, no concreto, a relação da velocidade dos pulsos ultra-sônicos com a resistência mecânica depende de fatores como:

- Proporção da mistura;
- Tipo e teor dos agregados e do cimento;
- Compacidade (massa específica), temperatura e teor de umidade do concreto;
- Presença de armadura no seu interior.

Em sua tese de Doutorado, Vieira (2007), comenta sobre a utilidade do ensaio ultrassônico, quando ocorrem dificuldades na realização de extração de testemunhos tanto por acessibilidade, quanto em relação aos custos da extração.

Neville, 1997, afirma que “o ensaio de ultra-som é usado como meio de controle de qualidade de produto que se supões preparado com concretos semelhantes; podem ser detectadas, prontamente, tanto as falhas de adensamento como variação da relação água/cimento. Essa técnica, não pode, no entanto, ser usada para determinação da resistência de concreto preparados com materiais diferentes em proporções desconhecidas”.

Comparando-se a velocidade de propagação ultra-sônica com a esclerometria, existe a vantagem de não se limitar à determinação superficial das características do concreto, e sim a toda sua massa (CÁNOVAS, 1998).

#### 2.8.2.1.4 Extração de testemunho

Testemunhos são peças de concreto, extraídos da estrutura por meio de corte. Através de estudos nos testemunhos é possível conhecer a compacidade dos concretos, homogeneidade, aderência em juntas de construção, espessura de lajes, deterioração do concreto, resistência, módulo de deformação, etc.

A NBR 7680 (1983) faz recomendações desde a amostragem até a interpretação dos resultados da resistência característica do lote de concreto examinado.

Fatores como amostragem, presença de armadura, dimensões do testemunho, cura e umidade da peça, microfissuras originadas na extração, impedem que os resultados obtidos no ensaio representem o real estado da estrutura. E ainda assim este ensaio destrutivo é considerado como método de maior confiabilidade por permitir uma avaliação direta do concreto da estrutura.

#### 2.8.2.1.5 Ensaio de profundidade de carbonatação

A carbonatação ocorre quando o dióxido de carbono presente na atmosfera reage com os componentes alcalinos da fase líquida do concreto e dá lugar a neutralização de todo o material, baixando o pH da pasta hidratada. Este é um fator preponderante no desencadeamento da corrosão das estruturas de concreto armado. Apesar de o fenômeno ser estudado a mais de três décadas, os problemas decorrentes continuam acontecendo em larga escala. O uso de concretos mais adequados, de maior resistência e menor porosidade, e de cobrimentos compatíveis com as condições de exposição, são elementos efetivos para o controle da corrosão.

Como agente principal iniciador da corrosão, a carbonatação provoca redução da alta alcalinidade, havendo assim, redução generalizada do pH, ocasionando a susceptibilidade das armaduras (quebra da instabilidade química do filme de óxidos passivante), no que tange a corrosão das armaduras, segundo Helene (2003), quando seu valor for menor que 10,5.

É utilizado neste ensaio, de caráter destrutivo, a aspensão da solução de 1 g de fenolftaleína diluído em 99 g de álcool, que adquire coloração típica (vermelho carmim)

quando em contato com a superfície alcalina do concreto recém rompido, permitindo conhecer a mudança do pH, não fazendo distinção se este processo é causado por carbonatação ou por outros gases ácidos.

### 2.8.3 Diagnóstico

O diagnóstico da estrutura é um estudo dos mecanismos, das causas e das origens dos defeitos das obras civis. Uma avaliação estrutural permitirá não só estabelecer a capacidade da estrutura em sua condição atual e real, como também analisar a possibilidade de levá-la a uma outra condição desejada. O diagnóstico juntamente com uma avaliação estrutural, nos informará qual o tipo de reabilitação será necessária para a estrutura, MONTEIRO (2005).

O diagnóstico adequado e completo esclarece os aspectos relacionados ao sintoma, mecanismo, origem e causa do problema detectado na estrutura.

### 2.8.4 Prognóstico

O prognóstico complementar o diagnóstico da estrutura apresentando as conseqüências do problema, considerando a segurança estrutural da edificação e as condições de estética e funcionalidade.

Recomendações quanto às manutenções são apresentadas de acordo com a necessidade, se preventiva, ou corretiva, e identificando as origens do problema patológico se em projeto, execução, ou até um problema agravado pela idade da estrutura.

### 2.8.5 Terapia

A correção do problema tanto pode ser de pequena ordem (reparos localizados), como recuperação generalizada da estrutura. Nesta etapa, é definido o objetivo da recuperação, tendo-se analisado diferentes possibilidades de reparo, baseados em técnicas economicamente viáveis, a fim de se definir se existe condições de reparar ou, há

necessidade de se modificar a estrutura até levá-la a uma condição de desempenho desejada, ou de demolição.

## 2.9 METODOLOGIA PARA QUANTIFICAÇÃO DO DANO NA ESTRUTURA

A metodologia parte do estudo de deterioração do concreto desenvolvido pelo pesquisador sueco Tuuti (1982), conforme Figura 2.3, que classifica a evolução do processo de corrosão em duas etapas: a de iniciação, onde os agentes agressivos penetram lentamente através da microestrutura do concreto dando início ao dano; e a etapa de propagação, onde a velocidade de degradação das estruturas é acelerada pela ação dos agentes agressivos no interior do concreto, ocasionando o aparecimento de fissuras, perda de seção das armaduras e podendo comprometer a estabilidade da estrutura.

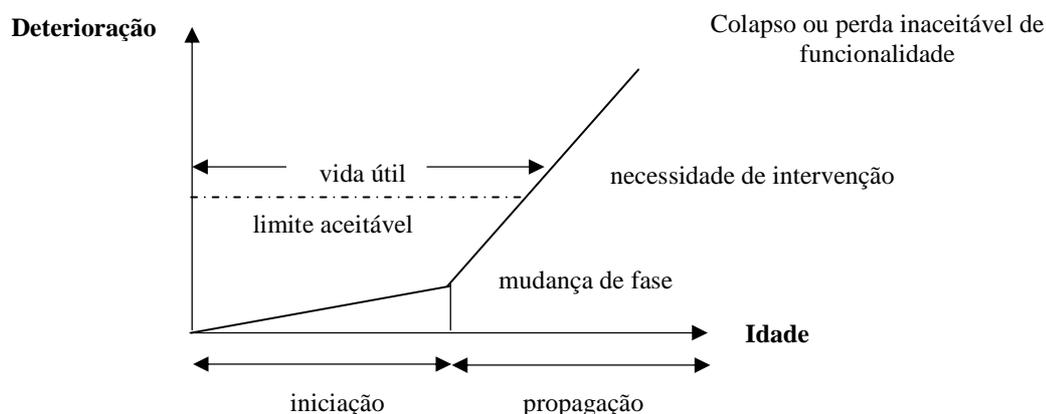


Figura 2.3 - Vida útil de estrutura de concreto (CASTRO, 1994).

Seguindo a pesquisa elaborada por Klein et alli (1991), para obras de arte, Castro (1994) encontrou inviabilidade na proposta, quando aplicada a estruturas convencionas, visto que fatores que contribuem com o processo de degradação das estruturas de concreto e os possíveis agentes agressivos presentes, tanto no macro-clima como no micro-clima, específico em determinado tipo de estrutura, não parecem ter a forma adequada, pois não é considerado de forma explícita e objetiva.

Dessa forma, a metodologia proposta por CASTRO (1994), baseada em princípios constantes na pesquisa de Klein, tem adaptações e modificações necessárias para quantificar a evolução do dano ao longo da vida útil da estrutura.

Ainda houve alterações proposta por LOPES (1998), BOLDO (2002) e usada por LEMOS (2006) em dissertações de mestrado, com objetivo de melhor representar o dano na estrutura, ressaltando que houve a preocupação de não distorcer a configuração original da metodologia proposta por CASTRO (1994).

Na figura 2.4 estão apresentados os procedimentos a serem seguidos para o desenvolvimento das inspeções estruturais e avaliações dos resultados, segundo a metodologia de quantificação de danos.

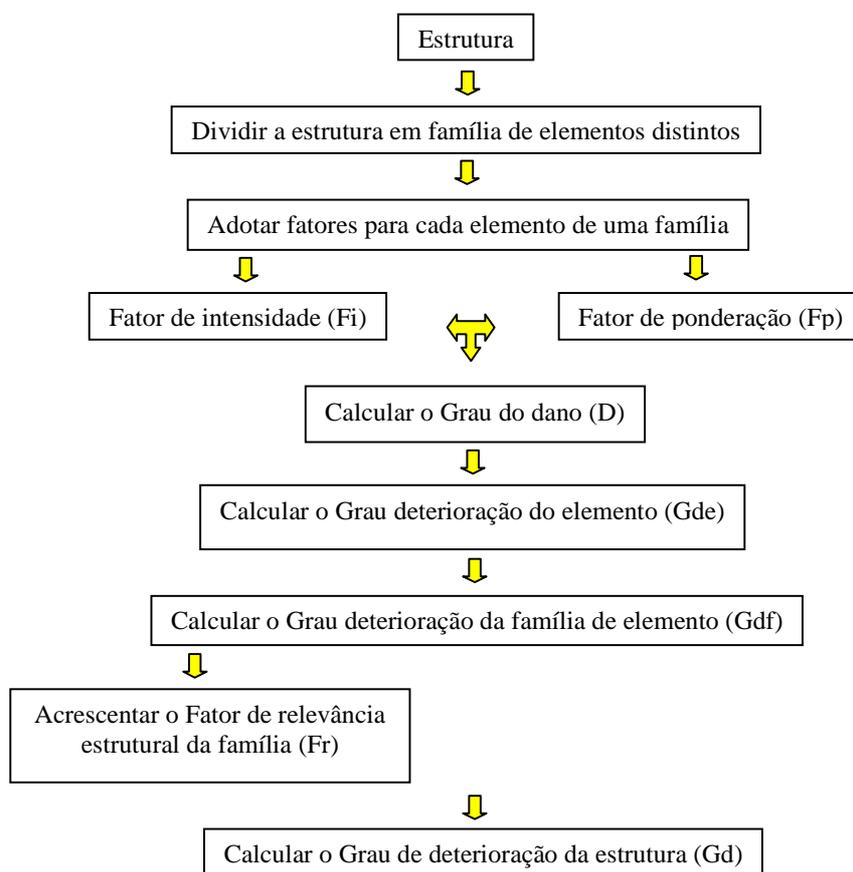


Figura 2.4 - Fluxograma da metodologia para o cálculo do Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ )

As diversas partes da estrutura de concreto armado de um edifício, como pilares, vigas, lajes, escadas, rampas, reservatórios, fundações, juntas de dilatação, instalações pluviais, são caracterizados como “família de elementos”, e através de inspeções visuais pode-se detectar manifestações patológicas, atribuindo-se um grau para cada manifestação encontrada, segundo um fator de intensidade e ponderação. E a partir destes parâmetros encontra-se o grau do dano da estrutura como um todo.

Calcula-se com os graus de danos, para cada elemento de uma família, um grau de deterioração individual e conseqüentemente, um grau de deterioração da família de elementos. Obtidos os graus de deterioração das diversas famílias que compõem a estrutura e considerando o fator de relevância estrutural da família, previamente estabelecido segundo a importância relativa na funcionalidade e segurança estrutural, determina-se o grau de deterioração da estrutura.

Os parâmetros para análise dos dados das vistorias são definidos na seguinte forma descrita a seguir.

### 2.9.1 Fator de intensidade ( $F_i$ )

É atribuído pelo engenheiro, na ocasião da inspeção, considerando o nível de gravidade da manifestação encontrada em cada elemento, variando os valores de 0 a 4, de acordo com a Tabela 2.12.

- 0 → para perfeitas condições, sem lesões;
- 1 → para bom estado, lesões leves;
- 2 → para estado razoável, lesões toleráveis;
- 3 → para más condições, lesões graves;
- 4 → para péssimas condições, estado crítico.

Tabela 2.12 - Classificação dos danos e fatores de intensidade (Fi)

TIPOS DE DANOS	FATOR DE INTENSIDADE DO DANO - TIPOS DE MANIFESTAÇÕES
Segregação	<p>1 - superficial e pouco significativa em relação às dimensões da peça;</p> <p>2 - significativa em relação às dimensões da peça;</p> <p>3 - profunda em relação às dimensões da peça com ampla exposição da armadura;</p> <p>4 - perda relevante da seção da peça.</p>
Eflorescência	<p>1 - início de manifestação;</p> <p>2 - manchas de pequenas dimensões;</p> <p>3 - manchas acentuadas em grandes extensões.</p>
Esfoliação	<p>2 - pequenas escamações do concreto;</p> <p>3 - lascamento de grandes proporções com exposição da armadura;</p> <p>4 - lascamento acentuado com perda relevante de seção.</p>
Desagregação	<p>2 - início de manifestação;</p> <p>3 - manifestação leve;</p> <p>4 - por perda acentuada de seção e esfrelamento do concreto.</p>
Cobrimento	<p>1 - menores que os previstos em norma sem, no entanto, permitir a localização da armadura;</p> <p>2 - menor do que o previsto em norma, permitindo a localização da armadura ou armadura exposta em pequenas extensões;</p> <p>3 - deficiente com armaduras expostas em extensões significativas.</p>
Manchas de corrosão /corrosão da armadura	<p>2 - manifestações leves;</p> <p>3 - grandes manchas e/ou fissuras de corrosão;</p> <p>4 - corrosão acentuada na armadura principal, com perda relevante de seção.</p>
Flechas	<p>1 - não perceptíveis a olho nu;</p> <p>2 - perceptíveis a olho nu, dentro dos limites previsto em norma;</p> <p>3 - superiores em até 40% as previstas em norma;</p> <p>4 - excessivas.</p>
Recalque	<p>2 - indícios, pelas características de trincas na alvenaria;</p> <p>3 - recalque estabilizado com fissuras em peças estruturais;</p> <p>4 - recalque não estabilizado com fissuras em peças estruturais.</p>
Fissuras	<p>1 - aberturas menores do às máximas previstas em norma;</p> <p>2 - abertura até 40% acima dos limites de norma;</p> <p>3 - aberturas excessivas; estabilizadas;</p> <p>4 - aberturas excessivas; não estabilizadas.</p>
Carbonatação	<p>1 - localizada, com algumas regiões com pH menor que 9,0, sem atingir a armadura;</p> <p>2 - localizada, atingindo a armadura, em ambiente seco;</p> <p>3 - localizada, atingindo a armadura, em ambiente úmido;</p> <p>4 - generalizada, atingindo a armadura, em ambiente úmido.</p>
Infiltração	<p>1 - indícios de umidade;</p> <p>2 - pequenas manchas;</p> <p>3 - grandes manchas;</p> <p>4 - generalizada.</p>

TIPOS DE DANOS	FATOR DE INTENSIDADE DO DANO - TIPOS DE MANIFESTAÇÕES
Presença de cloretos	<b>2</b> - em elementos no interior sem umidade; <b>3</b> - em elementos no exterior sem umidade; <b>4</b> - em ambientes úmidos.
Manchas	<b>2</b> - manchas escuras de pouca extensão, porém significativas; <b>3</b> - manchas escuras em todo o elemento estrutural.
Sinais de esmagamento	<b>3</b> - desintegração do concreto na extremidade superior do pilar, causada por sobrecarga ou movimento da superestrutura; fissuras diagonais isoladas; <b>4</b> - fissuras de cisalhamento bidiagonais, com intenso lascamento (esmagamento) do concreto devido ao cisalhamento e compressão, com perda substancial de seção, deformação residual aparente; exposição e início de flambagem de barras da armadura.
Desvio de geometria	<b>2</b> - pilares e cortinas com excentricidade $\leq h/100$ (h=altura); <b>3</b> - pilares e cortinas com excentricidade $\geq h/100$ (h=altura).
Infiltração na base	<b>3</b> - indícios de nível de lençol freático acima do nível das estruturas de fundação que podem comprometer as fundações; <b>4</b> - vazamentos em tubulações enterradas causando erosão aparente junto às fundações;.
Junta de dilatação obstruída	<b>2</b> - perda de elasticidade do material da junta; <b>3</b> - presença de material não compressível na junta.
Fissuras vizinhas de juntas de dilatação	<b>2</b> - lajes com início e fissuras adjacentes às juntas; <b>3</b> - grande incidência de lajes com fissuras adjacentes às juntas; <b>4</b> - idem, com prolongamento das fissuras em vigas e/ou pilares de suporte.
Deslocamento por empuxo	<b>3</b> - deslocamento lateral no sentido horizontal, com excentricidade, porém estável; <b>4</b> - deslocamento lateral no sentido horizontal, estável.

### 2.9.2 Fator de ponderação (Fp)

Quantifica a importância relativa de um determinado dano, no que se refere às condições gerais de estética, funcionalidade e segurança de um elemento estrutural, variando numa escala de 0 a 10.

Uma determinada manifestação patológica pode apresentar fatores de ponderação diferentes de acordo com as características da família onde o elemento se insere, e dependendo das conseqüências que o dano possa acarretar.

A Tabela 2.13 mostra os fatores de ponderação, utilizado nesta pesquisa, para as famílias de elementos mais comuns nas edificações usuais em concreto armado, e os prováveis danos.

Tabela 2.13 - Famílias de elementos estruturais, danos e fatores de ponderação (Fp)

DANOS	FAMÍLIA DE ELEMENTOS (Fp)			
	PILAR	VIGAS	LAJES	RESERV. INFERIOR
Desvio de geometria	8	-	-	-
Recalque	10	-	-	-
Infiltração na base	6	-	-	-
Segregação	6	4	5	5
Eflorescência	5	5	5	7
Esfoliação	8	8	8	10
Desagregação	7	7	7	7
Sinais de esmagamento	10	8	-	-
Cobrimento deficiente	6	6	6	7
Manchas de corrosão	7	7	7	9
Fissura	10	10	10	10
Carbonatação	7	7	7	7
Presença de cloretos	10	10	10	10
Manchas	5	5	5	-
Flechas	-	10	10	-
Infiltração	-	6	6	-
Vazamentos	-	-	-	10
Permeabilidade	-	-	-	8

Um aspecto que deverá ser considerado nas inspeções dos elementos da estrutura é a possibilidade de superposição das manifestações do dano. Quando, por exemplo, o dano com intensidade alta for *carbonatação* e o elemento possuir *manchas de corrosão* com intensidade baixa, deverão ser considerados os dois danos, pois a manifestação de manchas de corrosão pode estar em seu início e ser agravada à medida que a frente de carbonatação for avançando no elemento, contribuindo para o agravamento do processo de corrosão das armaduras. Por outro lado, se o dano *manchas de corrosão* tem intensidade alta, sem presença de cloretos, e for constatada a *carbonatação* em fase adiantada, não deve haver superposição, pois o primeiro dano, provavelmente, é consequência do segundo, CASTRO (1994).

### 2.9.3 Grau do dano (D)

Este parâmetro tem por objetivo quantificar a manifestação de cada dano, no elemento. Tem evolução em fases de iniciação, nas quais os danos são imperceptíveis e não comprometem a vida útil do elemento, e na fase de propagação que pode comprometer a vida útil do elemento através de fatores que acelerem o processo de deterioração. Ambas as fases provêm de concepções errôneas em projetos em geral, execuções, exposição ao meio ambiente, e utilização.

A Figura 2.5 mostra o cálculo do grau de um dano para o fator de ponderação máximo,  $F_p = 10$ . A escala de 0 a 4 nas abscissas mostra as fases de “iniciação” e “propagação” do dano, segundo o fator de intensidade ( $F_i$ ), adotando-se como abscissa de “mudança de fases” o valor de 2,5, intermediário entre 2,0 e 3,0, indicando lesões toleráveis e graves respectivamente. O gráfico estabelece um limite máximo  $D = 100$  para o grau do dano correspondente a  $F_i = 4$ , estado crítico de uma manifestação do dano.

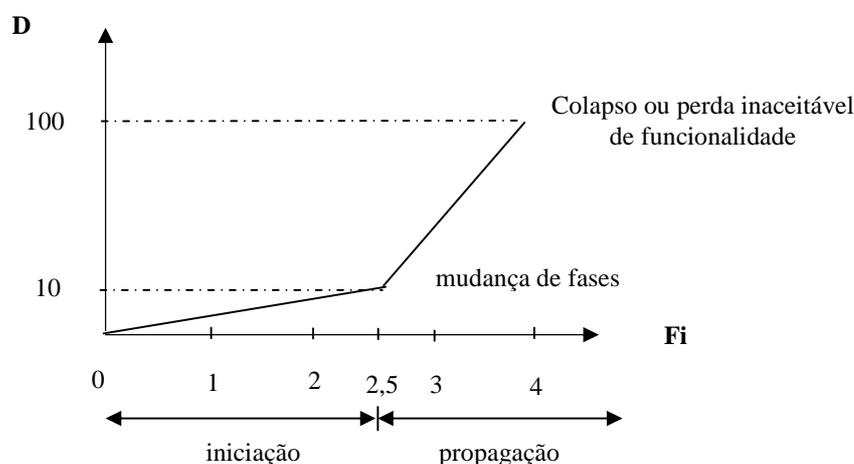


Figura 2.5 - Grau do dano x Fator de intensidade do dano, CASTRO.

Na determinação da manifestação do dano, com grau do dano  $D < 10$ , localizado abaixo da mudança de fases no gráfico, indica que aquele elemento não necessita de intervenção imediata. Porém se o dano apresentado no elemento estiver localizado no gráfico próximo a mudança de fase, o indicativo é que a intervenção dentro de um

programa de manutenção, resultará em economia, prevenindo a propagação dos danos. E na situação para  $D > 10$ , a intervenção passa a ser necessária, urgente, ou até imprescindível à funcionalidade ou segurança da estrutura.

Logo, o grau do dano, na situação mais desfavorável ( $F_p = 10$ ), será dado pelas expressões:

$$D = 4F_i \quad \text{para} \quad F_i \leq 2,0 \quad [2.1]$$

$$D = 60 F_i - 140 \quad \text{para} \quad F_i \geq 3,0 \quad [2.2]$$

Para danos com  $F_p < 10$ , as expressões 2.1 e 2.2, serão multiplicadas pela razão  $F_p/10$ , correspondente a cada fase, resultando nas expressões:

$$D = 0,4 F_i \cdot F_p \quad \text{para} \quad F_i \leq 2,0 \quad [2.3]$$

$$D = (6 F_i - 14) F_p \quad \text{para} \quad F_i \geq 3,0 \quad [2.4]$$

#### 2.9.4 Grau de deterioração de um elemento

O “grau de deterioração de um elemento” (Gde) é determinado em função ao grau do dano proveniente das manifestações encontradas nos elementos. Considerando a quantidade de danos detectados no elemento de “m”, o Gde será determinado segundo as expressões:

$$Gde = D_{\text{máx}} \quad \text{para} \quad m \leq 2,0 \quad [2.5]$$

$$Gde = D_{\text{máx}} + \frac{\sum_{i=1}^{m-1} D(i)}{m-1} \quad \text{para} \quad m > 2,0 \quad [2.6]$$

A justificativa para a formulação é que, num elemento com dois danos deve prevalecer o maior, não fazendo sentido adotar qualquer tipo de média que resultasse inferior ao maior grau de dano ou, de outra forma, somar os graus de danos, pois, em

qualquer dos casos poder-se-ia ter uma idéia equivocada da situação do elemento. No caso em que o número de danos é maior que dois, o grau de deterioração do elemento é obtido somando-se o dano máximo com a média aritmética dos demais danos, (CASTRO, 1994).

De acordo com Lopes, 1998, em sua dissertação de mestrado, prevendo preservar a filosofia adotada por Castro, 1994, fica proposta uma só fórmula para calcular o Gde, com qualquer número de danos, uma vez que no tratamento matemático desenvolvido anteriormente a ocorrência de danos adicionais seriam inseridos através de uma média, que possibilita o estabelecimento de um valor máximo para o grau de deterioração, resultando em grau inferior ao grau real do elemento, conforme a seguinte expressão:

$$Gde = D_{\text{máx}} \left( 1 + \frac{\sum_{i=1}^m D(i) - D_{\text{máx}}}{\sum_{i=1}^m D(i)} \right) \quad [2.7]$$

Boldo, 2002, enfatizou a necessidade da análise individual dos elementos, pois pode acontecer de a estrutura encontrar-se em nível de deterioração aceitável do ponto de vista global, porém os elementos isolados, em função do fator de intensidade, ou grau de deterioração do elemento, necessitar de intervenção imediata ou a curto e médio prazo, seguindo as recomendações da Tabela 2.14.

Tabela 2.14 - Classificação da estrutura conforme o Gde

<b>Nível de deterioração</b>	<b>Gde</b>	<b>Medidas a serem adotadas</b>
Baixo	0 – 15	Estado aceitável. Manutenção preventiva
Médio	15 – 50	Definir prazo/natureza para nova inspeção. Planejar intervenção em médio prazo.
Alto	50 – 80	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em curto prazo.
Crítico	> 80	Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata.

No intuito de garantir maior segurança à estrutura, quando o valor encontrado para o Gde estiver em duas faixas de nível de deterioração, recomenda-se que adote a pior situação. Ex: se o resultado encontrado para Gde for 15, podendo classificar o nível de

deterioração como baixo ou médio, a recomendação é que utilize o nível mais alto, que no exemplo citado seria o nível médio, ao invés de baixo, proporcionando maior segurança quanto estrutural.

### 2.9.5 Grau de deterioração de uma família de elementos

O “grau de deterioração de uma família de elementos” (Gdf) é definido como a média aritmética dos graus de deterioração daqueles elementos que apresentem danos expressivos. Ou seja, o cálculo do grau de deterioração da família deve evidenciar os elementos mais danificados e não ser mascarados por aqueles elementos com deterioração de menor grau, (CASTRO, 1994).

Logo, caracterizando os “danos expressivos” estabeleceu-se o limite  $Gde \geq 15$ , e a expressão será dada por:

$$Gdf = \frac{\sum_{i=1}^n Gde}{n} \quad [2.8]$$

Onde “n” é o número de componentes da família com  $Gde \geq 15$ .

Considerando o  $Gde < 15$ , para todos os elementos, o grau de deterioração da família será zero, não influenciando na determinação do grau de deterioração da estrutura.

BOLDO (2002), seguindo os princípios proposto por LOPES (1998), ressalta a importância do elemento em piores condições de deterioração, no conjunto da família, dando uma idéia mais realista da situação da estrutura, conforme a expressão 2.9.

$$Gdf = Gdemáx \left( 1 + \frac{\sum_{i=1}^m Gde(i) - Gdemáx}{\sum_{i=1}^m Gde(i)} \right) \quad [2.9]$$

### 2.9.6 Fator de relevância estrutural da família de elementos

O “fator de relevância estrutural da família de elementos” (Fr) tem por objetivo caracterizar na família dos elementos a importância relativa ao funcionamento da estrutura.

Para estruturas convencionais, Castro (1994), utilizou uma escala que define o Fr como mostra a seguir:

Fr = 1,0 → Elementos não estruturais de concreto;

Fr = 2,0 → Reservatório superior;

Fr = 3,0 → Escada, rampas, reservatório inferior, cortinas, lajes secundárias;

Fr = 4,0 → Lajes, fundações, vigas secundárias, pilares secundários;

Fr = 5,0 → Vigas e pilares principais.

### 2.9.7 Grau de deterioração da estrutura

O “grau de deterioração da estrutura” (Gd) é definido pela média ponderada dos graus de deterioração das diversas famílias de elementos da edificação, afetados pelos respectivos fatores de relevância estrutural (Fr). Considerando o conjunto de todas as “K” famílias de elementos que compõem a estrutura tem-se:

$$Gd = \frac{\sum_{i=1}^k Fr(i) \cdot Gdf(i)}{\sum_{i=1}^K Fr(i)} \quad [2.10]$$

Onde “k” é o número de famílias de elementos presentes na edificação.

Através do valor obtido na equação 2.10, Gd, classificará o grau de deterioração em que a estrutura se encontra e as medidas de prevenção e/ou manutenção que devem ser tomadas para garantir a integridade da estrutura como um todo, conforme Tabela 2.15.

Tabela 2.15 - Classificação da estrutura conforme o Gd.

<b>Nível de deterioração</b>	<b>Gd</b>	<b>Medidas a serem adotadas</b>
Baixo	0 – 14	Estado aceitável. Manutenção preventiva
Médio	15 – 39	Definir prazo/natureza para nova inspeção. Planejar intervenção em médio prazo.
Alto	40 – 60	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em curto prazo.
Crítico	> 60	Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata.

Os autores ressaltam que nesta classificação “crítico” não quer significar necessariamente colapso da estrutura, mas sim um conjunto de disfunções acumuladas pela obra que a fazem merecer maior ou menor cuidado ou brevidade quanto à sua recuperação, (BOLDO, 2002).

Quando o valor encontrado para o Gd estiver apresentado em duas faixas, recomenda-se que a classificação para o nível de deterioração da estrutura, seja a pior situação, semelhante ao Gde. Ex: se Gd = 60, admitir nível crítico de deterioração garantindo segurança à estrutura.

Ainda proposto por Boldo, 2002, apresentados na Tabela 2.16, os prazos máximos para a execução de intervenções considerando o nível de deterioração do elemento e/ou estrutura.

Tabela 2.16 - Prazo máximo de intervenção em função dos níveis de deterioração dos elementos ou da estrutura.

<b>Nível de deterioração</b>	<b>Prazo máximo para intervenção</b>
Baixo	-----
Médio	2 anos
Alto	1 ano
Crítico	6 meses

## 2.10 TIPOS DE DANOS E CONCEITUAÇÃO

### 2.10.1 Segregação (nichos ou ninho)

Deficiência de concretagem, exposição de agregados, devido à dosagem inadequada, diâmetro máximo característico do agregado graúdo não condizente com as dimensões da peça, espaçamento das armaduras e/ou lançamento e adensamento.

### 2.10.2 Eflorescência

Aparecimento de manchas brancas na superfície, proveniente das águas que penetram no concreto, carregando o hidróxido de cálcio liberado na hidratação do cimento que é extremamente solúvel em água, principalmente as puras. Ocorre frequentemente nas fissuras em lajes, podendo, com o tempo formar estalactites.

### 2.10.3 Desagregação

Fenômeno característico de ataque químico no concreto com perda da capacidade aglomerante da pasta, causando a separação dos agregados.

### 2.10.4 Esfoliação

Ocorrência de lascas que se destacam do concreto por vários motivos, como por exemplo: proveniente de choques, por corrosão da armadura, por pressão ou expansão no interior do concreto, etc.

### 2.10.5 Carbonatação

O dióxido de carbono,  $\text{CO}_2$ , presente no ar penetra através da rede de poros do concreto e reage com os constituintes alcalinos da pasta de cimento, principalmente com o hidróxido de cálcio, formando o  $\text{CaCO}_3$  ao longo do tempo de vida da estrutura.

#### 2.10.6 Flechas excessivas

NBR 6118 (2003), considera que:

- a) As flechas medidas a partir do plano que contem os apoios, quando atuarem todas as ações, não ultrapassarão  $1/300$  do vão teórico, exceto o caso de balanços para os quais não ultrapassarão  $1/500$  do seu comprimento teórico;
- b) O deslocamento causado pelas cargas acidentais não será superior a  $1/500$  do vão teórico e  $1/250$  do comprimento teórico dos balanços.

#### 2.10.7 Manchas de corrosão

São geralmente manchas marrom-avermelhadas ou esverdeadas na superfície do elemento estrutural devido à lixiviação do óxido de corrosão formado sobre as armaduras.

#### 2.10.8 Corrosão por cloretos

Devido ao emprego de aditivos a base de cloretos na execução do concreto, principalmente em concretos pré-moldados ou a penetração de cloretos provenientes do meio ambiente (região marítima) ou contaminação. Como consequência pode ocorrer fissuras generalizadas sobre a armadura e manchas escurecidas devido à retenção de umidade, criando fungos no concreto.

#### 2.10.9 Manchas

Devido ao aparecimento de fungos, mofos, etc., a exemplo de manchas negras na fachada.

#### 2.10.10 Infiltração

Danos na impermeabilização, deficiência no escoamento de águas pluviais, vazamento em tubulações.

## **CAPÍTULO 3**

### **PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL E RESULTADOS**

#### **3.1 PLANEJAMENTO DA PESQUISA**

A metodologia utilizada parte da identificação das manifestações patológicas encontrados nas estruturas de concreto armado de edifícios residenciais e busca estabelecer procedimentos de inspeção e avaliação das estruturas através da determinação de graus de deterioração da estrutura e de seus elementos isolados, com o intuito de subsidiar planos de manutenção das estruturas ao longo do tempo.

##### **3.1.1 Classificação dos ambientes pesquisados**

Os edifícios inspecionados foram residenciais, com idades entre vinte e trinta anos, localizados no bairro de Candeias, Jaboatão dos Guararapes/PE, em regiões de zona marinha, cuja agressividade ambiental é de Classe III, segundo a NBR 6118/2003.

##### **3.1.2 Descrição das edificações**

O primeiro edifício, denominado como Ed. A, tem 20 anos de construído e distância de 300 m da orla marítima de Candeias. Conta com três pavimentos tipo de apartamentos e o pavimento térreo. Sua fachada é originalmente revestida com pastilhas e os pilares do térreo revestidos com azulejo, que já faz parte da intervenção do condomínio.

A 100 m da orla marítima está localizado o segundo edifício estudado, que tem 25 anos de construído e é constituído também por três pavimentos tipo de apartamento e o pavimento térreo, que serve de garagem. Este denominado Ed. B tem a fachada revestida com cerâmica em três das suas faces e a última é apenas revestida em argamassa e pintura.

O último edifício foi denominado como Ed. C, também tem 20 anos e distância de 100 m da orla marítima, e sofreu interdições ainda na construção. A construtora não concluiu o prédio e o entregou inacabado, sendo finalizado pelos próprios condôminos. É constituído por sete pavimentos tipo de apartamento e o pavimento pilotis, que como os outros, serve de garagem. Sua fachada tinha revestimento em pastilhas, porém estava sendo substituída por cerâmica quando estávamos inspecionando a estrutura.

## **3.2 PLANEJAMENTO DO EXPERIMENTO E RESULTADOS**

### **3.2.1 Caracterização do ambiente**

A pesquisa foi realizada em edifícios de concreto armado com altura entre três e sete pavimentos, localizados em Classe de agressividade ambiental III. Os elementos inspecionados foram lajes, vigas, pilares e reservatórios, porém, para as fundações não houve permissão do condomínio em nenhum dos três edifícios.

Foram realizados ensaios de esclerometria, profundidade de carbonatação e velocidade do pulso ultra-sônico, no pavimento térreo (pilotis), onde se localizam as garagens dos três prédios. Houve dificuldade para realização dos ensaios, pois ainda não é prática comum nas inspeções realizadas no Estado, não existindo o equipamento ou não estando disponível como também dificuldade na autorização do condomínio para execução dos mesmos.

### **3.2.2 Edificação A**

#### **3.2.2.1 Inspeção visual**

No edifício A, em inspeção visual, foi possível observar destacamento das pastilhas na fachada, fissuras em algumas vigas de bordo do pavimento de pilotis e infiltrações

localizadas na laje de teto do pilotis, proveniente das instalações hidrossanitárias. Obteve-se informações do condomínio que houveram tentativas para correção da infiltração, porém sem sucesso. Com relação à manutenção, o condomínio informou que é realizada sempre que necessário e possível financeiramente para os condôminos.

Na Figura 3.1 é possível observar fissura em viga de bordo, com possibilidade de destacamento da peça de concreto.

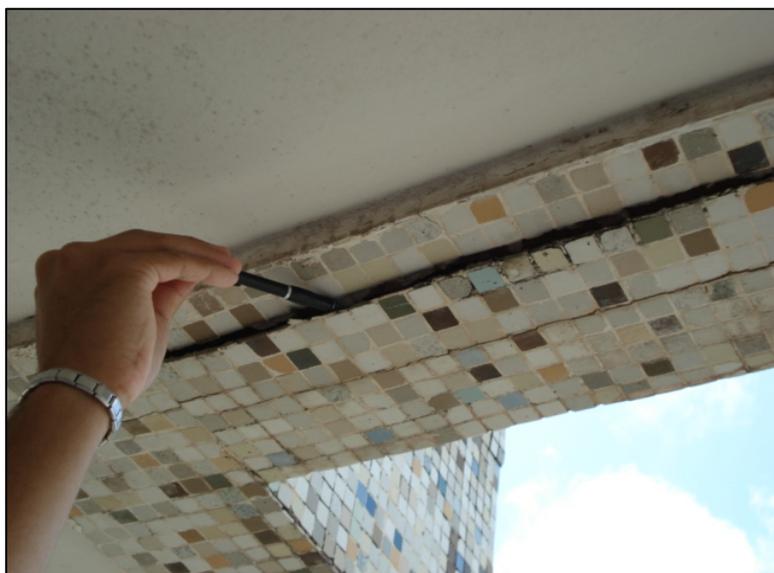


Foto 3.1 - Fissura em viga de bordo do Ed A

### 3.2.2.2 Ensaio realizados

#### a) Ensaio de velocidade do pulso ultra-sônico

Na Tabela 3.1 estão relacionados os pilares estudados, que foram escolhidos aleatoriamente e seus respectivos resultados.

Tabela 3.1 - Ensaio de velocidade do pulso ultra-sônico na Ed. A.

Pilares	V (m/s)	Qualidade do concreto
P1	4050	Durável
P2	3850	Alta
P20	4000	Alta

A Figura 3.2, apresenta a realização do ensaio de velocidade do pulso ultra-sônico, através de medição direta, realizado em pilar de fachada que apresenta descolamento do revestimento cerâmico.

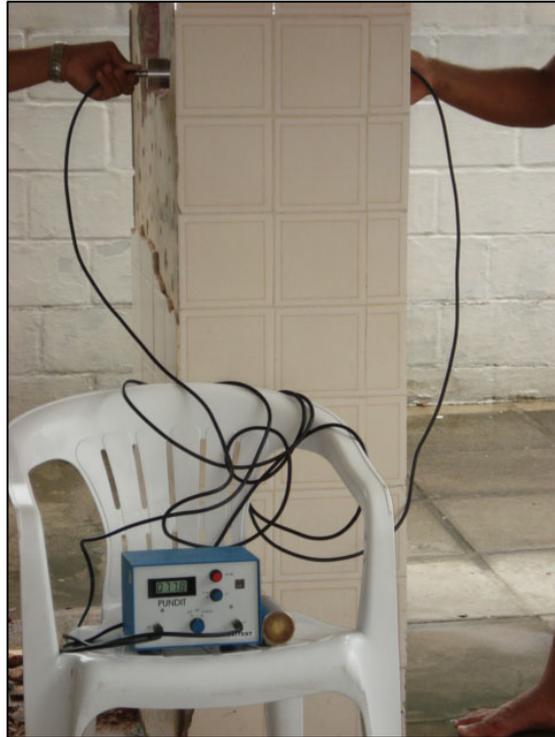


Foto 3.2 - Ensaio de velocidade do pulso ultra-sônico no P1 do Ed A

Apesar da variação observada, nos resultados obtidos neste ensaio a qualidade do concreto é considerada boa segundo a classificação de Ricon et al (1998).

b) Ensaio de esclerometria

A Tabela 3.2 relaciona os pilares e os respectivos resultados para o ensaio de esclerometria para o Ed A.

Tabela 3.2 - Ensaio de esclerometria na Ed. A.

Pilares	Índice esclerométrico
P1	46
P2	36
P4	30

A Foto 3.3 é referente ao ensaio de esclerometria, realizado em pilar no pilotis do edifício.



Foto 3.3 - Ensaio de esclerometria no P4 do Ed A

c) Ensaio de profundidade de carbonatação

A profundidade de carbonatação encontrada nos pilares ensaiados deste edifício não alcançou a armadura. Abaixo está apresentada Tabela 3.3 referente à profundidade de carbonatação do Ed A.

Tabela 3.3 - Ensaio de profundidade de carbonatação na Ed. A.

Pilares	Prof Carbonatação (mm)	Cobrimento (mm)
P1	0	20
P5	1	18
P20	0	20

Na Foto 3.4 é possível observar a realização do ensaio de profundidade de carbonatação e a pequena espessura carbonatada.

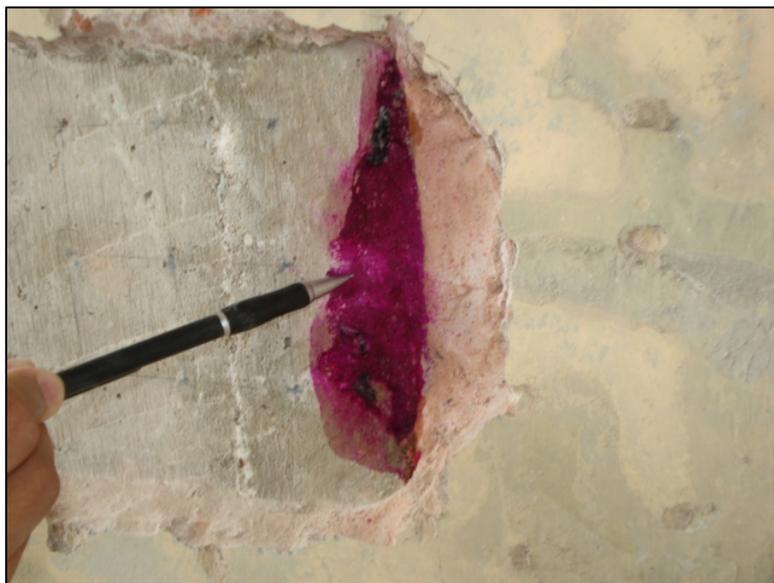


Foto 3.4 - Ensaio de profundidade de carbonatação no P20 do Ed A

### 3.2.2.3 Quantificação de danos

#### 3.2.2.3.1 Grau de deterioração dos elementos da estrutura

##### a) Pilares

A estrutura do edifício é composta por 10 pilares e foram encontrados danos em apenas 3 deles. A partir dos danos encontrados foi calculado o grau de deterioração desta família, segundo o Gde1 expressão desenvolvida por Castro (1994) e Gde2, por Lopes (1998).

Na Tabela a seguir estão relacionadas às patologias encontradas no decorrer da inspeção.

Tabela 3.4 - Avaliação dos danos e grau de deterioração do elemento pilar do Ed. A.

PILARES	DANOS	Fi	Fp	D	m	Gde1	Gde2
P3	desv geometria	2	8	6,4	1	6,4	6,4
P5	Segregação	1	6	2,4	1	2,4	2,4
P8	Esfoliação	1	8	3,2	1	3,2	3,2

Gde1 – Cálculo do Gde pela expressão utilizada por Castro, 1994.

Gde2 – Cálculo do Gde pela expressão utilizada por Lopes, 1998 e Boldo, 2002.

Para esta situação observa-se que os graus de deterioração dos elementos foram iguais, tanto na utilização da formulação proposta por Castro (1994) e a proposta por Lopes (1998), pois os pilares analisados tinham apenas um dano. E para o Gdf fica considerado o valor zero, pois em nenhum dos pilares foi evidenciado danos com  $Gde \geq 15$ , que indica iniciação para propagação do dano, conforme metodologia apresentada na seção 2.10.5.

Através da análise dos resultados é possível observar, na Figura 3.1, que na família de pilar do Ed A, foi encontrado apenas três danos, sendo o desvio de geometria o dano mais intenso apresentando 50 % de representatividade para esta família, e 25 % para os danos de segregação e esfoliação.

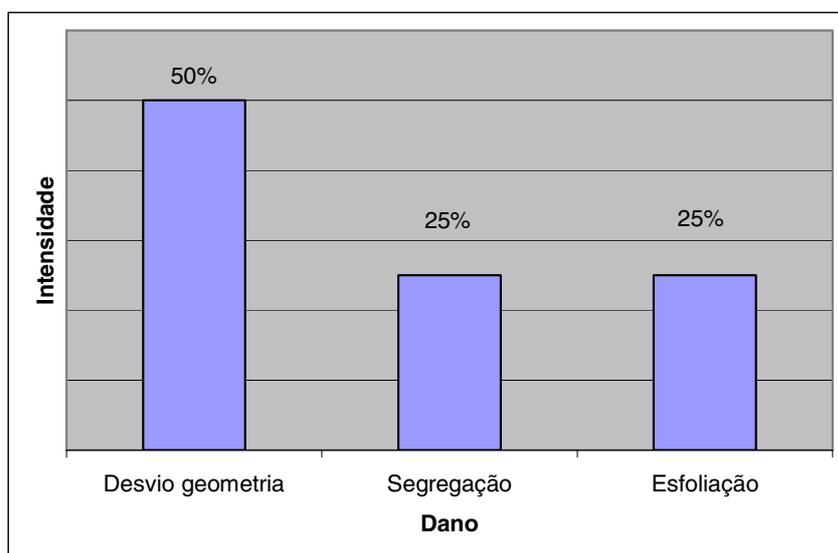


Figura 3.1 - Intensidade do dano na família de pilar do Ed A.

## b) Vigas

Apesar de apresentar danos em apenas duas vigas, podemos observar que foram danos de intensidade consideravelmente alta, uma vez que foi observada corrosão da armadura, conforme Tabela 3.5.

Tabela 3.5 - Avaliação dos danos e grau de deterioração do elemento viga do Ed. A.

VIGAS	DANOS	Fi	Fp	D	m	Gde1	Gde2
Lateral direita	Esfoliação	2	8	6,4	1	6,4	6,4
Escada	Esfoliação	3	8	32	2	32	46,93
	Corrosão	3	7	28			

Gde1 – Cálculo do Gde pela expressão utilizada por Castro, 1994.

Gde2 – Cálculo do Gde pela expressão utilizada por Lopes, 1998 e Boldo, 2002.

A Foto 3.5, mostra o destacamento de uma das vigas do edifício, sendo esta da fachada.



Foto 3.5 - Destacamento da viga de concreto armado do Ed A

## c) Lajes

Conforme a Tabela 3.6 os danos encontrados na laje foram pontuais, porém encontram-se em estado avançado.

Tabela 3.6 - Avaliação dos danos e grau de deterioração do elemento laje do Ed. A.

DANOS	Fi	Fp	D	m	Gde1	Gde2
cobrimento deficiente	2	6	4,8			
Corrosão	2	7	5,6	4	28,8	33,03
Infiltração	3	6	24			
Eflorescência	2	5	4			

Gde1 – Cálculo do Gde pela expressão utilizada por Castro, 1994.

Gde2 – Cálculo do Gde pela expressão utilizada por Lopes, 1998 e Boldo, 2002.

Para a família de laje a Figura 3.2, apresenta a intensidade de 22,22 % dos danos para deficiência no cobrimento, corrosão da armadura e eflorescência, e 33,34 % para infiltração.

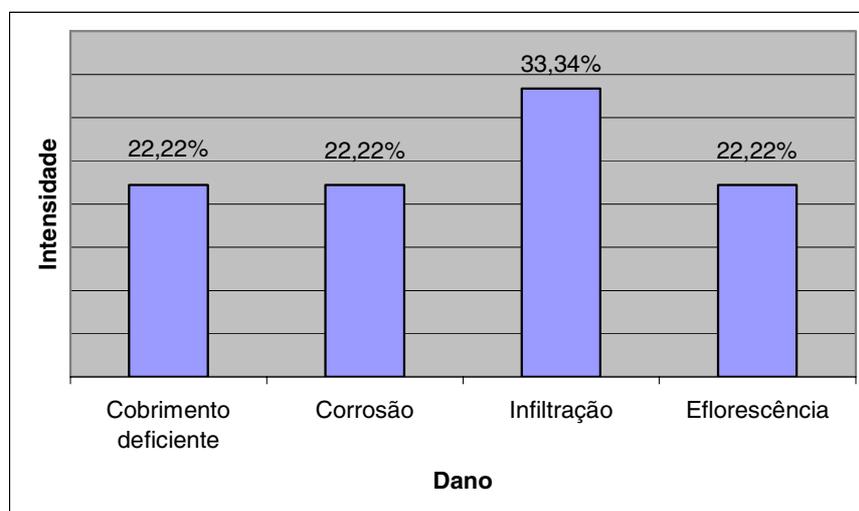


Figura 3.2 - Intensidade do dano na família de laje do Ed A.

Na Foto 3.6 é possível observar a eflorescência, provocada pela infiltração na laje de teto do pilotis. E na Foto 3.7, a exposição dos ferros da laje, como também resto de madeira utilizada como forma da viga, ainda na construção do edifício.



Foto 3.6 – Eflorescência na laje do Ed A

Resto de madeira



Foto 3.7 - Corrosão da armadura da laje do Ed A

d) Reservatório

Na inspeção visual e através de questionamento aos moradores, não foram averiguados danos nos reservatórios.

### 3.2.2.3.2 Grau de deterioração da estrutura

A Tabela 3.7 apresenta o grau de deterioração da estrutura considerando a deterioração de cada elemento e o fator de relevância estrutural.

Tabela 3.7 - Grau de deterioração da estrutura do Ed. A.

Família	Gdf1	Gdf2	Gdf2	Fr	K	Gd1	Gd2	Gd3
Pilares	-	-	-	5	2	31	40	40
Vigas	32	47	47	4				
Lajes	29	33	33	4				
Resrv inferior	-	-	-	3				

Gdf1 – Cálculo do Gdf pela expressão utilizada por Castro, 1994.

Gdf2 – Cálculo do Gdf pela expressão utilizada por Lopes, 1998.

Gdf3 – Cálculo do Gdf pela expressão utilizada por Boldo, 2002.

Gd1 – Cálculo do Gd pela expressão utilizada por Castro, 1994.

Gd2 – Cálculo do Gd pela expressão utilizada por Lopes, 1998.

Gd3 – Cálculo do Gd pela expressão utilizada por Boldo, 2002.

Conforme classificação do nível de deterioração da estrutura proposto, a Ed A enquadra-se em nível médio, para Gd1 de 31, e alto para Gd2 e Gd3 de 40, recomendando-se intervenções com prazo máximo de 2 anos, para Gd1, e 1 ano para Gd2 e Gd3.

Na Figura 3.3, estão apresentados os danos encontrados na Ed A, de acordo com a quantidade de vezes que foi observado em toda a estrutura.

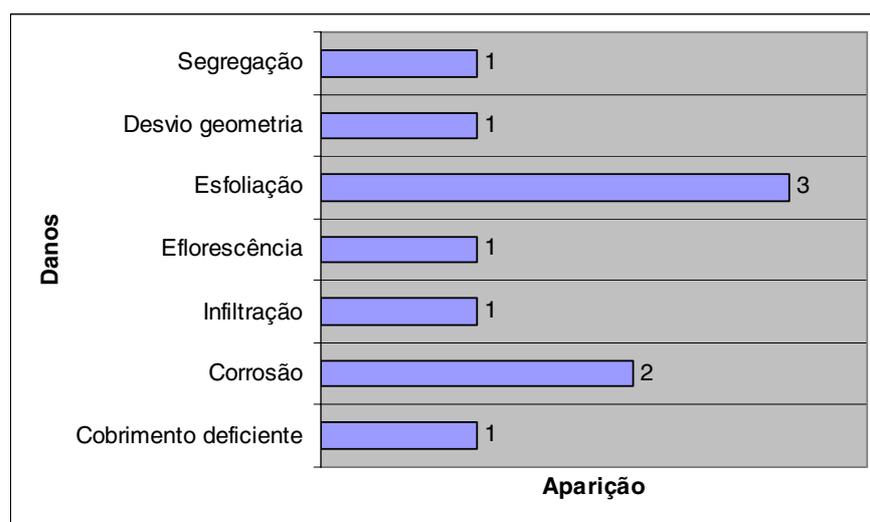


Figura 3.3 - Danos observados na estrutura do Ed A.

### 3.2.2.4 Cálculo da vida útil estimada

Para o componente estrutural, acessível será considerado 50 anos, de VUR, por ser o valor presumido na NBR 6118:2003 com os coeficientes de segurança adotados, conforme Tabela 3.8.

Tabela 3.8 – Valores dos fatores utilizados no Ed A.

Classe dos fatores	Características do fator	Valor do fator
A	Qualidade do componente: concreto armado, $f_{ck} = 15 \text{ MPa}$	0,8
B	Nível do projeto: normal	1,0
C	Nível de execução do Trabalho: concreto executado no local, sem controle.	1,0
D	Ambiente interno agressivo influência de águas servidas, umidade elevada.	1,0
E	Ambiente externo: protegido de vento e chuva.	1,0
F	Condições de uso: normal	1,0
G	Nível de manutenção: inexistente.	0,8

Portanto:  $VUE = VUR \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,8 = 0,64 VUR$  anos.

Considerando referências normativas,  $VUR = 50$  anos.

Logo,  $VUE$  resulta em 32 anos.

## 3.2.3 Edificação B

### 3.2.3.1 Inspeção visual

Através de inspeção visual foram observadas algumas patologias no edifício B, que necessitam de intervenções imediatas, com o intuito de minimizar possíveis danos à estabilidade da edificação. As infiltrações na laje de teto do pilotis provém de danos nas instalações hidrossanitárias. A corrosão da armadura apresenta-se em lajes, pilares e vigas,

estando em algumas situações em estado avançado, existindo também descolamento de placas de cerâmica na fachada, entre outras patologias, que caracterizam falhas na fase de execução da estrutura.

Foi observado também que os serviços de manutenção e reparos são executados inadequadamente, constatando-se ainda que parte do condomínio não concorda com a necessidade de manutenção periódica.

Na Foto 3.8, é possível observar que existe resto de madeira, que foi utilizado como forma na construção da edificação, semelhante ao Ed A, com corrosão de armadura e perda de seção nominal das barras.



Foto 3.8 - Corrosão de armadura de viga com perda de seção no Ed B

### 3.2.3.2 Ensaio realizados

#### a) Ensaio de velocidade do pulso ultra-sônico

Na Tabela 3.9 estão relacionados os pilares vistoriados, que foram escolhidos aleatoriamente e seus respectivos resultados, para o ensaio de ultra-som.

Tabela 3.9 - Ensaio de velocidade do pulso ultra-sônico na Ed. B.

Pilares	V (m/s)	Qualidade do concreto
P9	4045	Durável
P13	3600	Alta
P18	4060	Durável
P20	3950	Alta
P23	4060	Durável
P22	3670	Alta

Apesar da variação observada, nos resultados obtidos neste ensaio a qualidade do concreto é considerada boa segundo a classificação de Ricon et al (1998).

b) Ensaio de esclerometria

A Tabela 3.10 relaciona os pilares e os respectivos resultados para o ensaio de esclerometria.

Tabela 3.10 - Ensaio de esclerometria na Ed. B.

Pilares	Índice esclerométrico
P4	45
P9	41
P13	23
P18	33
P20	36
P23	40
P22	15

c) Ensaio de profundidade de carbonatação

Foram ensaiados os pilares P 4, 9, 13, 18. Apesar dos ensaios de ultra-som terem caracterizado o concreto destes pilares em qualidade alta e durável, foi encontrado superfície carbonatada, como mostra a Tabela 3.11.

Tabela 3.11 - Ensaio de profundidade de carbonatação na Ed. B.

Pilares	Prof Carbonatação (mm)	Cobrimento (mm)
P4	20	20
P9	15	15
P13	> 20	20
P18	15	15

Apesar da variação encontrada no cobrimento, é possível observar que a execução da obra condiz com a NB1 (1978), em vigor na época, que recomenda cobrimento mínimo de 1,5 cm para concreto armado submetido a ambientes na classe de agressividade III. E mesmo com o cobrimento recomendado é possível observar que a espessura carbonatada alcança a armadura, conforme Foto 3.9.



Foto 3.9 - Ensaio de profundidade de carbonatação no P9 do Ed B

## 3.2.3.3 Quantificação de danos

## 3.2.3.3.1 Grau de deterioração dos elementos da estrutura

## a) Pilares

A Tabela 3.12 apresenta os danos encontrados em 22 dos 24 pilares do Ed B. Analisando-se os dados encontrados observa-se 41 danos nos pilares.

Tabela 3.12 - Avaliação dos danos e grau de deterioração do elemento pilar na Ed. B.

PILARES	DANOS	Fi	Fp	D	m	Gde1	Gde2
P1	Fissura	2	10	8	1	8	8
P2	Fissura	2	10	8	1	8	8
P3	Fissura	2	10	8	2	32	38,4
	Esfoliação	3	8	32			
P4	Carbonatação	2	7	5,6	1	5,6	5,6
P5	Esfoliação	2	8	6,4	1	6,4	6,4
P6	Segregação	2	6	4,8	3	32,8	35,15
	Corrosão	3	7	28			
	Cob insuf	2	6	4,8			
P7	Esfoliação	2	8	6,4	2	6,4	8,15
	Segregação	1	6	2,4			
P9	Carbonatação	3	7	28	1	28	28
P10	Esfoliação	3	8	32	2	32	36,76
	Corrosão	2	7	5,6			
P13	Carbonatação	2	7	5,6	2	5,6	7,93
	Fissura	1	10	4			
P14	Esfoliação	3	8	32	1	32	32
P16	Fissura	4	10	100	1	100	100
P17	Esfoliação	2	8	6,4	1	6,4	6,4
P18	Carbonatação	3	7	28	1	28	28
P19	Esfoliação	3	8	32	2	32	46,93
	Corrosão	3	7	28			
P21	Esfoliação	3	8	32	1	32	32
P22	Fissura	1	10	4	1	4	4
P23	Esfoliação	3	8	32	1	32	32
P24	Esfoliação	3	8	32	2	70	70
	Corrosão	4	7	70			

Gde1 – Cálculo do Gde pela expressão utilizada por Castro, 1994.

Gde2 – Cálculo do Gde pela expressão utilizada por Lopes, 1998 e Boldo, 2002.

A Foto 3.10, apresenta destacamento do pilar na parte superior da peça, com exposição da armadura e manchas de umidade, proveniente de instalações hidrossanitárias.



Foto 3.10 - Destacamento do pilar com exposição da armadura em processo de corrosão do Ed B

b) Vigas

A Tabela 3.13 apresenta os danos encontrados nas vigas do Ed. B, onde o Gde1 e Gde2 foram obtidos pelas expressões utilizadas por Castro, 1994 e Lopes, 1998; Boldo, 2002, respectivamente.

Tabela 3.13 - Avaliação dos danos e grau de deterioração do elemento viga na Ed. B.

VIGAS	DANOS	Fi	Fp	D	m	Gde1	Gde2
fundos	Cob deficiente	2	6	4,8	4	82,8	94,79
	Esfoliação	3	8	32			
	Segregação	1	4	1,6			
	Corrosão	4	7	70			
Lateral esquerda	Cob deficiente	2	6	4,8	4	82,8	94,79
	Esfoliação	3	8	32			
	Segregação	1	4	1,6			
	Corrosão	4	7	70			

VIGAS	DANOS	Fi	Fp	D	m	Gde1	Gde2
Lateral direita	Esfoliação	2	8	6,4	3	104,8	108,75
	Fissura	4	10	100			
	Segregação	2	4	3,2			
Frontal	Cob deficiente	3	6	24	2	24	28,54
	Corrosão	2	7	5,6			

Gde1 – Cálculo do Gde pela expressão utilizada por Castro, 1994.

Gde2 – Cálculo do Gde pela expressão utilizada por Lopes, 1998 e Boldo, 2002.

Nas Fotos 3.11 e 3.12, é possível observar danos de destacamento da peça, recobrimento insuficiente e oxidação da armadura, nas vigas da Ed B.



Foto 3.11 - Estribo da viga exposto apresentando corrosão do Ed B



Foto 3.12 - Destacamento e oxidação da viga do Ed B

c) Lajes

No decorrer da inspeção, observou-se infiltração na laje proveniente de danos nas instalações hidrossanitárias, conforme a Tabela 3.14 abaixo:

Tabela 3.14 - Avaliação dos danos e grau de deterioração do elemento laje na Ed. B.

<b>DANOS</b>	<b>Fi</b>	<b>Fp</b>	<b>D</b>	<b>m</b>	<b>Gde1</b>	<b>Gde2</b>
Cobrimento deficiente	2	6	4,8			
Corrosão	2	7	5,6	3	29,2	31,25
Infiltração	3	6	24			

Gde1 – Cálculo do Gde pela expressão utilizada por Castro, 1994.

Gde2 – Cálculo do Gde pela expressão utilizada por Lopes, 1998 e Boldo, 2002.

Para a família de laje a Figura 3.4, apresenta a intensidade de 28,57 % dos danos para deficiência no cobrimento e corrosão da armadura, e 42,86 % para infiltração.

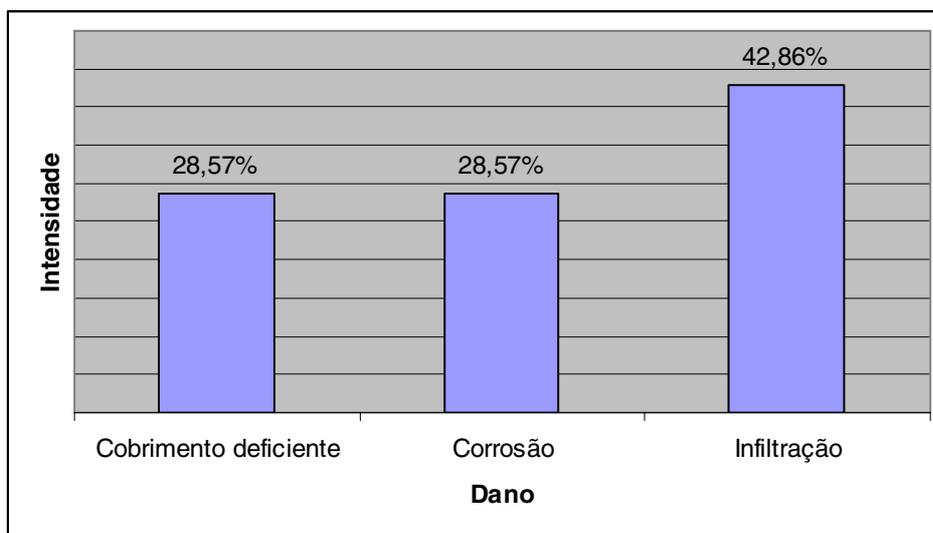


Figura 3.4 - Intensidade do dano na família de laje do Ed B.

d) Reservatório inferior

Para o reservatório inferior os danos encontrados estão relacionados na Tabela 3.15.

Tabela 3.15 - Avaliação dos danos e grau de deterioração do elemento reservatório na Ed. B.

DANOS	Fi	Fp	D	m	Gde1	Gde2
Impermeabilização danificada	2	8	6,4	2	8	11,55
Vazamento	2	10	8			

Gde1 – Cálculo do Gde pela expressão utilizada por Castro, 1994.

Gde2 – Cálculo do Gde pela expressão utilizada por Lopes, 1998 e Boldo, 2002.

De acordo com a Tabela 3.15, 50 % dos danos são relativos à impermeabilização deteriorada e os outros 50 % a vazamentos.

### 3.2.3.3.2 Grau de deterioração da estrutura

Na Tabela 3.16 estão relacionados os graus de deterioração da estrutura para o Edifício B.

Tabela 3.16 - Grau de deterioração da estrutura do Ed. B.

Família	Gdf1	Gdf2	Gdf2	Fr	K	Gd1	Gd2	Gd3
Pilares	41	46	180	5	3	47	52	134
Vigas	74	82	181	4				
Lajes	29	31	31	4				
Resrv inferior	-	-	-	3				

Gdf1 – Cálculo do Gdf pela expressão utilizada por Castro, 1994.

Gdf2 – Cálculo do Gdf pela expressão utilizada por Lopes, 1998.

Gdf3 – Cálculo do Gdf pela expressão utilizada por Boldo, 2002.

Gd1 – Cálculo do Gd pela expressão utilizada por Castro, 1994.

Gd2 – Cálculo do Gd pela expressão utilizada por Lopes, 1998.

Gd3 – Cálculo do Gd pela expressão utilizada por Boldo, 2002.

De acordo com os danos encontrados a Ed B, classifica-se em nível de deterioração alto para Gd1 e Gd2, necessitando de intervenção em curto prazo, máximo de 1 ano. E nível crítico de deterioração para Gd3 de 134, necessitando de intervenção imediata, com prazo máximo de 6 meses, para restabelecer a funcionalidade da estrutura.

Na Figura 3.5, estão apresentados os danos encontrados na edificação B, de acordo com a quantidade de vezes que foi observado em toda a estrutura.

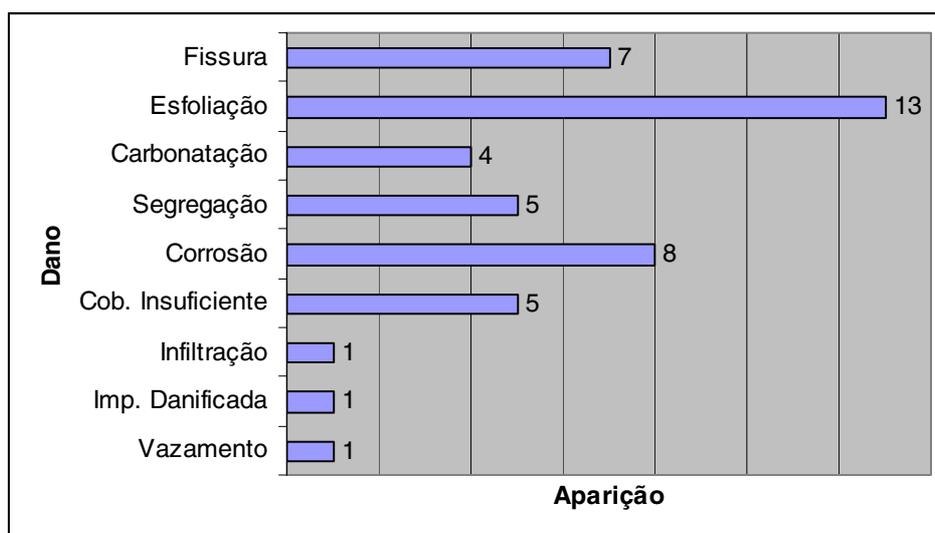


Figura 3.5 - Danos observados na estrutura do Ed B.

### 3.2.3.4 Cálculo da vida útil estimada

Para o componente estrutural, acessível será considerado 50 anos, de VUR, por ser o valor presumido na NBR 6118:2003 com os coeficientes de segurança adotados, conforme Tabela 3.17.

Tabela 3.17 – Valores dos fatores utilizados no Ed B.

Classe dos fatores	Características do fator	Valor do fator
A	Qualidade do componente: concreto armado, $f_{ck} = 15 \text{ MPa}$	0,8
B	Nível do projeto: normal	1,0
C	Nível de execução do Trabalho: concreto executado no local, sem controle.	0,8
D	Ambiente interno agressivo influência de águas servidas, umidade elevada.	1,0
E	Ambiente externo: protegido de vento e chuva.	0,8
F	Condições de uso: normal	1,0
G	Nível de manutenção: inexistente.	0,8

Portanto:  $VUE = VUR \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 0,8 = 0,41 VUR$  anos.

Considerando referências normativas,  $VUR = 50$  anos.

Logo,  $VUE$  resulta em 21 anos.

## 3.2.4 Edificação C

### 3.2.4.1 Inspeção visual

No edifício denominado C existe corrosão de armadura em pontos distintos da estrutura, que em algumas situações já atingiu a armadura principal. Na fachada é possível observar o estufamento do reboco, e também é possível observar que existem infiltrações na laje de teto do pilotis proveniente da danos nas instalações hidrossanitárias. Para

manutenção do prédio e reparo destas patologias, há uma empresa trabalhando, contratada pelo condomínio e assessorada pelo engenheiro calculista da obra.



Foto 3.13 - Reparo em vigas de bordo do Ed C

#### 3.2.4.2 Ensaios realizados

##### a) Ensaio de velocidade do pulso ultra-sônico

Na Tabela 3.18, serão apresentados os pilares e respectivos resultados para o ensaio de ultra-som.

Tabela 3.18 – Ensaio de velocidade do pulso ultra-sônico na Ed. C.

Pilares	V (m/s)	Qualidade do concreto
P1	3900	Alta
P8	4020	Durável
P10	4062	Durável
P14	3870	Alta
P20	3900	Alta

## b) Ensaio de esclerometria

Seguindo a metodologia semelhante aos demais prédios, com 9 impactos em cada pilar, utilizando o esclerômetro de reflexão na posição horizontal, e o cálculo da média aritmética nos resultados descartando os valores com variação de  $\pm 5$  unidades do valor médio das leituras, apresenta-se na Tabela 3.19 os resultados encontrados.

Tabela 3.19 - Ensaio de esclerometria na Ed. C.

Pilares	Índice esclerométrico
P1	42
P8	30
P10	22
P14	38
P20	32

## c) Ensaio de profundidade de carbonatação

Para o ensaio de carbonatação os resultados obtidos estão relacionados na tabela a seguir, onde é possível observar que em alguns pilares a carbonatação está alcançando a armadura.

Tabela 3.20 - Ensaio de profundidade de carbonatação na Ed. C.

Pilares	Prof Carbonatação (mm)	Cobrimento (mm)
P5	10	20
P8	25	25
P10	20	20
P14	10	20
P20	20	20

## 3.2.4.3 Quantificação de danos

## 3.2.4.3.1 Grau de deterioração dos elementos da estrutura

## a) Pilares

A Tabela 3.21 apresenta os danos encontrados em 10 dos 20 pilares do Ed C. Analisando-se os dados encontrados observa-se 12 danos nos pilares.

Tabela 3.21 - Avaliação dos danos e grau de deterioração do elemento pilar na Ed. C.

<b>PILARES</b>	<b>DANOS</b>	<b>Fi</b>	<b>Fp</b>	<b>D</b>	<b>m</b>	<b>Gde1</b>	<b>Gde2</b>
P1	Fissura	1	10	4	1	4	4
P2	Fissura	2	10	8	1	8	8
P3	Desv geometria	2	8	6,4	1	6,4	6,4
P5	Carbonatação	1	7	2,8	1	2,8	2,8
P6	Desv geometria	2	8	6,4	3	49,2	48,58
	Corrosão	3	7	28			
	Esfoliação	3	8	32			
P8	Carbonatação	2	7	5,6	1	5,6	5,6
P10	Carbonatação	2	7	5,6	1	5,6	5,6
P14	Carbonatação	1	7	28	1	28	28
P18	Fissura	1	10	4	1	4	4
P20	Carbonatação	2	7	5,6	1	5,6	5,6

Gde1 – Cálculo do Gde pela expressão utilizada por Castro, 1994.

Gde2 – Cálculo do Gde pela expressão utilizada por Lopes, 1998 e Boldo, 2002.

Através dos resultados encontrados, no grau de deterioração dos elementos pilares, é possível observar que o P6, é o que apresenta maior quantidade de danos, onde o desvio de geometria representa 25 % dos danos encontrados neste elemento, e corrosão de armadura e esfoliação representam 37,5 % cada um, conforme Figura 3.6.

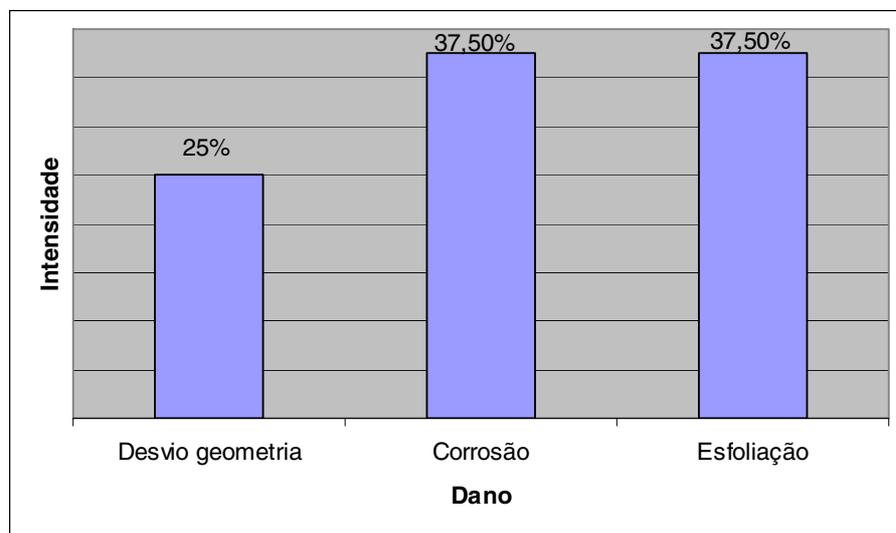


Figura 3.6 - Intensidade do dano no P6 do Ed C.

b) Vigas

Podemos observar na Tabela 3.22 que foi encontrado apenas um dano em uma viga do edifício C.

Tabela 3.22 - Avaliação dos danos e grau de deterioração do elemento viga na Ed. C.

VIGAS	DANOS	Fi	Fp	D	m	Gde1	Gde2
Lateral direita	Corrosão	3	7	28	1	28	28

Gde1 – Cálculo do Gde pela expressão utilizada por Castro, 1994.

Gde2 – Cálculo do Gde pela expressão utilizada por Lopes, 1998 e Boldo, 2002.

É possível observar na Foto 3.14, que existe estribos rompidos, e que o material utilizado para a reconstituição da peça é argamassa de cimento, areia e cal, que está sendo usada no reboco da fachada.



Foto 3.14 - Reparo indevido em corrosão da armadura da viga do Ed C.

c) Lajes

Conforme Tabela 3.23, abaixo apresentada, o dano encontrado na laje foi pontual e em estado inicial.

Tabela 3.23 - Avaliação dos danos e grau de deterioração do elemento laje na Ed. C.

<b>DANOS</b>	<b>Fi</b>	<b>Fp</b>	<b>D</b>	<b>m</b>	<b>Gde1</b>	<b>Gde2</b>
Infiltração	2	6	4,8	1	4,8	4,8

Gde1 – Cálculo do Gde pela expressão utilizada por Castro, 1994.

Gde2 – Cálculo do Gde pela expressão utilizada por Lopes, 1998 e Boldo, 2002.

d) Reservatório

Na inspeção visual e através de questionamento aos moradores, não foram constatados danos aos reservatórios.

### 3.2.4.3.2 Grau de deterioração da estrutura

A Tabela 3.24 apresenta o grau de deterioração da estrutura considerando a deterioração de cada elemento e o fator de relevância estrutural. E na Figura 3.7, os danos encontrados na Ed C, de acordo com a quantidade de vezes que foi observado em toda a estrutura.

Tabela 3.24 - Grau de deterioração da estrutura do Ed C.

Família	Gdf1	Gdf2	Gdf2	Fr	K	Gd1	Gd2	Gd3
Pilares	39	38	67	5	2	34	34	50
Vigas	28	28	28	4				
Lajes	-	-	-	4				
Resrv inferior	-	-	-	3				

Gdf1 – Cálculo do Gdf pela expressão utilizada por Castro, 1994.

Gdf2 – Cálculo do Gdf pela expressão utilizada por Lopes, 1998.

Gdf3 – Cálculo do Gdf pela expressão utilizada por Boldo, 2002.

Gd1 – Cálculo do Gd pela expressão utilizada por Castro, 1994.

Gd2 – Cálculo do Gd pela expressão utilizada por Lopes, 1998.

Gd3 – Cálculo do Gd pela expressão utilizada por Boldo, 2002.

De acordo com os danos encontrados a Ed C, classifica-se esta em nível de deterioração médio para Gd1 e Gd2, necessitando de intervenção em médio prazo, máximo de 2 anos. E nível alto de deterioração para Gd3 de 50, necessitando de intervenção com prazo máximo de 1 ano.

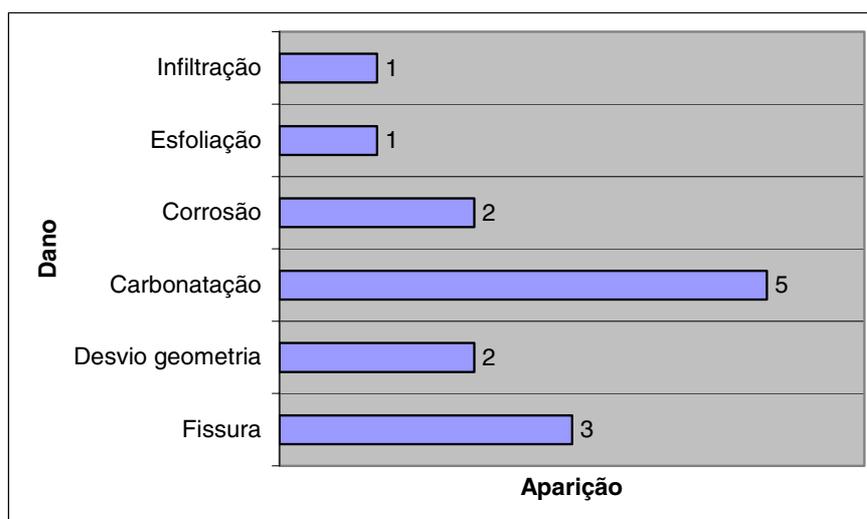


Figura 3.7 - Danos observados na estrutura do Ed C.

### 3.2.4.4 Cálculo da vida útil estimada

Para o componente estrutural, acessível será considerado 50 anos, de VUR, por ser o valor presumido na NBR 6118:2003 com os coeficientes de segurança adotados, conforme Tabela 3.25.

Tabela 3.25 – Valores dos fatores utilizados no Ed C.

Classe dos fatores	Características do fator	Valor do fator
A	Qualidade do componente: concreto armado, $f_{ck} = 15 \text{ MPa}$	0,8
B	Nível do projeto: normal	1,0
C	Nível de execução do Trabalho: concreto executado no local, sem controle.	0,8
D	Ambiente interno agressivo influência de águas servidas, umidade elevada.	1,0
E	Ambiente externo: protegido de vento e chuva.	1,0
F	Condições de uso: normal	1,0
G	Nível de manutenção: inexistente.	0,8

Portanto:  $VUE = VUR \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,8 = 0,51 VUR$  anos.

Considerando referências normativas,  $VUR = 50$  anos.

Logo,  $VUE$  resulta em 26 anos.

## **CAPÍTULO 4**

### **DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

#### **4.1 INSPEÇÃO VISUAL**

Através de inspeção visual, seguindo as recomendações do checklist, foi observado que as três estruturas estudadas apresentam desgaste em pontos distintos, sendo os pilares, o elemento mais deteriorado dos edifícios, com exceção do Edifício A, que tem os pilares revestidos com cerâmica, propiciando assim maior proteção física a agentes agressivos.

Foi possível observar que danos como fissura, corrosão e infiltração, se apresentaram de forma mais acentuada nas edificações, sendo a Edificação B a mais afetada, apresentando estado crítico. As edificações A e C, apresentam níveis de deterioração de alto.

A última intervenção realizada na Edificação A foi corretiva executada por mão de obra não qualificada orientada pelo próprio condomínio, que não tem conhecimento técnico na área de engenharia civil, contudo a estrutura encontra-se em nível alto de deterioração. Na Edificação B, a situação é semelhante, agravada segundo a opinião de alguns condôminos, de que essa rotina de manutenção não é necessária, mesmo a estrutura estando em estado crítico de deterioração, conforme confirmado com a aplicação da metodologia ora proposta. E para a Edificação C, na ocasião da pesquisa, existia uma empresa de engenharia civil executando os serviços de manutenção, porém isto se deve a gestão atual do condomínio, e a estrutura encontra-se em nível alto de deterioração.

#### **4.2 ENSAIOS**

Na tentativa de melhor caracterizar a estrutura foram efetuados ensaios de esclerometria, ultra-som e profundidade de carbonatação. Foram observados os seguintes aspectos:

No ensaio de esclerometria houve variações nos resultados encontrados, que foram afetados por fenômenos como carbonatação, rugosidade e umidade que existia nas peças ensaiadas das três edificações.

Através do ensaio de ultra-som a qualidade do concreto dos Edifícios foi classificada em durável e alta, sendo estes resultados justificados pelo fato de que as peças ensaiadas não apresentavam patologias.

Para o ensaio de profundidade de carbonatação, foi possível observar que as três Edificações apresentavam a presença do dióxido de carbono proveniente da atmosfera e automóveis, porém só nas duas últimas Edificações B e C, alcançavam a armadura, propiciando o desenvolvimento do processo de corrosão da mesma.

### 4.3 GRAU DE DETERIORAÇÃO DAS ESTRUTURAS

É possível observar a variabilidade nos resultados encontrados para os graus de danos das estruturas dos edifícios vistoriados na Tabela 4.1, mesmo sabendo que estão em regiões de classe de agressividade ambiental semelhante e tiveram os mesmos padrões construtivos. Considera-se também a necessidade de realização de um maior número de ensaios e amostras para ajustar os parâmetros utilizados.

Tabela 4.1 - Comparativo do grau do dano entre os edifícios vistoriados

<b>Ed Vistoriado</b>	<b>Gd1</b>	<b>Gd2</b>	<b>Gd3</b>
Edifício A	31	40	40
Edifício B	47	52	134
Edifício C	34	34	50

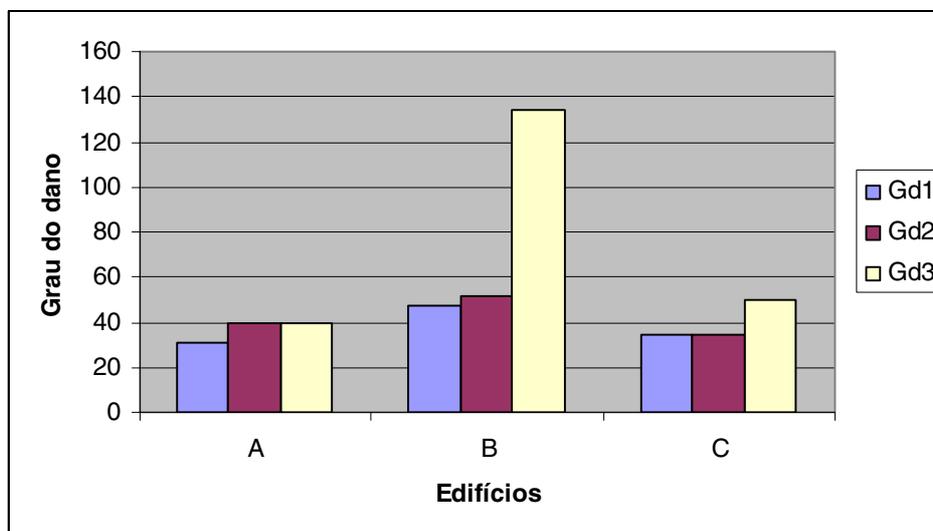


Figura 4.1 - Comparativo do grau do dano entre os edifícios vistoriados.

Gd1 – Cálculo do Gd pela expressão utilizada por Castro, 1994.

Gd2 – Cálculo do Gd pela expressão utilizada por Lopes, 1998.

Gd3 – Cálculo do Gd pela expressão utilizada por Boldo, 2002.

Utilizando as recomendações de Castro (1994) e Lopes (1998), na Edificação A, o Gd encontrado foi de 31 e 40 respectivamente, caracterizando a estrutura em nível médio e alto de deterioração e necessidade de intervenção em prazos máximos de 2 anos, para o Gd 31, e 1 ano para o Gd de 40. Para a expressão utilizada por Boldo (2002), também foi encontrado um valor de 40, para o Gd, que se enquadra na situação de nível alto de deterioração da estrutura, com recomendações de intervenção num prazo máximo de 1 ano, conforme Tabela 2.18 apresentada na seção 2.9.7. E com relação à VUE, considera-se 12 anos de vida útil restante, podendo ser estabelecido uma nova vida útil após intervenção adequada.

Através da inspeção e análise realizada na Edificação B foi encontrado o Gd de 47 e 52, segundo Castro (1994) e Lopes (1998), respectivamente, e Gd de 134, segundo as recomendações de Boldo (2002). Para o Gd de 47 e 52 a medida a ser adotada é de observação periódica minuciosa com intervenção em curto prazo. Para o Gd de 134, se faz necessária intervenção imediata para restabelecer a funcionalidade da edificação. Para a

VUE, observamos que a edificação com 25 anos de construído e sem manutenções adequadas, já ultrapassou a vida útil estimada calculada em 21 anos.

Na Edificação C o Gd encontrado segundo Castro (1994) e Lopes (1998) foi de 34, sendo considerado médio como nível de deterioração, e segundo Boldo (2002), Gd de 50, sendo classificado como alto nível de deterioração. Para o primeiro as recomendações são de observação periódica e necessidade de intervenção em médio prazo, e para o segundo Gd, há necessidade também de observação periódica, sendo minuciosa e com intervenção em curto prazo, de no máximo um ano. Quanto a VUE, tem-se 6 anos restante, podendo também ser estabelecida nova vida útil com a execução de manutenção.

## CAPÍTULO 5

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

#### 5.1 CONCLUSÕES

Dentro do objetivo da pesquisa que consiste em padronizar o processo de inspeção em estruturas usuais de concreto armado, aplicando metodologia desenvolvida por Castro (1994), Lopes (1998), Boldo (2002), utilizando recomendações do Checklist da ABECE (2005), são apresentadas as seguintes conclusões:

- a) Com base nos resultados obtidos nesta pesquisa, observa-se que o checklist da ABECE (2005), é perfeitamente funcional e adequado como roteiro de inspeção;
- b) As metodologias utilizadas se apresentaram adequadas para a verificação do grau de degradação das estruturas e os ensaios realizados confirmaram o diagnóstico obtido através da inspeção visual e quantificação de danos;
- c) Observou-se a necessidade de se criar um informativo esclarecedor da importância e execução do programa de manutenções com linguagem direcionada ao usuário final, juntamente com a sua importância;
- d) Considerando os valores apresentados na Tabela 4.1, seção 4.3, observa-se que o Edifício A, foi o que apresentou menor grau de deterioração na estrutura, e o Edifício B o maior grau de deterioração, apresentando estado crítico. Comparando-se os resultados deste trabalho, é possível observar que houve semelhança com a pesquisa realizada por Albige (1978), na França, apresentada na Tabela 2.2, onde a maior incidência de defeitos é provocada na fase de execução do edifício.

## **5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Sobre o estudo do estado das estruturas de concreto armado, sugere-se alguns assuntos para futuras pesquisas, que seriam enriquecedoras para o tema:

- a) Através da utilização da metodologia mapear a incidência das manifestações patológicas no Estado de Pernambuco;
- b) Realização de ensaios como extração de testemunho, potencial de corrosão, teor de íons cloretos, entre outros, que não foram utilizados nesta pesquisa;
- c) Comparar a durabilidade dos reparos em edifícios residenciais sob recomendações das normas e os que estão sendo executado sem embasamento técnico.

## REFERÊNCIAS

ABECE (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA E CONSULTORIA ESTRUTURAL, 2005). Checklist para vistoria de edificações em concreto armado.

ALONSO, C. & ANDRADE, C. (1992), “Patologia de materiales. Problemas patológicos de los materiales hormigon y acero y su relacion com la durabilidad de la estrutura.” Seminário S. 4: Patologia estrutural em edificacion: Diagnostico y soluciones de intervencion, XII CEMCO – 92, Instituto de Ciencias de la Constriccion Torroja, Espanha, 15p, Março.

ANDRADE, M.C.P. (1992) “Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão das armaduras”, tradução e adaptação Antonio Carmona e Paulo Helene. São Paulo: PINI.

ANDRADE, J. J. de O. Durabilidade das estruturas de concreto armado: análise das manifestações patológicas nas estruturas de concreto armado no Estado de Pernambuco. 1997. 148f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

ANDRADE, W. P. (Ed). Concretos: massa, estrutural, projetado e compactado com rolo: ensaios e propriedades. Equipe de Furnas. São Paulo: Pini, 1997.

ARANHA, P. M. S. & DAL MOLIN, D. C. C (1994), “Manifestações Patológicas em estruturas de concreto armado na Região Amazônica”, 36ª Reunião Anual do IBRACON, Instituto Brasileiro do Concreto, Vol 1, pp 25-38, Porto Alegre, RS, Setembro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. NBR 6118: projeto de estruturas de concreto: procedimento. Versão corrigida, março 2004. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7680: Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NB-1: Projeto e execução de obras de concreto armado, 1978.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8802: Concreto endurecido – determinação da velocidade de propagação da onda ultra-sônica: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO DAS EMPRESAS DO MERCADO IMOBILIÁRIO DE PERNAMBUCO. Manual de uso, manutenção e inspeção das edificações. Recife, 2004.

BOLDO, P. (2002), Avaliação quantitativa de estruturas de concreto armado de edificações no âmbito do Exército Brasileiro. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, DF, 295p.

CAMPOS, F.C. & VALÉRIO, L.C.B (1994), “Levantamento estatístico das obras de recuperação de estruturas no Distrito Federal”, Relatório de projeto final, 39p, Julho.

CÁNOVAS, M. Patologia e terapia do concreto armado. Tradução e adaptação. M. Celeste Marcondes et alii, coordenação técnica L.A. Falcão Bauer. São Paulo: Pini, 1988.

CÁNOVAS, M. F. (1998), “Patologia e terapia do concreto armado”, Ed Pini, São Paulo, 522p.

CÁNOVAS, M. F. (1992), “Intervenciones en reparacion de estructuras danadas por diversas causas”, Seminário S. 4: Patologia estrutural en edificacion: Diagnostico y soluciones de intervencion, XII CEMCO – 92, Instituto de Ciencias de la Constriccion Torroja, Espanha, 19p, Março.

CASTRO, E. K. (1994), “Desenvolvimento de metodologia para manutenção de estruturas de concreto armado”, Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, 185p.

CASCUDO, O. (1997), “O controle da corrosão de armaduras em concreto. Inspeção e técnicas eletroquímicas”. UFG. Ed PINI. São Paulo.

CEB – (Comite Euro-Internacional du Beton, 1991), “CEB-FIP Model Code (MC-90) Final Draft”, Bulletin D’Information N° 203, Julho.

CEB (1989), “CEB Design guide: Durable concrete structures”, Bulletin d’Information No. 182, Junho.

CLÍMACO, J.C.T.S. (1990), “Repair of structural concrete involving the additional of new concrete”, Tese de Doutorado, Polytechnic of Central London, Londres, 239p.

CLÍMACO, J.C.T.S. & NEPOMUCENO, A. A. (1994), “Parâmetros para uma metodologia de manutenção de estruturas de concreto”, 36ª Reunião Anual de IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto, Vol. 1, pp 109-119, Porto Alegre, Setembro.

DAL MOLIN, D. C. C. Fissuras em estruturas de concreto armado: análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no Estado do Rio Grande do Sul. 1988. 220f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988.

DIAS, Eurípedes M.(1990), Metodologia para controle do concreto produzido em canteiro de obra”. In: Simpósio Nacional sobre garantia da qualidade das Estruturas de Concreto, São Paulo. Anais: EPUSP, 1990.397P.

HELENE, P. R. L. Manual prático para reforço de estruturas de concreto – 1 ed. São Paulo: Pini, 1988.

HELENE, P. R. L. Corrosão em armaduras para concreto armado. São Paulo: Pini, 1986.

HELENE, P. R. L.; TERZIAN. P. Manual de dosagem e controle do concreto. São Paulo: Pini, 1992.

IBRACON, 2004. Manifesto Público, Lições do Areia Branca.

JOHN, V.M. (1989), “Manutenção dos edifícios: Uma visão sistemática”x Simpósio Nacional de Tecnologia da Construção Civil – A Manutenção na Construção Civil, pp 117-128, EPUSP, S. Paulo, Novembro.

KLEIN, D.; GASTAL, F; CAMPANOLO, J.L; SILVA FILHO, L.C. (1991), “Critérios adotados na vistoria e avaliação de obras de arte” , XXV Jornada Sul Americana de Engenharia Estrutural, Porto Alegre, pp185 – 196, Novembro.

LEI Nº 4.083/90 de 17 de Janeiro de 1990. Lei sobre inspeção de imóveis no Estado de Salvador, Bahia.

LEI COMPLEMENTAR N.º 441 de 26 de Dezembro de 2001. Lei sobre inspeção de imóveis no Estado de Santos, São Paulo.

LEI Nº 13.032, de 14 de Junho de 2006, da Assembléia Legislativa do Estado de Pernambuco. Dispõe sobre a obrigatoriedade de vistorias periciais e manutenções periódicas, em edifícios de apartamentos e salas comerciais.

LEI Nº 1.232, de 2007, do Congresso Nacional. Institui a autovistoria dos prédios residenciais e comerciais e suas instalações pelos respectivos condomínios

LEMOS, S. P. P. (2006), Avaliação do grau do dano das estruturas do subsolo de três edifícios situados na região Metropolitana do Recife/PE, Abril.

LOPES, B. A. R. (1998), “Sistema de manutenção estrutural para grandes estoques de edificações: Estudo para inclusão do componente Estrutura do Concreto”. Dissertação de Mestrado em Estruturas, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 308p. Setembro.

MEHTA, P. K. & MONTEIRO, P. J. M. (1994) “Concreto estrutural, propriedades e materiais”. Ed Pini, São Paulo.

MONTEIRO, E. B. (2005), “Reabilitação de Estruturas de Concreto”, IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto, Vol. 2, pp. 1109-1125, Pernambuco, Setembro.

MORAES, M. C. (1982), “Concreto armado”, McGraw-Hill, São Paulo, 474p.

NEVILLE, A. M. (1997) “Propriedades do concreto”; 2ª ed. – São Paulo, Ed Pini, 1997.

OLIVEIRA, R. A., et al. Laudo técnico – Causas do Desabamento do Edifício Areia Branca. CREA – PE, (2005), Recife: PE (Brasil).

PONTES, R. B. (2006), Disseminação de íons cloreto na orla marítima do bairro de Boa Viagem, Recife-PE. Dissertação de Mestrado na Unicap-PE.

POURBAIX, M. Curso sobre corrosão eletroquímica. Lisboa: Instituto Nacional de Investigação Industrial, 1961.

REVISTA TÉCHNE (1994) “Carbonatação: o efeito das adições”. São Paulo, Ed Pini, 9p.

RILEM (1991), “Technical committee – Damage Classification of Concrete Structures”, Materials and Structures, Ed Chapman & Hall, Vol. 24, No. 142, 320p.

RILEM (1988), “Measurement of hardened concrete carbonation depth”. TC56-CPC 18.

ROSTAM, S. (1991). “Durability of concrete structures – The CEB – FIP approach ”, Colloquium on the CEB-FIP MC-90, Rio de Janeiro, RJ, pp 369-429, Agosto.

SITTER, W. (1986), “Interdependence between technical service life prediction”, CEB-RILEM Int. Workshop Prediction of service life of concrete structure, Bolonia, October.

SOUZA, V.C.; RIPPER, T.(1998) “Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto”. São Paulo. Ed Pini.

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

VIEIRA FILHO, J. O. Avaliação da resistência à compressão do concreto através de testemunhos extraídos: contribuição à estimativa do coeficiente de correção devido aos defeitos do broqueamento. 2007. Tese (doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

ZARZAR, F. C. J. (2007). Metodologia para estimar a vida útil de elementos construtivos, baseada no método dos fatores. Dissertação de mestrado na Unicap. Recife/PE, 2007.

## APÊNDICE A

### Discrição das classes de fatores.

Tabela A.1, usada nas três estudos de caso deste Trabalho e desenvolvida por Zarzar; Oliveira (2007).

Tabela A.1 - Faixa das condições de uso das classes dos fatores.

Classes de fatores			Condições em uso			
			Para considerar	Pobre (0,8)	Normal (1,0)	Bom (1,2)
Características de qualidade inerentes	A	Nível de desempenho inerente	Tipo de material e/ ou grau Características de durabilidade, exemplo: grau da resistência à compressão.	15Mpa	30MPa	45Mpa
	B	Nível do projeto	Detalhes da construção	Projeto, executado por técnico ou engenheiro, sem especialização	Projeto, executado por engenheiro calculista de conceito.	Excelente equipe de engenheiros calculistas, vistoriado por terceira pessoa.
	C	Nível de execução do Trabalho	Local de Trabalho	Concreto executado, no local, sem controle.	Concreto com controle de Slump e Resistência à compressão.	Concreto com controles: slump, resistência à compressão e módulo de elasticidade.
Meio ambiente	D	Ambiente interno	Características especiais, exemplo: condensação.	Ambiente interno agressivo influencia de águas servidas, umidade elevada.	Ambiente protegido, mas úmido.	Ambiente protegido e com pouca umidade

Classes de fatores			Condições em uso			
			Para considerar	Pobre (0,8)	Normal (1,0)	Bom (1,2)
Meio ambiente	E	Ambiente externo	Características especiais, exemplo: ambiente marinho.	Sem proteção contra vento e chuva	Protegido contra vento e chuva	Protegido contra vento e chuva e distante de ambiente marinho
Condições das operações	F	Condições em uso	Características especiais, exemplo: vandalismo.	Ruim	Normal	Bom
	G	Nível de manutenção dos elementos de fundação.	Cíclico, incluindo qualidade.	Inexistente	Pouca manutenção efetua reparos aparentes.	Segue o manual de manutenção do imóvel construído