



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATOLOGIA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO:
ESTUDO REALIZADO NAS EDIFICAÇÕES DO CENTRO DE
TECNOLOGIA DO *CAMPUS I* DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA
PARAÍBA

ÍDILLA KAENNA ABRANTES FERREIRA

João Pessoa - PB
Dezembro de 2016

ÍDILLA KAENNA ABRANTES FERREIRA

PATOLOGIA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO:

Estudo realizado nas edificações do Centro de Tecnologia do *Campus* I da Universidade Federal da Paraíba - UFPB

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), apresentado à Coordenação do curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba, como um dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Enildo Tales Ferreira

**JOÃO PESSOA
2016**

F383e Ferreira, Ídilla Kaenna Abrantes
Patologia em Estruturas de Concreto Armado: Estudo realizado nas edificações do Centro de Tecnologia Campus I da Universidade Federal da Paraíba.. / Ídilla Kaenna Abrantes Ferreira ./ - João Pessoa, 2016

78f.il.:

Orientador: Prof. Enildo Tales Ferreira

Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Civil)
CGEC./ Centro de Tecnologia / Campus I / Universidade Federal da Paraíba.

1. Engenharia civil 2. Manifestações patológicas
3. Diagnóstico.4. Patologia.5.Estruturas. 6. Concreto armado.
7. Reparo. 8. Reforço e recuperação. I. Título.

BS/CT/UFPB

CDU: 2.ed 624:504 (043)

FOLHA DE APROVAÇÃO

ÍDILLA KAENNA ABRANTES FERREIRA

PATOLOGIA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Estudo realizado nas edificações do Centro de Tecnologia do *Campus I* da Universidade Federal da Paraíba - UFPB

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil perante a seguinte Comissão Julgadora:

Orientador: Professor Dr. Enildo Tales Ferreira
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Examinadora: Professora Msc. Evelyne Emanuelle Pereira Lima
Centro Universitário da Paraíba, UNIPÊ

Examinador: Professor Dr. José Márcilio Filgueiras Cruz
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Profa. Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

AGRADECIMENTO

Primeiramente, agradeço a Deus pelo dom da vida, da sabedoria e do amor para exercer a Engenharia, por me proporcionar uma família, um namorado e amigos, que contribuíram para realização de mais este sonho.

Agradeço aos meus pais, Ides Ferreira dos Santos e Maria do Socorro Abrantes Ferreira, que não apenas me ensinaram os valores essenciais à vida, mas me mostraram e mostram dia após dia como viver nesses valores, que me apoiaram em cada decisão tomada, por mais difícil que fosse, e que não só torceram para realização do meu sonho, mas fizeram dele o seu próprio sonho. A eles que se doaram em silêncio, que sacrificaram os seus próprios desejos para realizar os meus, esta vitória é de vocês.

Queria agradecer as minhas irmãs, Ídisa Virgínia e Iane Samilli, que sempre estiveram ao meu lado, e quantas vezes foram mais que irmãs, foram amigas e cúmplices, a elas todo carinho.

Ao meu namorado, Victor Cassiano, companheiro de profissão, que me acompanhou durante o curso, sempre me incentivando e acreditando na minha capacidade, quando nem eu mesma acreditava, que inúmeras vezes foi professor, amigo e parceiro de estudos. Ele que me trouxe calma nas horas mais turbulentas, me trazendo forças para superar as dificuldades das disciplinas, sempre paciente e compreensivo. A ele todo amor.

A estes que são minha família, minha base, minha vida, meu tudo, sem os quais, essa vitória não seria possível.

Gostaria de agradecer ao meu orientador, Professor Dr. Enildo Tales Ferreira, pelo tempo dedicado e pelos conhecimentos passados.

Agradeço profundamente a Professora Msc. Evelyne Emanuelle Pereira Lima, pelo tempo disponibilizado, pela atenção, paciência e todo suporte prestado.

Agradeço também ao Professor Dr. José Márcilio Filgueiras Cruz.

*“O arquiteto vê a aparência, o engenheiro
calcula a essência.”*

(Arthur Richardisson)

ABSTRACT

The implementation of structure's reforce and recovery practices has been growing over time, in part, thanks to the aging of the 50's and 60's buildings, characterizing a natural process of concrete, but also, it is taken as result of the using of low quality materials, lack of control of the execution steps and even poorly designed projects.

The numerous pathological manifestations present in the oldest buildings of the Technology Center of the Federal University of Paraíba motivated this course conclusion work, which was developed in order to show the importance of maintenance's practices for that the structure performs the minimum performance for what it was projected, such as the effects of the updating regulatory standards. The research brings a pathological investigation of buildings in the Technology Center of UFPB in João Pessoa – PB, diagnosing the building systems more deteriorated and elaborating plan of corrective actions.

The methodology addressed uses surveys and visual inspections, with organization of manifestations collected in the field, seeking the catalogind of pathologies by means of images, diagnostic formulation and suggestion of intervention plans for the symptoms found.

Key-words: Civil Engineering, pathological manifestations, diagnosis, pathology, structures, reinforced concrete, repair, reinforcement and recovery.

RESUMO

A implementação de medidas de reforço e restauração das estruturas vem crescendo com o passar do tempo, em parte, devido ao envelhecimento das construções, principalmente da década de 50 e 60, o que caracteriza um processo natural do concreto, mas também é dito como consequência do emprego de materiais de baixa qualidade, falta do controle das etapas de execução e até mesmo projetos mal elaborados.

As inúmeras manifestações patológicas presentes nas edificações mais antigas do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, motivou a realização deste trabalho de conclusão de curso, que foi desenvolvido com o objetivo de apresentar a importância da prática de medidas de manutenção para que a estrutura exerça o desempenho mínimo para o qual foi projetado, como os efeitos da atualização das normas reguladoras. O trabalho traz uma investigação patológica dos blocos do Centro de Tecnologia do *Campus* I da UFPB em João Pessoa – PB, diagnosticando os sistemas construtivos mais deteriorados e elaborando plano de ações corretivas.

A metodologia abordada faz uso de vistorias e inspeções visuais, com organização das manifestações coletadas em campo, visando a catalogação das patologias por meio de imagens, formulação de diagnóstico e sugestão de planos de intervenção para os sintomas encontrados.

Palavras-chaves: Engenharia civil, manifestações patológicas, diagnóstico, patologia, estruturas, concreto armado, reparo, reforço e recuperação.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - COMPOSIÇÃO DO CONCRETO COMO RESULTADO DE MISTURAS.	17
FIGURA 2 - PROCESSO DE CARBONATAÇÃO DO CONCRETO.	28
FIGURA 3 - ESTRUTURA DA LAJE DE COBERTA DO BLOCO B.	36
FIGURA 4 - PONTOS DE APOIO DA LAJE NAS VIGAS.	37
FIGURA 5 - DETALHE DO SISTEMA DE IMPERMEABILIZAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE LAJE DE COBERTA POR MEIO DA UTILIZAÇÃO DE MANTAS.	38
FIGURA 6 - DETALHE DA JUNÇÃO DAS LAJES DE PERFIL "W".	38
FIGURA 7 - DETALHE DA ESTRUTURA DE "PINGADEIRA".	39
FIGURA 8 - ESQUEMA DE AÇÃO DE UMA "PINGADEIRA".	39
FIGURA 9 - DETALHE DOS PILARES APOIANDO A VIGA.	40
FIGURA 10 - ESTRUTURA DE BRISE DE BLOCO CERÂMICO, ALETAS.	41
FIGURA 11 - ESTRUTURAS DO BRISE DE CONCRETO ARMADO, ALETAS.	41
FIGURA 12 - EDIFICAÇÃO DO BLOCO DE ARQUITETURA E URBANISMO, BLOCO H.	42
FIGURA 13 - EDIFICAÇÃO DO BLOCO DE AMBIENTE DE PROFESSORES E LABORATÓRIO DE INFORMÁTICA, PRAÇA DO CT.	42
FIGURA 14 - DETALHE DA ESTRUTURA DA LAJE DE COBERTA DO BLOCO DE AMBIENTE DE PROFESSORES.	43
FIGURA 15 - PROVÁVEL MEDIDA DE REPARO CONTRA A EXPOSIÇÃO DE ARMADURA NO BLOCO B.	44
FIGURA 16 - DETALHE DO DESPLACAMENTO DO CONCRETO NA ESTRUTURA DE COBERTA DO BLOCO A.	45
FIGURA 17 - EXPOSIÇÃO DE ARMADURA APÓS DESPLACAMENTO DO CONCRETO NO BLOCO B.	45
FIGURA 18 - ARMADURAS EXPOSTAS NA LAJE DE COBERTA DO BLOCO D.	46
FIGURA 19 - EFLORESCÊNCIAS PRESENTES NA LAJE DE COBERTA DO BLOCO A.	47
FIGURA 20 - DETALHE DE FISSURA E EFLORESCÊNCIA NA LAJE DE COBERTA DO BLOCO A.	47
FIGURA 21 - ARMADURAS EXPOSTAS NAS ÁREAS DE EFLORESCÊNCIAS NA LAJE DO BLOCO A.	48
FIGURA 22 - FISSURAS, EFLORESCÊNCIAS, EXPOSIÇÃO E ROMPIMENTO DA ARMADURA EM LAJE DE COBERTA DO BLOCO B.	48

FIGURA 23 - EXPOSIÇÃO DE ARMADURA EM PROVÁVEL ÁREA REPARADA ANTERIORMENTE NO BLOCO B.....	49
FIGURA 24 - MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NAS JUNTAS DE DILATAÇÃO NAS VIGAS DO BLOCO H.....	50
FIGURA 25 - DESPLACAMENTO DO CONCRETO EM VIGA DE PERIFERIA DO BLOCO H.	50
FIGURA 26 - DETALHE DO DESNÍVEL.	51
FIGURA 27 - DETALHE DO DESNÍVEL ENTRE OS PISOS.	51
FIGURA 28 - PARTE INFERIOR DOS PILARES NO BLOCO X.....	52
FIGURA 29 - DESCOLAMENTO DA ESTRUTURA DO BRISE COM O PILAR DO BLOCO E.....	53
FIGURA 30 - MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NAS ALETAS DE CONCRETO DO BLOCO F....	53
FIGURA 31 - DETALHE DA EXECUÇÃO DE TELA METÁLICA PARA FIXAÇÃO DA ALVENARIA DE VEDAÇÃO E O PILAR.	60
FIGURA 32 - POSICIONAMENTO DA TELA METÁLICA NA JUNTA DE ARGAMASSA.	61
FIGURA 33 - ESCARIFICAÇÃO MECÂNICA	62
FIGURA 34 - ESCARIFICAÇÃO MANUAL.	63
FIGURA 35 – HIDROJATEAMENTO DE ALTA PRESSÃO DA ARMADURA.	63
FIGURA 36 - LIMPEZA DA ARMADURA CORROÍDA ATRAVÉS DA ESCOVA COM CERDAS DE AÇO.....	64
FIGURA 37 - ESQUEMA DE APLICAÇÃO DE PROTEÇÃO DA ARMADURA.	65
FIGURA 38 - UMIDECIMENTO DA SUPERFÍCIE PARA RECEBER A PONTE DE ADERÊNCIA. ...	66
FIGURA 39 - APLICAÇÃO DA PONTE DE ADERÊNCIA.	66
FIGURA 40 - GROUTEAMENTO DE PILAR RECUPERADO.....	67
FIGURA 41 - DETALHAMENTO DA EXECUÇÃO DA JUNTA DE DILATAÇÃO.	69

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CLASSIFICAÇÃO E NOMENCLATURA DO CIMENTO PORTLAND.	18
TABELA 2 - CLASSES DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL (CAA).....	23
TABELA 3 - CORRESPONDÊNCIA ENTRE A CLASSE DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL E O COBRIMENTO NOMINAL PARA TOLERÂNCIA DE 10MM.....	24
TABELA 4 - PRINCIPAIS FATORES CONDICIONANTES PARA O AVANÇO DA FRENTE DE CARBONATAÇÃO.....	29

LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

ABNT – Associao Brasileira de Normas Técnicas

C – Celsius

CAA – Classe de Agressividade Ambiental

cm – Centmetros

CT – Centro de Tecnologia

mm – Milmetros

NB – Norma Brasileira

NBR – Norma Brasileira Registrada

pH – Potencial Hidrognico

PVA – Acetato de Polivinila

UFPB – Universidade Federal da Paraiba

 - Graus

% - Por Cento

SUMÁRIO

AGRADECIMENTO	1
ABSTRACT	3
RESUMO.....	4
LISTA DE FIGURAS.....	5
LISTA DE TABELAS.....	7
LISTA DE ABREVIACES E SIGLAS.....	8
SUMÁRIO.....	9
1 INTRODUO.....	12
2 OBJETIVOS.....	14
2.1 OBJETIVO GERAL.....	14
2.2 OBJETIVO ESPECFICO.....	14
3 REFERENCIAL TERICO	15
3.1 CONCRETO	16
3.1.1 Cimento	17
3.1.2 gua.....	20
3.1.3 Agregados	20
3.1.4 Aditivos	21
3.1.5 Concreto Armado.....	21
3.2 PATOLOGIA NO CONCRETO ARMADO.....	22
3.2.1 Carbonatao	26
3.2.2 Ao dos Cloretos.....	29
3.2.3 Ataque de Sulfatos	31
3.2.4 Reao lcali-Agregado	31
3.2.5 Lixiviao do Concreto.....	32
4 METODOLOGIA.....	33
5 ESTUDO DE CASO	35
5.1 ANÁLISE DA ESTRUTURA.....	35
5.2 VISTORIA	44

5.2.1 Manifestações Patológicas Presentes nas Estruturas de Coberta.....	44
5.2.2 Manifestações Patológicas Presentes em Pilares e Vigas.....	49
5.2.3 Manifestações Patológicas Presentes nos Brises.....	52
5.3 INSPEÇÃO, DIAGNÓSTICO E PROGNÓSTICO	54
5.3.1 Corrosão da Armadura	54
5.3.1.1 Laje de Coberta.....	54
5.3.1.2 Aletas de Concreto Armado.....	56
5.3.1.3 Pilares	57
5.3.1.4 Vigas	57
5.3.2 Infiltração da Água no Concreto	58
5.3.3 Destacamento das Aletas	59
5.4 INTERVENÇÃO.....	61
5.4.1 Corrosão da Armadura	62
5.4.2 Infiltração da Água no Concreto	68
5.4.3 Destacamento das Aletas	69
6 CONCLUSÃO.....	71
7 REFERÊNCIAS.....	73

1 INTRODUÇÃO

Ao longo da história da engenharia civil, é possível observar a crescente segurança que os profissionais têm demonstrado a partir dos avanços tecnológicos do setor da construção civil, principalmente na área dos materiais de construção, onde o concreto destaca-se como um material muito utilizado nas edificações, devido às facilidades nos métodos de execução e de cálculo. Todo esse conhecimento aprofundado faz com que as estruturas sejam projetadas com margens de segurança cada vez menores, permitindo estruturas mais esbeltas.

Essa segurança exagerada algumas vezes, induz aos profissionais da construção civil a ter comportamentos menos rígidos nos procedimentos de cálculo e de execução das edificações, principalmente em obras menores, onde este controle das etapas de execução é delegado aos encarregados.

Em momentos da crise econômica que afeta a um país, é importante destacar, movimentos crescentes por parte de alguns construtores, que buscam maiores margens de lucro, influenciando os custos das construções das edificações provocando o uso de materiais de qualidade inferior ao desejado e ao emprego de mão-de-obra desqualificada, com prazos de entrega inadequados.

Todos esses aspectos associados também às mudanças ambientais causadas pelo próprio homem, como chuvas ácidas e poluição, ocasionam obras de qualidade questionável com relação a vida útil da edificação, por apresentarem deterioração e deficiências prematuras. Surgindo então, o conceito de patologia da construção.

A patologia da construção é um crescente ramo da engenharia civil e, segundo Souza e Ripper (1998), tem o objetivo de estudar as origens, causas, fatores agravantes e consequências das situações onde a estrutura não apresenta o desempenho mínimo previsto em projeto.

Ao longo da vida útil da edificação, sua estrutura apresenta sintomas físicos característicos de deterioração, nomeados manifestações patológicas, que podem ser agravados como consequência da falta de manutenção da estrutura, como acontece por exemplo em estruturas de concreto.

Antigamente, o concreto era confundido com um material mais livre de manifestações patológicas, que não sofria deterioração. Este pensamento surgiu a partir de observações de suas características, de durabilidade e resistência, devido aos exageros cometidos durante os procedimentos antigos para dimensionamento, levando a obtenção

de peças estruturais bem robustas e superdimensionadas, resultado de cálculos obsoletos e margens altíssimas de segurança. Logo, faz-se necessário desmistificar as estruturas de concreto como eternas, já que se caracterizam como estruturas que requerem cuidados de manutenção para alcançar a vida útil para qual foi projetada (HELENE, 1992).

Reconhecendo então, o concreto como um material sensível à degradação devido ao tempo e utilização, é preciso conhecer os mecanismos e as formas de sua deterioração, a fim de avaliar as condições reais da estrutura, mapeando os danos existentes com o objetivo de implementar soluções de reparo.

No presente trabalho pretende-se como objetivo principal fazer o levantamento e analisar as manifestações patológicas mais comuns nas estruturas de concreto dos blocos A, B, C, D, E, F, H, e Bloco de Ambiente de Professores (Praça do CT) do Centro de Tecnologia do *campus* I da Universidade Federal da Paraíba; visando diagnosticar seus agentes causadores e agravantes, bem como sugerir métodos de correção.

As medidas de reparo para os casos de manifestações patológicas nas edificações podem ter duas finalidades: proporcionar a estrutura danificada um aumento da sua capacidade atual de resistir às solicitações as quais está submetida, e/ou restabelecer a integridade física do elemento estrutural analisado, a fim de restituir suas características mecânicas originais. Estas medidas são denominadas reforço ou restauração (LAPA, 2008).

Ignorar sinais de danos na estrutura ou até mesmo não realizar a devida investigação e correção destes sinais, pode originar a ruína e colapso da estrutura. Desta forma, é importante salientar a urgência no tratamento das manifestações patológicas da estrutura para evitar perdas maiores no seu desempenho, gerando, portanto, custos maiores nos procedimentos de terapia.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

A finalidade deste trabalho de conclusão de curso consiste em realizar uma revisão bibliográfica acerca dos métodos de diagnóstico e de reparo das manifestações patológicas relacionadas às estruturas de concreto armado, aplicados aos estudos de caso.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Estudar os conceitos sobre desempenho, durabilidade e vida útil das estruturas de concreto;
- Avaliar as manifestações patológicas constatadas nas edificações dos blocos A, B, C, D, E, F, H, e Bloco de Ambiente de Professores (Praça do CT) do Centro de Tecnologia do *campus* I da Universidade Federal da Paraíba;
- Propor metodologias de reparos baseadas nos principais métodos verificados na revisão bibliográfica para evitar as reincidências das manifestações patológicas nos casos avaliados.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

O crescente número de estruturas que se verificam com características de patologia que comprometem a durabilidade das edificações, é o resultado da expansão do setor da construção civil no Brasil, sem os cuidados devidos ao cumprimento das normas vigentes.

A falta de conhecimento de adequados processos construtivos, do comportamento dos materiais utilizados e negligências quanto a utilização das especificações definidas em normas reguladoras por parte daqueles que se encarregam da construção de um edifício, juntamente com a falta de manutenção necessária por parte dos próprios usuários da edificação, são os principais motivos que provocam a diminuição drástica da vida útil da estrutura.

Segundo a norma brasileira NBR 14037 (ABNT, 1998), que estabelece através do Manual de Operação, Uso e Manutenção das Edificações, o conceito para vida útil de uma edificação, pode ser definida como o tempo em que as propriedades da edificação permanecem acima dos limites mínimos admissíveis quando a mesma se presta às atividades para as quais foram projetadas e sofre medidas de manutenção descritas no respectivo Manual de Uso, Operação e Manutenção.

O desempenho por sua vez é o comportamento da edificação e dos seus sistemas que pode ser satisfatório ou não. Sendo assim, a capacidade da estrutura de apresentar o desempenho desejado descrito no projeto, quando exposta às condições normais para as quais foram projetadas se chama durabilidade.

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

O conhecimento dessas manifestações patológicas se faz necessário para que seja realizado o diagnóstico das mesmas, com o objetivo de se determinar o tipo de terapia a ser implantada na recuperação da estrutura. Para isso, deve-se conhecer os fenômenos envolvidos, todas as fases do processo que rege os fenômenos para determinar possíveis causas, e prever possíveis comportamentos da edificação para definir o plano de ação (ALBINO *et al.*, 1996). O ramo da engenharia civil que estuda as manifestações patológicas para se trabalhar em intervenções de reparos, é a patologia das edificações.

Oriundos de diversos agentes, as patologias do concreto armado além de afetarem a estética da construção, em um estágio avançado, também podem ser cruciais para a perda de estabilidade estrutural, fazendo com que a estrutura entre em ruína e posteriormente colapso.

Os mecanismos causadores de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado estão descritos nas normas brasileiras NBR 6118 (ABNT, 2014) e NBR 12655 (ABNT, 2015), e são classificados de acordo com o objeto de deterioração:

a) Relativos ao concreto

- Lixiviação, por águas puras ou ácidas;
- Expansão por sulfatos;
- Reações álcali-agregado.

b) Relativos à armadura

- Despassivação por carbonatação;
- Despassivação por ação de cloretos.

c) Da estrutura propriamente dita

- Ações mecânicas, por movimentações térmicas, impactos, ações cíclicas (fadiga), deformações lentas (fluência), relaxação, entre outros.

Para entender os mecanismos de deterioração das estruturas de concreto armado, é preciso conhecer seus materiais componentes e sua funcionalidade.

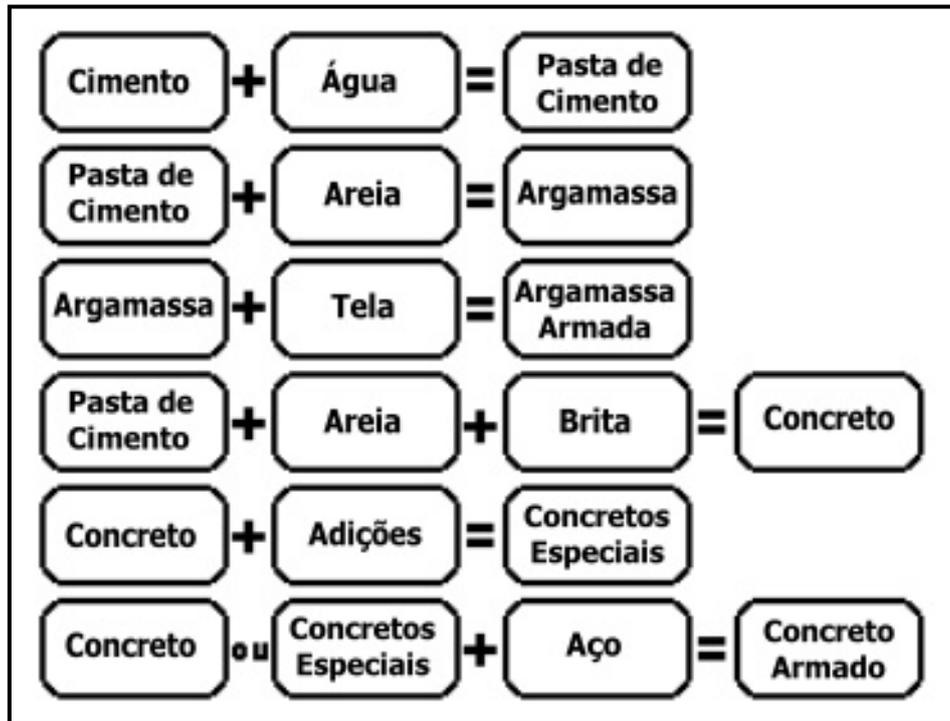
3.1 CONCRETO

O concreto é o produto de uma mistura de materiais, que apresenta inúmeras possibilidades de composição, variando seus componentes e/ou a proporção utilizada dos mesmos, como mostra a Figura 1.

O cimento Portland, agregados e água, são os principais ingredientes dessa mistura, podendo haver a incorporação de agentes minoritários como aditivos que intensifiquem alguma propriedade da mistura (LIMA *et al.*, 2014).

A proporção entre os componentes do concreto é definida com o propósito de se obter uma maior economia e melhor desempenho para o qual foi projetado.

Figura 1 - Composição do concreto como resultado de misturas.



Fonte: Portal do Concreto. Disponível em <http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/concretos.html> Acesso: 02/11/2016.

3.1.1 Cimento

Calcário e argila são os principais componentes do cimento, mistura de compostos inorgânicos moída até que se atinja a granulometria adequada.

O cimento é classificado como aglomerante hidráulico, que em contato com a água torna-se sólido através das reações químicas que ocorrem entre os minerais e o fluido. Essa solidificação faz com que a pasta endureça com o tempo e ganhe resistência mecânica.

A cal (CaO), a sílica (SiO₂), a alumina (Al₂O₃) e o óxido de ferro (Fe₂O₃) são os componentes básicos dos cimentos, contudo para cada tipo de cimento ocorre a variação proporcional destes componentes, juntamente com adição de substâncias especiais para melhoramento do comportamento do cimento, e processos produtivos diferenciados, como mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação e nomenclatura do cimento Portland.

NOME TÉCNICO		Sigla	Classe	Identificação do tipo e classe
Cimento portland comum (NBR 5732)	Cimento portland comum	CP I	25	CP I - 25
			32	CP I - 32
			40	CP I - 40
	Cimento portland comum com adição	CP I - S	25	CP I - S-25
			32	CP I - S-32
			40	CP I - S-40
Cimento portland composto (NBR 11578)	Cimento portland composto com escória	CP II - E	25	CP II - E-25
			32	CP II - E-32
			40	CP II - E-40
	Cimento portland composto com pozolana	CP II - Z	25	CP II - Z-25
			32	CP II - Z-32
			40	CP II - Z-40
	Cimento portland composto com filler	CP II - F	25	CP II - F-25
			32	CP II - F-32
			40	CP II - F-40
Cimento portland de alto forno - NBR 5735	CP III	25	CP III - 25	
		32	CP III - 32	
		40	CP III - 40	
Cimento portland pozolânico NBR 5736	CP IV	25	CP IV - 25	
		32	CP IV - 32	
Cimento portland de alta resistência inicial (NBR 5733)	CPV-ARI-RS	--	CPV-ARI-RS	
	CP V - ARI	--	CP V - ARI	
Cimento portland resistente aos sulfatos (NBR 5737)	-	25 32 40	Siglas e classe dos tipos originais acrescidos do sufixo BC. Exemplo: CP I - 32RS, CP III - 40BC etc.	
Cimento portland de baixo calor de hidratação (NBR 13116)	-	25 32 40	Siglas e classe dos tipos originais acrescidos do sufixo BC. Exemplo: CP I - 32C, CP II - F-32BC, CP III - 40BC etc.	
Cimento portland branco estrutural (NBR 12989)	CPB	25	CPB - 25	
		32	CPB - 32	
		40	CPB - 40	
Cimento para poços petrolíferos (NBR 9831)	CPP	G	CPP - classe G	

Fonte: GRAMACHO, D. R. Caracterização E Aproveitamento Do Resíduo Sólido Proveniente Do Processamento Industrial Do Óleo De Mamona. Dissertação, Mestrado em Química, UFBA, 2012, p. 96.

Uma característica marcante do cimento é a sua instabilidade, que está relacionada à ocorrência de expansões volumétricas após o endurecimento do concreto, resultante da hidratação da cal e magnésia livre na pasta.

O cimento que contém grandes proporções de cal livre (CaO) apresentam microfissuração após o período de pega, devido a hidratação do óxido, aumentando o seu volume e gerando tensões internas, que podem acarretar na desagregação do material.

A alta calcinação da cal, principal matéria-prima do cimento, ocorre no processo de fabricação, sob temperaturas superiores a 1900°C

Quando o cimento contém apreciáveis proporções de cal livre (CaO), esse óxido, ao se hidratar posteriormente ao endurecimento, aumenta de volume, criando tensões internas que conduzem à microfissuração e pode terminar na desagregação mais ou menos completa do material. Isto pode ocorrer quando prevalecem temperaturas superiores a 1900°C no processo de fabricação do clinker e resulta na supercalcinação da cal (SIQUEIRA *apud.* GRAMACHO, 2012).

A importância da composição do cimento na durabilidade das estruturas. Em relação à ação dos cloretos, a quantidade de aluminato tricálcico, presente no clínquer do cimento determina a capacidade de combinação dos íons de cloreto, e produção de cloroaluminato de cálcio hidratado, um sal insolúvel que reduz a concentração de íons de cloreto livres na solução aquosa. Cimentos com baixa concentração de C₃A (composto 3CaOAl₂O₃) tem baixa capacidade de imobilizar os íons de cloreto, segundo Page *et al.* (1986) citado por Torres (2011).

Para o processo de carbonatação, os cimentos pozolânico (de alto-forno) e portland comum são os mais indicados para obtenção de concretos resistentes ao processo, devido a menor porosidade (GENTIL, 2003; SILVA, 1995).

Os principais tipos de cimento que melhoram o desempenho de estruturas sujeitas à carbonatação e cloretos são:

- CP II – E (Cimento Portland Composto com Escória): bloqueia a entrada de cloreto no material;
- CP III (Cimento Portland de Alto-Forno): mais durável e menos poroso, possui uma maior resistência quando exposto a ambientes agressivos;
- CP IV (Cimento Portland Pozolânico): com adição de cinza de carvão ou argila queimada, torna-se pouco poroso e aconselhável para estruturas expostas à ação de água e em ambientes agressivos.

3.1.2 Água

Como o agente precursor das reações químicas responsáveis pela pega do concreto, a água deve ser utilizada de forma adequada quanto a sua qualidade e quantidade, pois são fatores importantes que determinam a resistência final do concreto.

Segundo Souza e Ripper (1998), as substâncias dissolvidas ou em suspensão na água utilizada no concreto influenciam na alteração das propriedades do mesmo, por isso, a água da mistura deve ser potável. Caso haja impurezas químicas, resíduos industriais ou matérias em suspensão pode interferir nas reações da água com o cimento, retardando ou impedindo a pega do concreto assim como perda de coesão.

O elemento mais vulnerável ao ataque das substâncias presentes na água é o cimento.

As águas ácidas com teor relevante de CO_2 dissolvido, reage com a cal do cimento hidratado, e provocam efeitos que dependem da concentração do anidrido de carbono. Se essa concentração for baixa, carbonato de cálcio, produto da reação, gera a colmatação dos poros, gerando uma proteção da estrutura. Já se a concentração for elevada, o sal formado é dissolvido como bicarbonato de cálcio, e avançando as reações até que a cal esteja consumida (GRAMACHO, 2012).

As águas puras, aquelas com baixo teor de CO_2 , também podem atacar o cimento hidratado por dissolução da cal presente. Essas águas provenientes de fontes graníticas ou do degelo, acabam dissolvendo os próprios silicatos e aluminatos (SIQUEIRA *apud*. GRAMACHO, 2012)

Em ambos os casos, tem-se a exaustão da cal e então o ataque dos sais que compõem o cimento hidratado, prejudicando as características mecânicas do cimento, e podendo originar uma estrutura sem coesão interna comprometendo seu desempenho.

O teor de sulfato na água, atinge a pasta de cimento pela reação do sulfato com o aluminato, gerando um aumento de volume, responsável pelo fissuramento da estrutura que pode acarretar em patologias nas estruturas, pela facilidade da entrada de agentes agressores.

3.1.3 Agregados

Os agregados são os componentes da mistura responsáveis pela diminuição da retração, aumento da resistência mecânica, entre outras propriedades do concreto. E assim

como a água, os agregados devem ser livres de substâncias nocivas como materiais pulverulentos e impurezas inorgânicas (SOUZA e RIPPER, 1998).

Proveniente de jazidas naturais ou produzidos industrialmente, este componente deve ser inerte, e suas características granulométricas são de extrema importância para a obtenção de um produto com alta resistência a esforços e com boa compacidade, por isso os grãos nos agregados devem ser preferencialmente de forma arredondada ou de dimensões equivalentes, evitando partículas laminares (NEVILLE, 1997).

3.1.4 Aditivos

Os aditivos são produtos que tem como objetivo modificar ou implementar certas propriedades do conglomerado, para que seu comportamento seja otimizado, no estado fresco e/ou endurecido. Para isso, deve haver um controle criterioso na utilização dos aditivos em relação as formas convenientes, condições adequadas e dose precisas, como explicam Souza e Ripper citados por Cánovas (1988).

Apesar da alta variedade de aditivos existentes no mercado, eles não devem ser utilizados para corrigir defeitos presentes no próprio concreto, pois sua função é majorar alguma característica da mistura. Assim, o controle de qualidade deve ser feito para evitar que o aditivo seja utilizado de maneira equivocada, impedindo a obtenção de um concreto de boa qualidade (SOUZA e RIPPER, 1998).

3.1.5 Concreto Armado

O concreto armado se caracteriza pela utilização do aço com o concreto simples para que juntos resistam a esforços mecânicos. Nessa combinação entre os materiais, o concreto participa como o material que contribui para absorver o esforço de compressão, e o aço principalmente o de tração (DURMÊT, 2008).

Como o material mais utilizado na engenharia civil, o concreto armado pode ser utilizado em praticamente todo tipo de estruturas, desde obras de artes como pontes, túneis, barragens, torres, muros de arrimo, elementos de concreto aparentes, e em estruturas como reservatórios enterrados, estações de tratamento de água, galerias e edifícios. Além disso, o concreto ainda está sendo inserido nas estruturas de pavimentação, pisos dormentes, com o intuito de ajudar na resistência a fadiga (CLÍMACO, 2005).

Mas como todo material, o concreto armado apresenta vantagens e desvantagens em sua implementação. Segundo Carvalho e Figueiredo (2011), as principais vantagens e desvantagens, quando relacionados ao concreto armado corretamente executado, são:

a) Vantagens

- Economia, custo relativamente baixo, devido ao fácil acesso aos materiais necessários;
- Facilidade na execução;
- Adaptação a praticamente todo tipo de forma e tamanho;
- Obtenção de estruturas hiperestáticas, apresentando uma melhor distribuição dos esforços;
- Baixo custo de manutenção;
- Boa resistência a maioria das solicitações mecânicas;
- Maior durabilidade e resistência ao fogo, comparados a madeira e ao aço;
- Resistente a choques e vibrações, efeitos térmicos, atmosféricos e desgaste mecânico.

b) Desvantagens

- Peso próprio elevado, limitando a extensão dos vãos ou elevando o custo de execução oferecendo alternativas como concreto protendido;
- Dificuldade em reformas, demolições e desmontes;
- Não é completamente impermeável;
- Não é um bom isolante térmico, nem acústico;
- É necessário o uso de formas e escoras que permanecem no local até que a estrutura atinja a resistência adequada.

3.2 PATOLOGIA NO CONCRETO ARMADO

Segundo Cascudo (1997), as patologias apresentam, em sua grande maioria, manifestações externas características, pelas quais pode-se deduzir a natureza, a origem e os mecanismos dos fenômenos envolvidos, possibilitando estimar suas prováveis consequências.

Muitas dessas patologias têm o aço como o principal material afetado, por ser a parte da estrutura de concreto armado mais suscetível ao ataque do meio ambiente, sendo

assim, a armadura deve ficar protegida dos agentes agressores por uma espessura de concreto de cobrimento (MEDEIROS *et al.*, 2011).

O cobrimento da armadura tem grande importância quando se trata da vida útil da estrutura, assim como o controle do processo executivo desta camada. Desta forma, é preciso projetar e executar adequadamente o cobrimento, afim de alcançar o desempenho adequado da estrutura. Para isso, é preciso conhecer as condições ambientais nos quais a estrutura estará inserida, classificando assim a agressividade do ambiente.

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), a agressividade do meio ambiente independe das ações mecânicas, variações volumétricas devido a temperatura ou retração hidráulica, estando assim, relacionada apenas com ações físicas e químicas atuante na estrutura de concreto.

A norma ainda define as classificações de agressividade do ambiente de acordo com a Tabela 2, onde pode ser avaliada simplificadamente, segundo as condições de exposição da estrutura ou de suas partes. Após classificação da agressividade do ambiente, verifica-se quais os valores estabelecidos na norma para o cobrimento mínimo de cada tipo de agressividade, dependendo do tipo de concreto armado, e do elemento estrutural, conforme mostrado nas Tabela 2 e Tabela 3, da norma supracitada.

Tabela 2 - Classes de agressividade ambiental (CAA)

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

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

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

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

Fonte: ABNT: NBR 6118 – 2014

Tabela 3 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para tolerância de 10mm

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

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

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

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

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

Fonte: ABNT: NBR 6118 – 2014

A deterioração do concreto com o passar do tempo é um fenômeno normal devido ao envelhecimento da estrutura, mas quando o cobrimento não é executado adequadamente, a espessura insuficiente faz com que os agentes agressores cheguem até a armadura de maneira precoce, ocasionando a corrosão das armaduras do concreto.

Esta corrosão ocorre quando a película passivante, que envolve as barras de aço, é deteriorada, provocando a oxidação do ferro e diminuição do pH alcalino da água presente no concreto.

Segundo Ripper e Souza (1998), o processo de corrosão do aço é eletroquímico, na presença de um eletrólito e uma diferença de potencial, criando o efeito pilha, com corrente elétrica composta pelo polo positivo (cátodo) e o polo negativo (ânodo). Essa corrente elétrica é formada pelos átomos de ferro que “abandonam” a barra e são doados pelo ânodo, formando uma camada de ferrugem e perda de seção da barra como consequências.

A corrosão da armadura faz com que a estrutura perca aderência entre o concreto e o aço, comprometendo a capacidade da estrutura de resistir as solicitações mecânicas.

A formação da camada de ferrugem, implica no aumento do volume do ferro que pode assumir um valor até dez vezes maior que o original, exercendo assim grande pressão sob a camada de concreto que envolve a armadura, o suficiente para fraturar este concreto.

Segundo Panossian *et al.* (1993), a transformação de um material por meio da reação química ou eletroquímica com o meio no qual ele está inserido denomina-se de corrosão. Essas reações, químicas e eletroquímicas, definem os dois principais processos de corrosão: oxidação e corrosão propriamente dita. Nas estruturas de concreto armado, ocorre a corrosão eletroquímica.

De acordo com Cascudo (1997), a classificação dos processos de corrosão se dá a partir da natureza do processo: corrosão química (também conhecida como corrosão seca ou oxidação) e corrosão eletroquímica (também denominada de corrosão aquosa).

A oxidação ocorre pela reação gás-metal, caracterizada por ser um processo lento, com formação de uma película de óxido e a ausência da deterioração superficial das barras de aço, salvo casos especiais onde os gases são extremamente agressivos (CASCUDO, 1997). Segundo Helene (1986), referido por Polito (2006), explica que a película de óxido pode ser considerada uma proteção para a corrosão eletroquímica, devido a sua uniformidade e baixa permeabilidade, e a irrelevância do processo de oxidação como forma de deterioração do aço, ressaltando que este processo ocorre preponderantemente durante a fabricação das barras.

Segundo Cascudo (1997), ao contrário da oxidação, a corrosão eletroquímica, pode trazer efetivamente prejuízos as estruturas de concreto armado. Por se tratar de um processo de natureza eletroquímica, tem-se a formação de uma pilha ou célula de corrosão eletroquímica, em meio aquoso. Neste processo ocorre a formação de uma película de eletrólito sobre a superfície das barras de aço, causada pela presença de umidade no concreto ou, em casos raros, devido ao ambiente sob efeito de altas temperaturas ($>80^{\circ}\text{C}$) e baixa umidade relativa ($<50\%$).

Ainda de acordo com Cascudo (1997), as pilhas eletroquímicas são constituídas obrigatoriamente pelos seguintes componentes:

a) Ânodo

Polo negativo, onde ocorrem as reações anódicas de oxidação do metal. Neste eletrodo, ocorre a perda de elétrons para o cátodo, onde serão consumidos por outra reação superficial. Esses elétrons são provenientes das reações de oxidação que consistem no átomo metálico deixar a barra de metal para formar íons no eletrólito.

b) Cátodo

Polo positivo, no qual verifica-se a ocorrência das reações catódicas de redução de espécies eletroquímicas ou íons de eletrólito. Neste eletrodo, ocorre o ganho de elétrons oriundos das reações anódicas, necessários para viabilizar as reações de redução de cátions em suas proximidades, no caso das armaduras no concreto, redução de oxigênio.

c) Eletrólito

É o meio condutor no qual os íons estão inseridos e transportam a corrente elétrica do ânodo para o cátodo, estes dois devem estar imersos neste meio, usualmente líquido.

d) Diferença de potencial

É estabelecida entre a fase sólida e líquida, quando há a imersão da barra de metal em soluções eletrolíticas, tendo natureza elétrica e química simultaneamente. É a partir desta diferença que ocorre a formação da pilha eletroquímica, necessária para que haja o processo de corrosão, por meio do movimento eletrônico entre o ânodo e o cátodo.

É necessário reconhecer a vantagem da prevenção desse tipo de processo corrosivo, sobre a tentativa de correção depois que o processo foi iniciado. O emprego de métodos construtivos adequados, materiais de boa qualidade, mão-de-obra qualificada e medidas de uso e manutenção corretas, além de ser menos oneroso, é um plano de ação mais prático de ser executado que as metodologias de reparo das estruturas.

3.2.1 Carbonatação

Segundo Souza e Ripper (1998), a carbonatação do concreto ocorre quando o anidrido carbônico (CO₂), que está presente na atmosfera, e se transporta da superfície para o interior do concreto, reagindo com o hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂), presente na pasta de cimento, no meio aquoso, originando o carbonato de cálcio (CaCO₃), como mostra a Equação 1. O hidróxido de cálcio desaparece no interior dos poros, e origina o carbonato de cálcio, que faz com que o pH do concreto diminua de valores entre 12,5 e 14 para valores inferiores a 9.



Assim como o hidróxido de cálcio, o hidróxido de sódio (NaOH), o hidróxido de potássio (KOH) e o silicato de cálcio hidratado (C-S-H ou $3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$), também presentes na pasta de cimento hidratada, reagem com o anidrido carbônico. Contudo, o hidróxido de cálcio representa a mais simples e mais importante das reações químicas de carbonatação do concreto (AGUIAR, 2006).

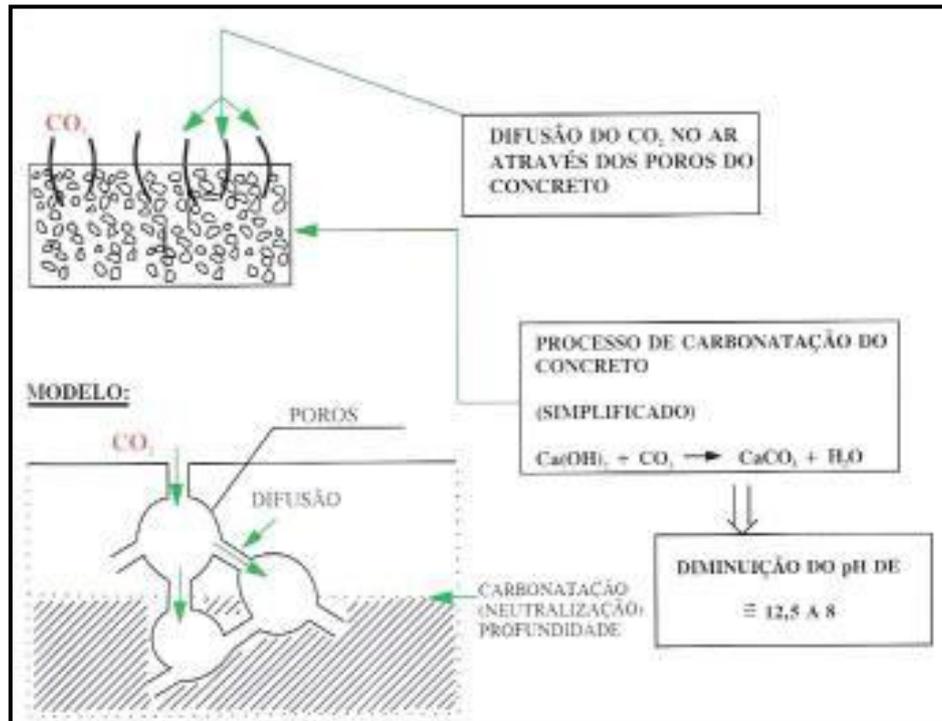
O processo de carbonatação é caracterizado pela presença de uma “frente” de avanço do processo, como explica Cascudo (1997). Conhecida como “frente de carbonatação”, ela define o limite entre duas zonas com pH muito diferentes, uma com pH menor que 9, caracterizando a zona carbonatada, e outra com pH maior que 12, zona que não foi carbonatada. Este limite avança da superfície do concreto para o seu interior, de acordo com o aumento de zona carbonatada. A espessura da camada de cobrimento de concreto é a relação para a medida deste avanço.

A despassivação da armadura ocorre justamente quando a frente de carbonatação atravessa o concreto de cobrimento e atinge a armadura, causando a perda da camada passivadora do aço, camada que protege a barra de corrosões. Desta forma, tem-se que a carbonatação do concreto proporciona o início do processo de corrosão da armadura (CASCUDO, 1997).

O pH altamente alcalino das superfícies do concreto é resultado da presença de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, produzido a partir das reações de hidratação do cimento, mas com o tempo, essa quantidade de hidróxido de cálcio pode ser reduzida essencialmente pela ação do CO_2 da atmosfera, originando o processo de carbonatação. Contudo, esse processo é lento e tende a diminuir com o tempo. Essa atenuação é explicada por Cascudo (1997), devido aos produtos da própria carbonatação, o carbonato de cálcio, que preenche os poros superficiais, dificultando que o CO_2 alcance o interior do concreto.

Como mostra a Figura 2, o CO_2 penetra na superfície do concreto e se difunde pela estrutura a partir de seus espaços vazios, e continua avançando para o seu interior a medida que entra em contato com a alcalinidade do concreto.

Figura 2 - Processo de carbonatação do concreto.



Fonte: FIGUEIREDO, Enio Pazini. Efeitos da carbonatação e de cloretos no concreto. Concreto: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. 2v. Cap.27, p.831.

O grau de gravidade do processo de carbonatação pode ser relacionado com o ambiente onde a estrutura está inserida. A intensidade de anidrido de carbono na atmosfera juntamente com a porosidade, permeabilidade e fissuração do concreto, fazem com que a carbonatação consiga atingir a armadura. Caso, o ambiente apresentasse baixa concentração de CO₂, a carbonatação ficaria limitada a camada de cobertura das armaduras, proporcionando ao concreto uma maior resistência química e mecânica, devido à colmatação dos poros pelo sal CaCO₃, não deteriorando o filme de oxido que protege a armadura, evitando assim a corrosão da mesma (SOUZA e RIPPER, 1998).

Segundo Silva referido por Lapa (2008, p.19), a velocidade do processo de carbonatação, em concretos de qualidade mediana, varia entre 1 a 3 mm por ano. Então, as armaduras protegidas por uma menor camada de cobertura serão atingidas mais rapidamente pela corrosão. Desta forma, a espessura do cobertura influencia diretamente o processo de corrosão por carbonatação.

Segundo Figueiredo (2005), ainda pode-se relacionar a velocidade do processo com diversos fatores, sejam eles ambientais, composição dos materiais ou etapas de execução, que ajudam ou não a difusão do CO₂ pelo concreto, como por exemplo:

umidade relativa, tempo, relação água/cimento, tipo do cimento, permeabilidade do concreto e cura, como mostra a Tabela 4.

Tabela 4 - Principais fatores condicionantes para o avanço da frente de carbonatação.

FATORES CONDICIONANTES		CARACTERÍSTICAS INFLUENCIADAS
FATORES AMBIENTAIS OU CONDIÇÕES DE EXPOSIÇÃO	Concentração de CO ₂	Mecanismo físico-químico Velocidade de carbonatação
	Umidade relativa do ar	Grau de saturação dos poros Velocidade de carbonatação
CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO	Tipo e quantidade de cimento	Reserva alcalina
	Relação água/cimento	Porosidade e permeabilidade
	Condições de cura	Grau de hidratação, porosidade, permeabilidade e fissuração
	Fissuras	Facilita entrada de CO ₂

Fonte: Kazmierczak (1995) *apud* Figueiredo (2005).

Para umidade relativa de 60%, tem-se o grau máximo de carbonatação, enquanto para um ambiente seco ou saturado, esse grau fica em torno de 20% do valor máximo (LAPA, 2008).

Um concreto que apresenta poros secos, dificulta que o CO₂ se ionize, devido a falta do meio aquoso, e mesmo que ocorra, o processo de carbonatação será extremamente lento. Num concreto de poros preenchidos por água, o CO₂ não consegue penetrar e difundir-se (SILVA, 1995). Portanto, quando se aumenta a relação água/cimento, se houver deficiência na execução da cura do concreto, as fissuras provenientes do processo de retração facilitam a entrada do anidrido de carbono na estrutura.

Sendo assim, o aumento da relação água/cimento, favorece a permeabilidade do concreto e o avanço da profundidade de carbonatação, já que contribui para a capacidade de difusão do CO₂.

3.2.2 Ação dos Cloretos

Os íons cloretos Cl⁻ são apontados como um dos principais causadores da corrosão das armaduras do concreto, por diversas bibliografias. O contato dos íons e concreto pode ser feito a partir do CaCl₂, contido em aditivos aceleradores de pega, nas impurezas na água de amassamento e nos agregados, na maresia, processos industriais entre outros (CÁNOVAS, 1984). Contudo, a partir da década de 80, os fabricantes de aditivos

mudaram as composições, excluindo os cloretos, para evitar a contaminação da estrutura de concreto armado.

Segundo Cascudo (1997), a absorção capilar, difusão iônica, permeabilidade sob pressão e migração iônica são os meios de transporte que levam a concentração de íons de cloreto no concreto, os agentes mais perigosos para a corrosão da armadura. Esses íons tem a capacidade de despassivar o aço mesmo com o pH extremamente alcalino, e ainda participam do processo de corrosão.

Os parâmetros que influenciam o processo de carbonatação são basicamente os mesmo para a penetração de Cl^- . A relação água/cimento, adensamento e cura são fatores que influenciam na qualidade do concreto, tendo relação direta com a ação dos cloretos, por meio da porosidade e fissuração do concreto.

O pH do concreto afeta a concentração necessária de cloretos para que a corrosão possa ocorrer. Dessa forma, pode-se relacionar o processo de carbonatação e ataque dos cloretos: quando essas ações interagem, os efeitos são acelerados quando comparados aos efeitos das ações independente. Isto é explicado por Emmons (1993), já que a carbonatação causa a diminuição do pH do concreto, tem-se que a quantidade de cloretos para o desencadeamento da corrosão é menor do que o pH alcalino original do concreto. Normalmente, estes dois processos agem em conjunto.

A temperatura também pode influenciar na ação dos cloretos e sua elevação favorece a mobilidade molecular, facilitando o transporte de cloretos pela microestrutura (FIGUEIREDO, 2005).

Há muitas controvérsias quanto ao ataque dos cloretos, contudo Cascudo (1997), explica três teorias para os efeitos dos cloretos nas armaduras do concreto:

a) Teoria do Filme de Óxido

Através de poros ou defeitos no concreto, os íons de cloreto atingem a camada passivante que envolve o aço, mais facilmente do que outros íons, ao mesmo tempo que os cloretos se dissipam de forma coloidal no filme de óxido, facilitando ainda mais sua penetração.

b) Teoria da Adsorção

O cloreto facilita a dissolução dos íons de metal, promovendo a sua hidratação, por meio da adsorção dos íons de cloreto na superfície metálica através do oxigênio dissolvido ou íons de hidroxila.

c) Teoria do Complexo Transitório

Nesta teoria, há a formação de um complexo solúvel de cloreto de ferro, devido a produção de íons ferrosos através da corrosão, onde os íons de cloreto competem com os íons de hidroxila. As áreas anódicas destroem a camada protetora de $\text{Fe}(\text{OH})_2$, difundindo o complexo e dando continuação a corrosão. O complexo se rompe a uma certa distância do eletrodo, liberando hidróxido de ferro e o íon de cloreto que realimenta o processo.

3.2.3 Ataque de Sulfatos

Segundo Silva referido por Lapa (2008), assim como os cloretos, os sulfatos podem estar presentes na água de amassamento, nos agregados e até no próprio cimento. Nos casos de agentes externos, os sulfetos podem penetrar o concreto por difusão iônica ou por sucção capilar. O ataque dos sulfetos é caracterizado pela ação expansiva que gera altas tensões capazes de fissurar o concreto.

Os principais sulfatos solúveis são comumente encontrados em minas e áreas de indústrias químicas. Os sulfatos de magnésio são os mais perigosos, contudo são os mais raros, ao contrário dos de sódio e cálcio que são facilmente encontrados nos solos águas e processos industriais.

O ataque dos sulfatos, proporciona uma reação dos íons na pasta de cimento hidratado, com o $\text{Ca}(\text{OH})_2$ e o aluminato de tri-cálcico, presente no cimento, produzindo a etringita e o gesso, que se expande devido a água, exercendo forte pressão e desintegrando a pasta de cimento (LAPA, 2008).

Apesar de não atacar a armadura diretamente, a ação dos sulfatos favorece a penetração de CO_2 e íons de cloreto, acelerando o processo de corrosão da armadura.

3.2.4 Reação Álcali-Agregado

Sabe-se que alguns agregados reagem com o potássio, sódio e hidróxido de cálcio no cimento, formando um gel que envolve esses agregados, esta reação é chamada álcali-agregado. Apesar de não haver ainda uma compreensão acerca dos seus mecanismos de causa, sabe-se que, quando este gel é exposto à umidade, ele se expande gerando tensões internas capazes de fissurar o concreto em torno dos agregados (ANDRADE, 2005).

O mapa de fissuras que a estrutura afetada apresenta quando ocorre esse tipo de problema, permite que aumente a umidade do concreto acelerando ainda mais a reação álcali-agregado, como também sendo mecanismo de causa para outras patologias como

por exemplo a corrosão da armadura devido a carbonatação e ação de cloretos. E apesar de não ser um processo lento, esta reação pode passar despercebida por um tempo, fazendo necessário a realização de exames de dimensão microscópica para melhor diagnóstico.

3.2.5 Lixiviação do Concreto

A água proveniente da condensação de neblina, vapor ou da chuva, podem conter baixa ou nenhuma concentração de íon de cálcio, conhecidas como águas puras. Então quando essas águas entram em contato com o cimento, a tendência é que ocorra a dissolução dos produtos contendo cálcio ou a hidrolisação dessas águas. Como o hidróxido de cálcio, presente no concreto, apresenta grande solubilidade em águas puras, é muito sensível a eletrólise, fazendo com que ocorra a lixiviação. O produto da lixiviação, íons de cálcio, reagem facilmente com CO_2 presente na atmosfera, resultando no aparecimento de crostas brancas de carbonato de cálcio na superfície do concreto, conhecidas como eflorescências. E além da estética indesejável, a lixiviação ainda causa perda de resistência mecânica do concreto (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

4 METODOLOGIA

O trabalho foi realizado mediante pesquisas a trabalhos científicos, bem como revistas técnicas e livros relacionados, ao tema, enfatizando os tipos de patologias em concreto armado, suas incidências, formas de interpretação e metodologias para elaboração do diagnóstico para o reparo da estrutura.

Com base neste estudo, está previsto um levantamento *in loco* das manifestações patológicas que serão observadas no momento das vistorias nos blocos A, B, C, D, E, F, e H de salas de aula e de ambiente de professores do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, localizado no *campus* I, em João Pessoa-PB, onde serão constatados e registrados, por meio de imagens, os sintomas de deterioração das edificações. O levantamento será o enfoque da revisão bibliográfica.

A metodologia utilizada neste estudo consistiu nas seguintes etapas:

a) Análise da estrutura

Nesta etapa, ocorre o primeiro contato com a edificação, onde o profissional vai fazer o levantamento das informações importantes em relação a mesma, como por exemplo: a idade da edificação, processo construtivo adotado, projeto estrutural (quando possível), características das peças estruturais, condições de exposição durante o uso e medidas de manutenção adotadas.

b) Vistoria

Segundo Gomide *et al.* (2015), a vistoria consiste na etapa onde é feita a constatação técnica das manifestações patológicas e da condição física em que a estrutura se encontra, mediante a verificação *in loco*. Recomenda-se também que seja feito o registro fotográfico dos problemas observados.

c) Inspeção

A análise técnica da condição física da estrutura, bem como das manifestações patológicas observadas na vistoria, é realizada na inspeção na edificação (GOMIDE *et al.*, 2015). Esta etapa, consiste na anamnese do problema, ou seja, na avaliação preliminar dos mecanismos que possam ter desencadeado a ocorrência dos sintomas constatados e seu processo evolutivo, relacionando com locais predominantes de aparecimento das

manifestações, possíveis intervenções já realizadas, procedimentos executivos mais utilizados na época.

d) Diagnóstico

Esta etapa consiste na apuração técnica das prováveis origens, causas e mecanismos de ação da manifestação patológica e/ou condição da estrutura, levando em consideração as informações disponíveis nos itens a, b e c.

No presente trabalho, o diagnóstico não contará com resultados de experimentos e ensaios tecnológicos, o mesmo será feito por meio de inspeção visual dos sintomas e revisão bibliográfica.

e) Prognóstico

O prognóstico ocorre quando o profissional descrever as futuras consequências que podem ocorrer na estrutura, caso o problema não seja reparado a tempo, e a patologia continue evoluindo. Podendo também ser estimado quando se encerrará a vida útil de serviço da estrutura (ANDRADE e SILVA, 2005).

f) Intervenção

Nesta última etapa, será definido a metodologia para execução da restauração ou reforço da estrutura danificada, bem como os materiais e técnicas utilizadas para o método escolhido.

5 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo será apresentado um estudo de caso teórico sobre as principais patologias presentes nas edificações do Centro de Tecnologia do *Campus I* da Universidade Federal da Paraíba.

5.1 ANÁLISE DA ESTRUTURA

O Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba corresponde hoje à antiga Escola Superior de Engenharia da Paraíba, que teve a construção de suas edificações concluídas e inauguradas no ano de 1952, mas só em 1974, as instalações foram destinadas ao atual Centro de Tecnologia da UFPB (LIMEIRA e FORMIGA, 1986).

As edificações que apresentaram maior número de manifestações patológicas são os blocos A, B, C, D, E e F, que constituíam a Escola Superior de Engenharia na época de sua inauguração, e os blocos H e “Praça do CT”. O bloco H, destinado ao curso de Graduação em Arquitetura e Urbanismo, foi inaugurado juntamente com o curso no ano de 1974. Informações da época de construção do bloco para ambientes de professores, comumente conhecido como “praça do CT”, não foram encontradas, contudo, pelas características da edificação, supõe-se que a mesma foi construída juntamente com o bloco H.

A primeira norma técnica que regia metodologia de cálculo e execução das estruturas de concreto armado foi publicada em 1937, pela Associação Brasileira de Cimento Portland, com a finalidade de suprir a necessidade do meio técnico. Com esta publicação, a população percebeu a carência de um fórum para discussão de critérios e normas técnicas para o projeto e uso de um crescente produto no mercado, o concreto. Logo, em 28 de setembro de 1940, foi criada a Associação Brasileira de Normas Técnicas, e nomeando a norma já publicada como Norma Brasileira número 1 (NB 1). A NB 1 teve sucessivas edições em 1950, 1960, 1978, e em 1980 foi substituída pela atual norma brasileira registrada 6118 (NBR 6118), cuja versão em validade atualmente corresponde a edição do ano de 2014.

Nota-se, então, que as construções datadas de 1952, foram construídas sob o regimento da norma técnica NB 1 de 1950, assim como o bloco H, que foi regido pela mesma norma, porém na versão posterior de 1970.

Os blocos mais antigos apresentam lajes de cobertura de seção transversal em formato de “W”, compostas por 4 lajes inclinadas, como mostra a Figura 3. As lajes são apoiadas apenas pelos vértices inferiores em vigas paralelas ao menor sentido das lajes componentes, e nas extremidades dos blocos, como mostra a Figura 4. Pode-se perceber então, que a junção de uma laje e outra é feita apenas pela proximidade das peças estruturais. Ainda, faz-se necessário enfatizar que esta junção ocorre nos vértices superiores.

Figura 3 - Estrutura da laje de cobertura do bloco B.



Fonte: (AUTOR, 2016).

Figura 4 - Pontos de apoio da laje nas vigas.



Fonte: (AUTOR, 2016).

A impermeabilização da estrutura de cobertura é feita por meio da utilização de mantas, possivelmente asfálticas, (Figura 5), cuja função é de impedir que a água da chuva escoe pela junção das lajes, conforme se observa na Figura 6, que nesta junção existe uma estrutura de telha cerâmica revestida pela mesma manta para melhor impermeabilizar a estrutura. Nota-se ainda, que as lajes apresentam estruturas conhecidas como “pingadeiras” (Figura 7), que tem como objetivo evitar que a água escoe pela parte inferior da estrutura, como mostra a Figura 8.

Figura 5 - Detalhe do sistema de impermeabilização das estruturas de laje de cobertura por meio da utilização de mantas.



Fonte: (AUTOR, 2016).

Figura 6 - Detalhe da junção das lajes de perfil "W".



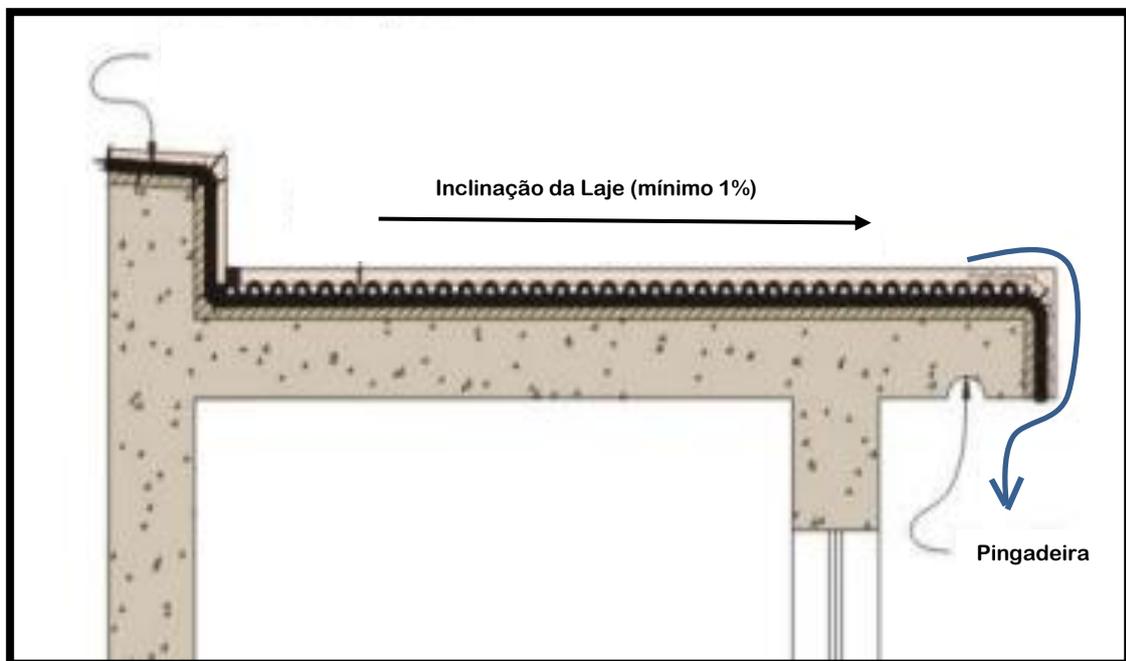
Fonte: (AUTOR, 2016).

Figura 7 - Detalhe da estrutura de "pingadeira".



Fonte: (AUTOR, 2016).

Figura 8 - Esquema de ação de uma "pingadeira".



Fonte: Adaptado de ARAÚJO, Tereza D. P. de. Construção de Edifícios I. Notas de aula - Impermeabilização. UFCE, 2003, p. 25.

Na estrutura dos blocos das edificações, também pode-se observar os pilares de seção transversal quadrada de dimensões 10 cm por 10 cm, localizados nos pontos de apoio da laje nas vigas (Figura 9). Como elemento decorativo, que possui a função impedir a incidência solar, tem-se a presença de brise, composto de aletas executadas em blocos cerâmicos (Figura 10) e em concreto armado (Figura 11).

No caso das aletas de blocos cerâmicos, as estruturas foram executadas em contato com os pilares.

Figura 9 - Detalhe dos pilares apoiando a viga.



Fonte: (AUTOR, 2016).

Figura 10 - Estrutura de brise de bloco cerâmico, aletas.



Fonte: (AUTOR, 2016).

Figura 11 - Estruturas do brise de concreto armado, aletas.



Fonte: (AUTOR, 2016).

Os blocos mais recentes, H e “Praça do CT” apresentam estruturas mais convencionais. Ambos os blocos apresentam estruturas compostas por térreo mais um pavimento superior, como mostram as Figura 12 e Figura 13. As lajes superiores são

planas, delimitadas por vigas, as quais são apoiadas em pilares, porém a praça do Centro de Tecnologia, apresenta laje de cobertura pré-moldada e inclinada, caracterizada por apresentar uma estrutura de cobertura composta por uma água, como mostra a Figura 14.

Figura 12 - Edificação do bloco de Arquitetura e Urbanismo, bloco H.



Fonte: (AUTOR, 2016).

Figura 13 - Edificação do bloco de ambiente de professores e laboratório de informática, Praça do CT.



Fonte: (AUTOR, 2016).

Figura 14 - Detalhe da estrutura da laje de cobertura do bloco de ambiente de professores.



Fonte: (AUTOR, 2016).

Nos blocos A, B, C, D e E, foi constatado a realização de uma possível medida de correção das manifestações patológicas nas estruturas da laje de cobertura, como mostra a Figura 15. O provável reparo teria sido realizado para proteger armaduras expostas, a partir da utilização do concreto para “vedar” as áreas expostas, contudo, não apresenta características de execução apropriada.

Figura 15 - Provável medida de reparo contra a exposição de armadura no bloco B.



Fonte: (AUTOR, 2016).

5.2 VISTORIA

Dentre todas as manifestações patológicas presentes nas edificações, algumas delas se destacaram por estarem presentes em todos os blocos descritos, portanto foram tomadas para avaliação neste trabalho de conclusão de curso.

5.2.1 Manifestações Patológicas Presentes nas Estruturas de Coberta

Os blocos A, B, C, D e E apresentaram manifestações patológicas em suas lajes de cobertura, de acordo com as Figura 16 e Figura 17.

Figura 16 - Detalhe do deslocamento do concreto na estrutura de cobertura do Bloco A.



Fonte: (AUTOR, 2016).

Figura 17 - Exposição de armadura após deslocamento do concreto no Bloco B.



Fonte: (AUTOR, 2016).

Na Figura 16, pode-se observar deterioração do concreto, caracterizados por deslocamentos na laje onde os agregados graúdos da mistura são facilmente visualizados, resultando em alguns casos a exposição das armaduras, como mostrada na Figura 17.

A exposição das armaduras horizontal e vertical da estrutura, que apresentam sinais de corrosão, como indicam as manchas de coloração avermelhada e alaranjada no

entorno das barras metálicas, e em alguns casos, a notória redução da seção transversal das mesmas são apresentadas na Figura 18.

Figura 18 - Armaduras expostas na laje de cobertura do Bloco D.



Fonte: (AUTOR, 2016).

As estruturas da cobertura também apresentam eflorescências, com a presença também de uma tonalidade escura na periferia de alguns casos, como mostram as Figura 19 e Figura 20.

Nas fissuras das lajes, fora constatado que as mesmas se formaram e tem seu crescimento seguindo as direções das eflorescências (Figura 21). Isto também ocorre com as armaduras expostas, que estão localizadas nas áreas que apresentam o mesmo sintoma supracitado (Figura 22).

Figura 19 - Eflorescências presentes na laje de cobertura do Bloco A.



Fonte: (AUTOR, 2016).

Figura 20 - Detalhe de fissura e eflorescência na laje de cobertura do Bloco A.



Fonte: (AUTOR, 2016).

Figura 21 - Armaduras expostas nas áreas de eflorescências na laje do Bloco A.



Fonte: (AUTOR, 2016).

Figura 22 - Fissuras, eflorescências, exposição e rompimento da armadura em laje de cobertura do Bloco B.



Fonte: (AUTOR, 2016).

Ainda tem-se a exposição de armadura em área supostamente reparada anteriormente, observada pelo contorno do concreto de reparo, como mostra a Figura 23.

Figura 23 - Exposição de armadura em provável área reparada anteriormente no bloco B.



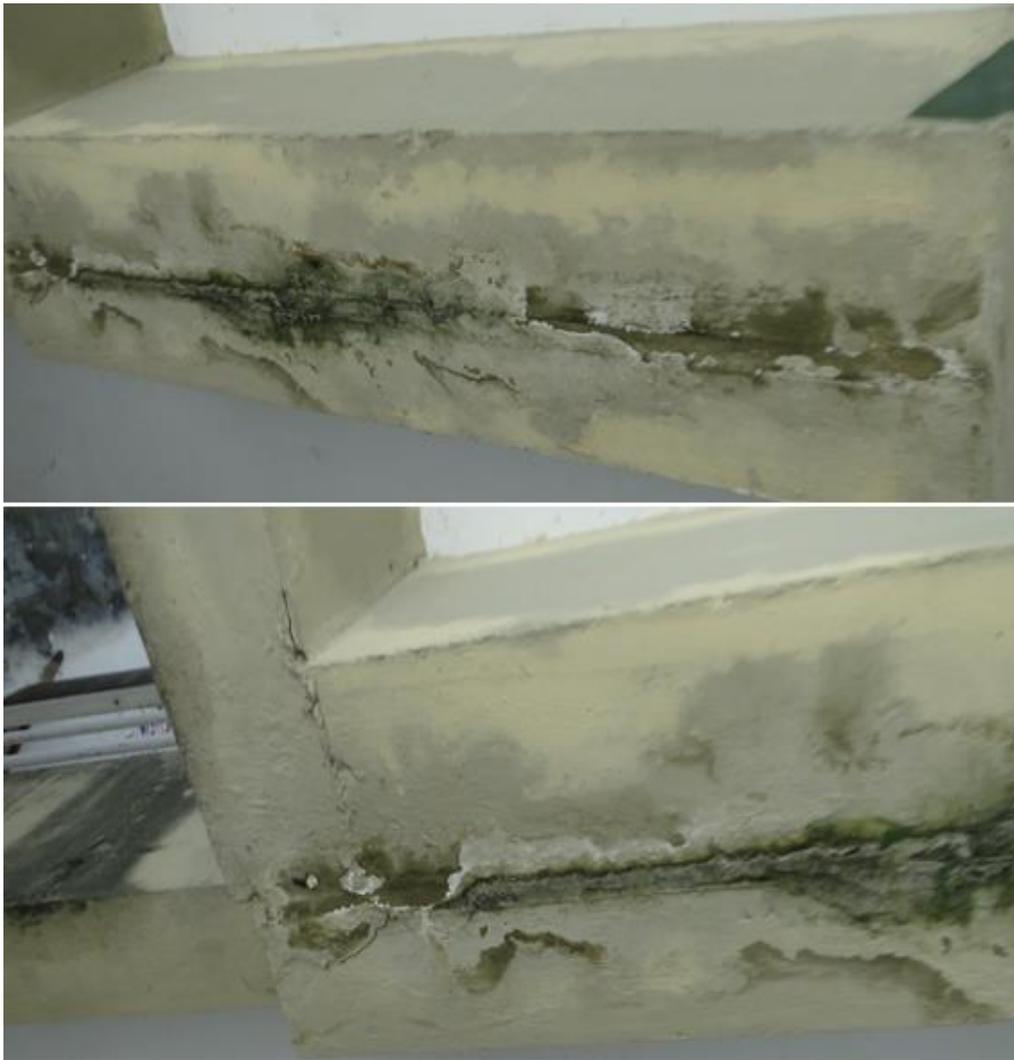
Fonte: (AUTOR, 2016).

5.2.2 Manifestações Patológicas Presentes em Pilares e Vigas

Na estrutura do bloco de Arquitetura e Urbanismo, pode-se notar vigas que apresentam além de eflorescências, manchas de coloração esverdeada e descolamento da camada de revestimento. Esses sintomas estão localizados na junta de dilatação presente entre as vigas da laje do pavimento superior do bloco, como mostra a Figura 24.

Na Figura 25, ainda no bloco H, constatou-se a presença de deslocamento do concreto nas vigas da periferia do bloco, bem como manchas escuras na camada de revestimento da peça estrutural.

Figura 24 - Manifestações patológicas nas juntas de dilatação nas vigas do bloco H.



Fonte: (AUTOR, 2016).

Figura 25 - Desplacamento do concreto em viga de periferia do bloco H.



Fonte: (AUTOR, 2016).

A Figura 28, mostra fissuras e deslocamento do concreto armado, resultando na exposição da armadura dos pilares da Praça do CT, além de armaduras transversais rompidas, e manchas avermelhadas resultantes da corrosão do aço.

Os pilares estão localizados na periferia da praça, e como mostra a Figura 27, o revestimento do piso da praça termina antes de se encontrar com os pilares, gerando um desnível de 25 mm entre nível da base dos pilares e o nível do piso (Figura 26), provocando acúmulo de água de chuva nesses pontos, o que é explicado pela presença dos sintomas de patologia nesta região dos pilares.

Figura 26 - Detalhe do desnível.



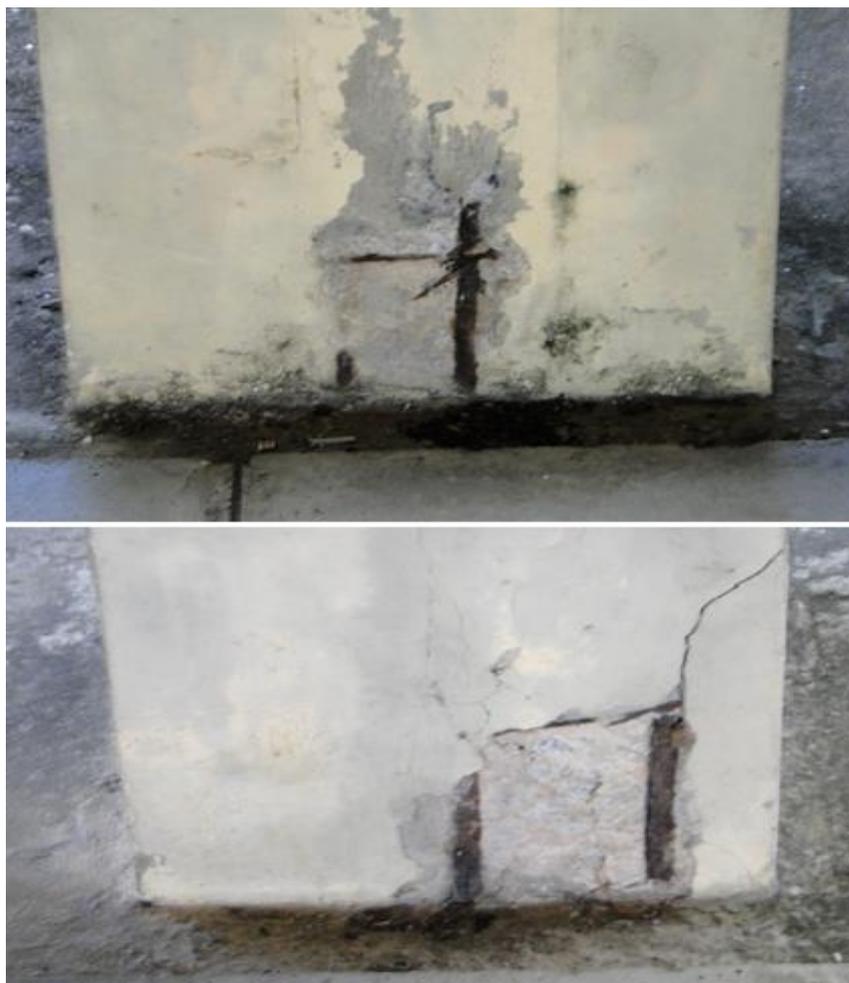
Fonte: (AUTOR, 2016).

Figura 27 - Detalhe do desnível entre os pisos.



Fonte: (AUTOR, 2016).

Figura 28 - Parte inferior dos pilares na praça do CT.



Fonte: (AUTOR, 2016).

5.2.3 Manifestações Patológicas Presentes nos Brises

Os blocos também apresentam descolamento do brise com os pilares, como mostra a Figura 29. Esse descolamento é caracterizado por uma trinca que se estende por toda altura das aletas, desde a laje de piso da edificação, onde a constatou-se fissuras de pequenas aberturas, com cerca de 0,5 mm, até a fase inferior da viga da coberta, onde observa-se fissuras maiores, com aberturas chegando a 20 mm.

Ainda nas aletas, foi constatado na estrutura do brise de concreto do bloco F, o deslocamento de concreto com o agravante da exposição da armadura da estrutura, que apresenta visível diminuição da seção da barra, bem como a diminuição da aderência da mesma com o concreto, Figura 30.

Figura 29 - Descolamento da estrutura do brise com o pilar do bloco E.



Fonte: (AUTOR, 2016).

Figura 30 - Manifestações patológicas nas aletas de concreto do bloco F.



Fonte: (AUTOR, 2016).

5.3 INSPEÇÃO, DIAGNÓSTICO E PROGNÓSTICO

Neste trabalho de conclusão de curso, o diagnóstico não irá dispor de resultados de ensaios específicos, o mesmo se dará por meio da inspeção visual das manifestações patológicas descritos e comentados no item 5.2, apontando possíveis causas, mecanismos agravantes e consequências prováveis nos elementos avaliados.

5.3.1 Corrosão da Armadura

É importante salientar, que para um diagnóstico mais preciso, é necessária realização de ensaios, para avaliar a corrosão de armadura, os mais utilizados são:

- Indicadores de pH: consistem na aplicação de indicadores como a fenolftaleína na superfície do concreto escarificado ou onde a armadura está exposta, ou ainda em corpo-de-prova extraído da estrutura, e avaliação da coloração resultante: coloração róseo-avermelhada (zona não carbonatada) ou incolor (zona carbonatada), já que a carbonatação reduz o pH alcalino do concreto.
- Solução de Nitrato de Prata: age de maneira análoga aos indicadores de pH, originando duas colorações no concreto: marrom (ausência de íons de cloreto) e branca (presença de íons de cloreto). Após constatar a presença de cloretos, deve ser avaliada a medida de concentração de cloretos, para verificar a gravidade da sua ação, e medir o potencial de corrosão, com o objetivo de apresentar o grau de passividade da armadura.
- Potencial de Corrosão: avalia e monitora o índice de corrosão do aço no concreto, disponibilizando avaliações precisas do local onde existem maiores possibilidades de ocorrer a corrosão, além de definir o grau de corrosão nas armaduras nas quais o processo já foi iniciado.

5.3.1.1 Laje de Coberta

Nas estruturas de cobertura dos blocos A, B, C, D e E, pode-se observar o estágio avançado no processo de corrosão da armadura, comprovada pela perda da seção transversal das barras e pela presença de barras que já se romperam, devido a sua exposição aos agentes agressivos por falta da camada de revestimento. Essas armaduras expostas estão localizadas em áreas que apresentam grande quantidade de eflorescências, características da lixiviação do concreto.

A provável lixiviação está presente nas áreas onde há a junção das lajes inclinadas, que pode ser explicado por problemas de manutenção na impermeabilização da cobertura, fazendo com que a água, proveniente de chuva, escoe pela laje, dissolvendo o hidróxido de cálcio presente no concreto. Essa dissolução resulta na aparição de fissuras na estrutura, além de favorecer a entrada de gases e líquidos nocivos a armadura, como por exemplo o anidrido de carbono.

As estruturas que apresentam esse tipo de patologia, são datadas de 1952, e não apresentam sinais de medidas de reparos severos, ou seja, são estruturas que não tem sinais de apresentarem grandes defeitos ao longo do tempo, além de estarem localizadas em uma área protegida de agressividade marinha, zona litorânea ou respingos de maré. Com isso, pode-se descartar a hipótese de ação dos cloretos nas armaduras da estrutura da laje, pois não provém da contaminação dos materiais utilizados na construção da edificação, nem da ação da maresia, elegendo a corrosão por carbonatação como a patologia mais provável, que também é corroborada por se tratar de área próximo à estacionamento, com grande emissão de CO₂.

Em 1952, a norma que regia os projetos de estruturas de concreto, a NB 1 de 1950, não levava em consideração a agressividade do ambiente em que a estrutura fosse inserida, sendo assim, não haviam cuidados com a espessura da camada de cobrimento da armadura. O cobrimento era executado apenas para evitar a exposição das barras, e não para proteger as mesmas da penetração de agente agressivos pelo concreto. Isso explica a camada insuficiente de cobrimento da armadura nas estruturas em discussão.

A lixiviação, como já comentado, teria favorecido a penetração do anidrido de carbono, presente na atmosfera, iniciando no concreto, o processo de carbonatação. Tem como produto o carbonato de cálcio, sais que preenchem os poros por onde o CO₂ se difunde, diminuindo a velocidade de avanço do processo. Logo, a falta de cobrimento suficiente agiu como agente agravante do processo, fazendo com que a armadura fosse atingida antes que o próprio produto da carbonatação impedisse o seu avanço.

O processo de corrosão da armadura, por sua vez, acarretou o deslocamento do concreto, acelerando o crescimento das fissuras oriundas da lixiviação, devido ao aumento do volume de aço.

Desta forma, tem-se o diagnóstico:

- a) Patologia: Corrosão da armadura devido a carbonatação.
- b) Manifestações: Deslocamento e fissuração do concreto, eflorescências, exposição, perda de seção transversal e rompimento da armadura.

- c) Causa: Lixiviação do concreto.
- d) Origem: Provável falha na manutenção da impermeabilização da estrutura de cobertura.
- e) Agente agravante: Falta de espessura adequada da camada de cobrimento de concreto, originada na fase de projeto.
- f) Consequências: Falta de aderência entre a armadura e o concreto, diminuição da resistência mecânica e posteriormente ruína e colapso da estrutura.

5.3.1.2 Aletas de Concreto Armado

O estágio avançado do processo de corrosão da armadura também é observado nas estruturas do brise de concreto armado existentes na edificação do bloco F. As aletas apresentam armaduras expostas, onde se pode ver nitidamente a camada de óxidos provenientes da corrosão.

As fissuras presentes na estrutura estão localizadas nas áreas de posicionamento da armadura, indicando assim, que são resultados da expansão volumétrica do aço, característica do processo corrosivo. Ainda, tem-se o deslocamento do concreto, como outro sintoma da corrosão, localizado nas áreas com armaduras.

De maneira análoga nas estruturas da laje de cobertura, descarta-se a hipótese de ação dos cloretos, elegendo mais uma vez a como patologia, a carbonatação.

O brise, por ser uma estrutura externa, está mais exposta as intemperes e variações de temperatura, ocorrendo um desgaste natural maior da estrutura de concreto armado, logo, há a necessidade urgente de implementar medidas de manutenção para evitar perda de desempenho.

A estrutura construída em 1952, apresenta eflorescências, indicadores de lixiviação do concreto, a mesma falha de projeto mostrada no item anterior, e a falta de espessura suficiente da camada de cobrimento, que também contribuiu para o avanço da frente de carbonatação até a armadura das aletas.

Desta forma, tem-se o diagnóstico:

- a) Patologia: Corrosão da armadura devido a carbonatação.
- b) Manifestações: Deslocamento e fissuração do concreto, eflorescências, exposição, perda de seção transversal da armadura.
- c) Causas: Lixiviação do concreto.
- d) Origem: Provável falta de manutenção na estrutura exposta a intemperes.

- e) Agente agravante: Falta de espessura adequada da camada de cobrimento de concreto, originada na fase de projeto.
- f) Consequências: Falta de aderência entre a armadura e o concreto, diminuição da resistência mecânica e posteriormente ruína e colapso da estrutura.

5.3.1.3 Pilares

Os pilares, como comentado no item Vistoria, estão situados na periferia da Praça do Centro de Tecnologia, e como apresenta desnível entre o revestimento de piso da praça e a base dos pilares, com a presença de lodo e manchas escuras é possível associar o deslocamento e fissuração do concreto à corrosão da armadura, resultado de um possível acúmulo de água, oriunda de chuva, no nível inferior, causando a infiltração por capilaridade na estrutura.

A edificação apresenta as mesmas características ambientais dos blocos A, B, C, D, E e F, indicando mais uma vez a carbonatação como causa da corrosão da armadura.

Apesar da edificação ser mais recente do que os blocos citados, a norma vigente na época de sua construção, NB 1 de 1970, ainda não previa valores de espessuras para a camada de cobrimento em relação à agressividade do ambiente, resultando na espessura insuficiente, que acaba acelerando o processo de corrosão da armadura.

Tem-se então o diagnóstico:

- a) Patologia: Corrosão da armadura devido a carbonatação.
- b) Manifestações: Deslocamento e fissuração do concreto, presença de lodo, exposição, perda de seção transversal e rompimento da armadura.
- c) Causa: Acúmulo de água na base da peça estrutural.
- d) Origem: Drenagem de águas superficiais ineficiente.
- e) Agente agravante: Falta de espessura adequada da camada de cobrimento de concreto, originada na fase de projeto.
- f) Consequências: Falta de aderência entre a armadura e o concreto, diminuição da resistência mecânica e posteriormente ruína colapso da estrutura.

5.3.1.4 Vigas

Na edificação do bloco H, observou-se fissuração do concreto da base de uma de suas vigas de periferia (Figura 25), na iminência do seu deslocamento, bem como manchas escuras, provavelmente oriundas do escoamento de água.

Por ser uma estrutura de periferia, que não apresenta nenhum tipo de proteção contra intemperes, pode-se relacionar a fissuração à variação volumétrica da armadura inferior da peça estrutural, devido ao processo de corrosão. O que pode ser corroborado pelas manchas escuras na superfície da estrutura, característica comum em infiltração da água.

Como a estrutura não apresenta exposição de armadura, não é possível avaliar a espessura da camada de cobrimento. Contudo, sendo uma edificação datada de 1974, acredita-se que essa espessura utilizada na época seja insuficiente.

Verifica-se que a edificação foi construída em um ambiente de agressividade moderada urbana conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014), portanto por não está situada em ambiente de agressividade forte como área de marinha ou área industrial, e por também não apresentar sinais de defeitos ao longo da sua vida útil, associa-se as manifestações patológicas ao processo de corrosão de armadura por meio da carbonatação. Chegando ao seguinte diagnóstico:

- a) Patologia: Corrosão da armadura devido a carbonatação.
- b) Manifestações: Fissuração do concreto e presença de manchas escuras.
- c) Causa: Provável infiltração da água da chuva no concreto.
- d) Origem: Falta de proteção da estrutura contra intemperes.
- e) Agente agravante: Possível falta de espessura adequada da camada de cobrimento de concreto, originada na fase de projeto.
- f) Consequências: Deslocamento do concreto, exposição da armadura, falta de aderência entre a armadura e o concreto, diminuição da resistência mecânica e posteriormente ruína e colapso da estrutura.

5.3.2 Infiltração da Água no Concreto

Nas vigas duplas em consequência das juntas de dilatação da estrutura da edificação do bloco H, mostradas na Figura 24, construída em 1974.

Pode-se observar manchas esverdeadas, caracterizando a presença de lodo, e manchas escuras, verificar a presença de água no concreto, provavelmente por meio da infiltração. As manchas escuras estão presentes também nas faces laterais da peça estrutural. Já as manchas esverdeadas se concentram no centro da face inferior da viga dupla, ou seja, na localização da junta de dilatação, e ainda destacar a presença de deslocamento na pintura que reveste a viga.

Acrescenta-se ainda que, a edificação apresenta uma estrutura de pavimento superior sem parede de vedação para fechamento da periferia (Figura 12), sendo propício ao acúmulo de água oriunda de chuva na laje do pavimento superior, e conseqüentemente favorecendo a infiltração de água pela junta de dilatação, e como provavelmente não obteve medidas de manutenção necessárias em tempos anteriores, agora começa apresentar sintomas de patologias, cujo diagnóstico obtido é:

- a) Patologia: Infiltração da água no concreto.
- b) Manifestações: Descolamento da pintura da peça estrutura, manchas escuras, presença de lodo.
- c) Causa: Possível acúmulo de água na superfície das lajes do pavimento superior.
- d) Origem: Provável falta de manutenção da junta de dilatação.
- e) Agente agravante: Falta de paredes de vedação.
- f) Conseqüências: Corrosão da armadura, deslocamento do concreto, exposição da armadura, falta de aderência entre a armadura e o concreto, diminuição da resistência mecânica e posteriormente ruína e colapso da estrutura.

É importante enfatizar que, como a estrutura ainda não apresentou sintomas mecânicos da patologia, é preciso fazer uma investigação mais aprofundada para definir as dimensões do efeito da presença da água na estrutura, como por exemplo se já iniciou o processo de corrosão da armadura.

Neste caso de modo geral, os ensaios mais indicados são:

- Esclerômetro: tem como objetivo medir a compacidade do concreto, determinando sua dureza superficial e resistência a compressão.
- Ultrassom: para a detecção de uniformidades, cavidades, rachaduras, entre outros.
- Extrator de Testemunho: para a realização de ensaios de compressão e de resistência.
- Pacômetro: determinação de armadura, afim de auxiliar na extração do testemunho.

5.3.3 Destacamento das Aletas

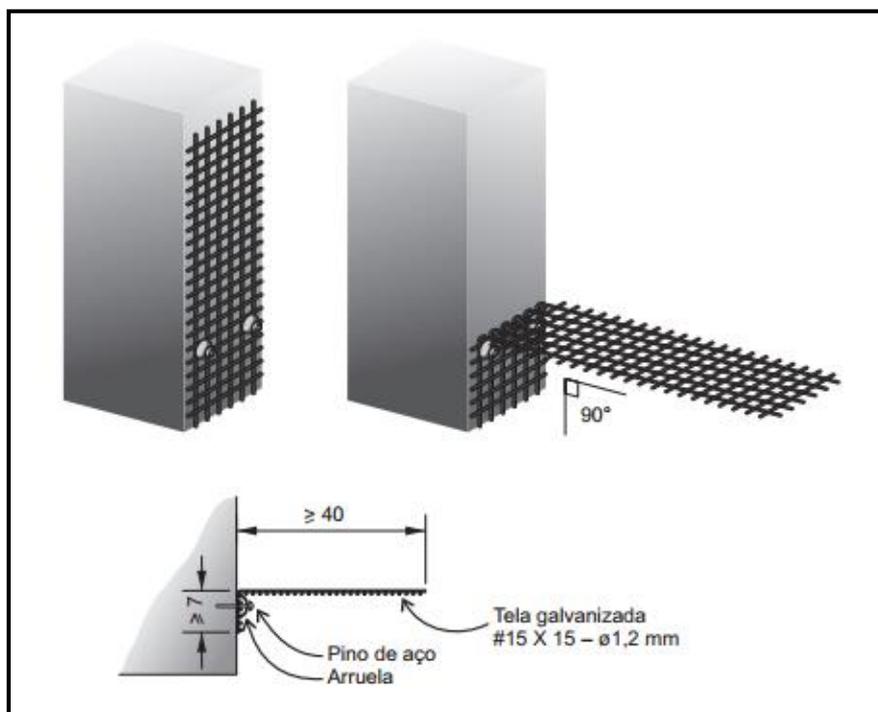
Nas estruturas dos brises dos blocos A, B, C, D e E, conforme mostra a Figura 29, observa-se a presença de fissuras entre os pilares e as aletas de bloco cerâmico, caracterizados pelo afastamento entre esses elementos.

A hipótese de recalque diferencial do pilar foi descartada por não apresentar fissuras entre o piso da base do pilar e a cerâmica do corredor conforme as Figura 9 e Figura 10, além da angulação da fissura: no caso do recalque diferencial, tem-se fissuras com angulação de 45°, já as fissuras apresentadas estão na vertical, acompanhando a direção do pilar. Entretanto existe a possibilidade de acomodação da fundação da parede de apoio do brise agravando a separação ente esses elementos.

Observa-se também a diferença dos materiais: o concreto armado do pilar e o bloco cerâmico das aletas, assim como o fato da fissura se estender por todo comprimento do pilar, nota-se que não há a presença de telas metálicas, como exige a norma reguladora NBR 8545 (ABNT, 1984), que rege a execução de alvenarias sem função estrutural de blocos cerâmicos.

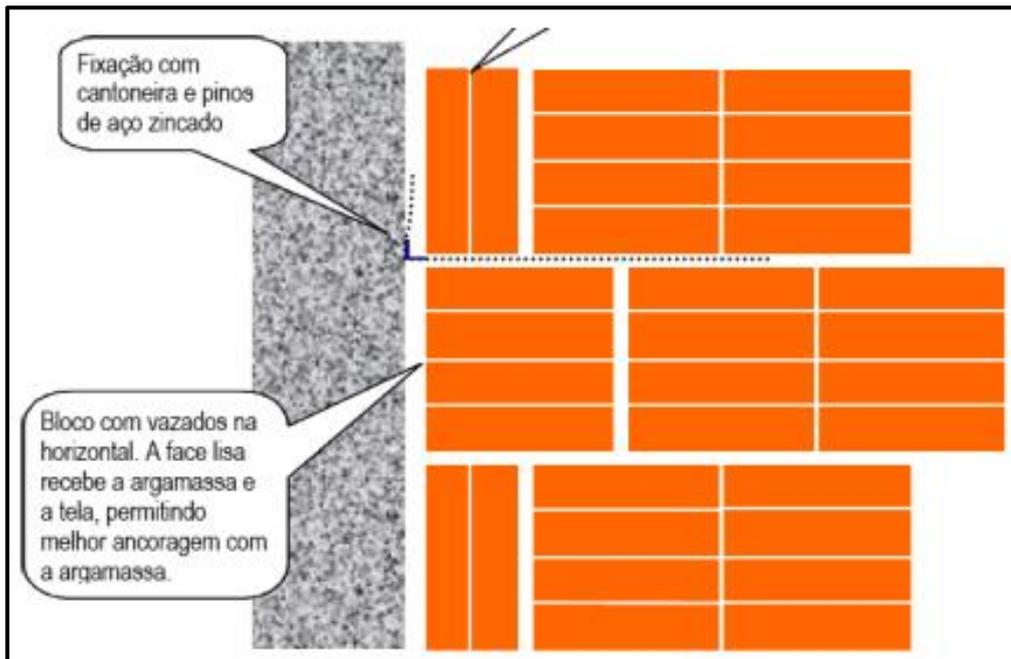
As telas metálicas, mostradas nas Figura 31 e Figura 32, tem como objetivo de evitar os destacamentos entre os elementos das estruturas, pois como são compostas por materiais diferentes, irão se comportar de maneiras diferentes quando se considera, por exemplo, gradientes térmicos e flexibilidade da estrutura.

Figura 31 - Detalhe da execução de tela metálica para fixação da alvenaria de vedação e o pilar.



Fonte: THOMAZ, E.; FILHO, C. V. M.; CLETO, F. R.; CARDOSO, F. F. Código de Práticas N° 1: Alvenaria de Vedação em Blocos Cerâmicos. IPT, São Paulo, 2009. p. 28.

Figura 32 - Posicionamento da tela metálica na junta de argamassa.



Fonte: (MEDEIROS e FRANCO, 1998).

A ausência dessa tela metálica pode ser considerada o fator desencadeante do destacamento das aletas.

As estruturas citadas que apresentam essa patologia são datadas de 1950, já a norma reguladora que define a utilização das telas metálicas teve sua publicação no dia 30 de setembro de 1984, ou seja, quando a edificação foi construída, ainda não havia exigências em relação a fixação dessas telas nas de estruturas compostas por materiais diferentes.

- a) Patologia: Destacamento das aletas.
- b) Manifestação: Fissura vertical ao longo do comprimento do pilar.
- c) Causa: Ausência de telas metálicas para fixação da aleta ao pilar.
- d) Origem: Fase de projeto, devido à falta de norma reguladora na época do projeto.
- e) Agente agravante: Não possui.
- f) Consequências: Desabamento das aletas, sem prejuízos a estrutura da edificação.

5.4 INTERVENÇÃO

As medidas de intervenção que são apresentadas neste trabalho, foram escolhidas a partir das considerações feitas no item 5.3.

5.4.1 Corrosão da Armadura

A recuperação das estruturas atacadas pela corrosão das armaduras consistirá em promover sua capacidade original, removendo as corrosões, construindo uma camada de cobertura adequada de concreto e protegendo a armadura para evitar a reincidência do processo corrosivo, impedindo a penetração de umidade e agentes agressivos, recompondo e aumentando a secção de concreto original e proporcionando a manutenção da película passivadora do aço, de acordo com a metodologia de explicada por Reis (2001).

Inicialmente, é preciso delimitar toda área de concreto “contaminado”. Nos exemplos deste estudo de caso, o concreto carbonatado, para só então prosseguir com a retirada do material, sem que haja comprometimento da ferragem.

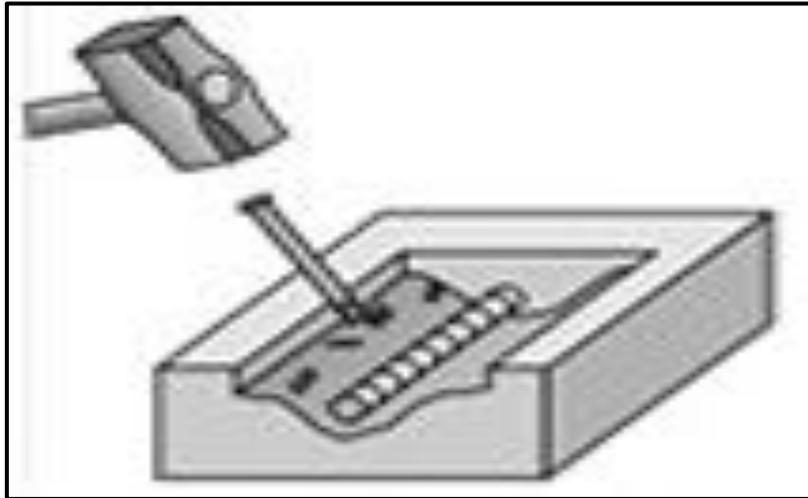
A retirada do concreto pode se verificar através de procedimentos mecânicos como da escarificação mecânica, através de martelete, rompedor ou fresa, e/ou escarificação manual, por meio da talhadeira, ponteiro ou marreta, conforme mostram as Figura 33 e Figura 34, respectivamente.

Figura 33 - Escarificação Mecânica



Fonte: (AGUIAR, 2011).

Figura 34 - Escarificação Manual.



Fonte: (MEDEIROS, 2008).

O concreto deve ser retirado de todo o contorno das armaduras, com no mínimo 2 cm de espaço livre ao redor das barras, até o ponto em que não foi mais observado sinais de corrosão, para evitar a permanência de pontos em processo de corrosão.

Com as armaduras descobertas, as mesmas devem ser limpas para a retirada do material corroído através do hidrojateamento ou lixamento mecânico, Figura 35.

Figura 35 – Hidrojateamento de alta pressão da armadura.



Fonte: (AGUIAR, 2011).

Removido o material corroído, é realizada a limpeza manual da armadura, com escova de cerdas de aço ou lixa de ferro, para a retirada de impurezas em geral, Figura 36.

Figura 36 - Limpeza da armadura corroída através da escova com cerdas de aço.



Fonte: (AGUIAR, 2011).

Para as armaduras corroídas, onde não houve o comprometimento das barras, ou seja, barras que não sofreram perda de seção transversal significativa (maiores que 10% da seção original) ou rompimento, é preciso realizar o tratamento e proteção dessas barras. O mercado apresenta diversas opções para o este processo, como pinturas, misturas inibidoras de corrosão, proteção catódica, entre outro. Contudo é preciso observar algumas características que deve estar presente nos materiais que serão empregados: resistência à compressão, à tração e ao cisalhamento; módulo de elasticidade; base química (mineral, epóxi, acrílica, dentre outras); resistência a ataques químicos; estabilidade frente a variações de temperatura; coeficiente de dilatação térmica; resistência à abrasão; aderência ao concreto e/ou aço; retração (PIANCASTELLI *apud*. REIS, 2001).

Segundo Souza e Ripper referidos por Reis (2001), para o reparo da armadura, recomenda-se a aplicação de adesivos e “*primers*” a base de epóxi, PVA e acrílico (Figura 37), que apresentam boa resistência mecânica após o seu endurecimento, atuam como ponte de aderência e diminuem o potencial corrosivo da armadura (proteção catódica).

Figura 37 - Esquema de aplicação de proteção da armadura.



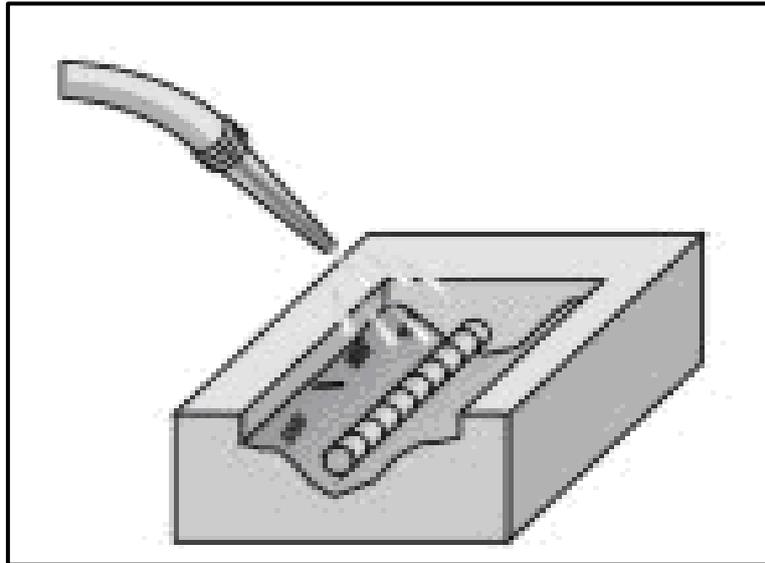
Fonte: (AGUIAR, 2011).

Nos casos onde as barras foram comprometidas com a perda de seção transversal ou até mesmo o rompimento, é preciso fazer a suplementação da armadura. Recomenda-se o corte da barra comprometida, com seu comprimento equivalente a toda extensão da área corroída acrescidas de 5 cm em cada extremidade, evitando a permanência de pontos de corrosão.

Após a retirada, é feito furos nas áreas não escarificadas do concreto, para a colocação da nova barra, com emendas de comprimentos estabelecidos pela análise estrutural, de acordo com a norma brasileira NBR 6118 (ABNT, 2014), que leva em consideração a bitola do das barras, coeficiente de porcentagem das barras ancoradas na mesma seção e o comprimento de ancoragem básico. Para a fixação da nova barra da armadura, é utilizado o “*grout*”, concreto especial que apresenta elevada resistência mecânica, ausência de retração e a facilidade em sua utilização.

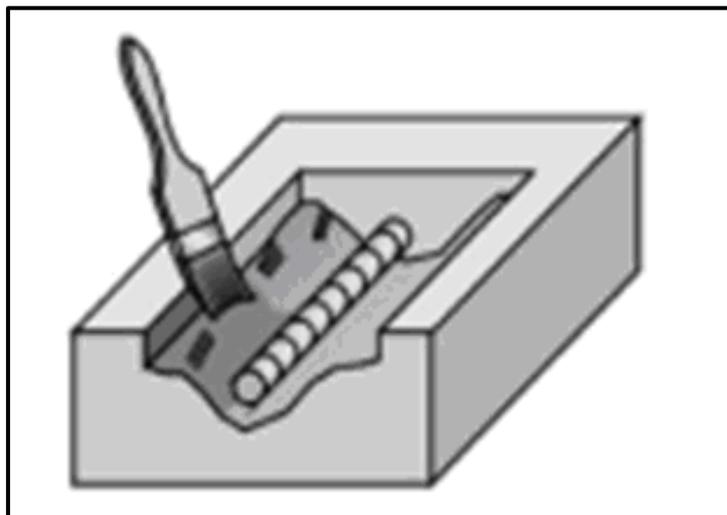
Encerrada a aplicação da proteção catódica e seu tempo de endurecimento ou a fixação das novas, é realizado a preparação da superfície do concreto que é umedecida, sem que a interface seja encharcada, e em seguida aplicada a ponte de aderência, como mostrado nas Figura 38 e Figura 39.

Figura 38 - Umedecimento da superfície para receber a ponte de aderência.



Fonte: (MEDEIROS, 2008).

Figura 39 - Aplicação da ponte de aderência.



Fonte: (MEDEIROS, 2008).

Com a interface preparada, é realizado finalmente a recomposição do substrato, por uma massa de concreto que deve apresentar baixa retração e permeabilidade, resistir à agressividade do ambiente em que a estrutura está inserido, ter módulo de elasticidade compatível com a peça reparada. Sendo assim, é recomendado o emprego do “*grout*”.

A recomposição da seção, pode ser feita por meio da projeção da massa de concreto sobre a superfície reparada, através da aplicação manual de pasta de concreto mais densa utilizando a “colher de pedreiro”, ou até mesmo por meio do preenchimento

de fôrmas, Figura 40. Contudo, vale salientar a importância da boa execução, para garantir um concreto bem adensado, sem grandes teores de vazios.

Figura 40 - Grouteamento de pilar recuperado.



Fonte: ROSSI, D. A. Z.; BRITO, F. C.; SPERANDIO, L. S. Recuperação estrutural: Estudo de caso de um edifício residencial. Trabalho Acadêmico – UFES, 2010, p. 42.

Depois de reconstituída a seção transversal da peça, como seu revestimento original apresentou espessura insuficiente, é aconselhável a utilização de pinturas impermeabilizantes sobre a superfície do concreto, já que o aumento da espessura de revestimento em todas as estruturas, como por exemplo as lajes de cobertura dos blocos de sala de aula, é considerada uma medida bastante onerosa.

Dependendo do avanço do processo de corrosão na estrutura a ser reparada, deve-se fazer o estudo das condições da estrutura. Caso, a peça tenha um alto grau de comprometimento, é preciso realizar o escoramento da estrutura, a fim de evitar possíveis acidentes devido ao colapso da mesma.

Por fim, tem-se ainda a avaliação do sistema de impermeabilização da cobertura, que deve ser revisada, e reforçada com nova execução da manta impermeabilizante, para evitar que o problema de lixiviação continue acontecendo, resultando novamente no processo de corrosão das armaduras. Para os pilares da praça do CT, a alternativa mais econômica seria executar, com argamassa de contra piso, ou seja, uma superfície

inclinada a partir do desnível do piso da praça, evitando assim que a água emposse, causando a infiltração na base dos pilares. Já na viga de periferia do bloco H, a solução mais viável seria a execução de uma estrutura de “pingadeira”, que tem como o objetivo impedir o escoamento da água da chuva na superfície das vigas.

É preciso compreender que as medidas de correção devem ser executadas sob um controle bastante criterioso, para que o “novo” concreto não sirva como região catódica, ou seja, além de não livrar a estrutura do processo de corrosão, ainda age como fator agravante deste processo, como pode-se observar nas áreas que apresentam sinais de reparos, onde o concreto utilizada para cobrir as armadura se encontra em estado de deterioração mais avançado que áreas onde não foram executados o provável reparo.

5.4.2 Infiltração da Água no Concreto

Nas vigas do bloco H, que apresentam a infiltração da água no concreto por meio das juntas de dilatação, é preciso realizar a investigação aprofundada para definir se já foi iniciado o processo de corrosão de armadura ou não, uma vez que a estrutura apresenta sinais de infiltração, mas não apresenta deslocamento do concreto ou fissuração.

Caso seja diagnosticado, o avanço do processo de corrosão de armadura, a solução se dará de acordo com a metodologia descrita no item 5.4.1 do presente trabalho de conclusão de curso.

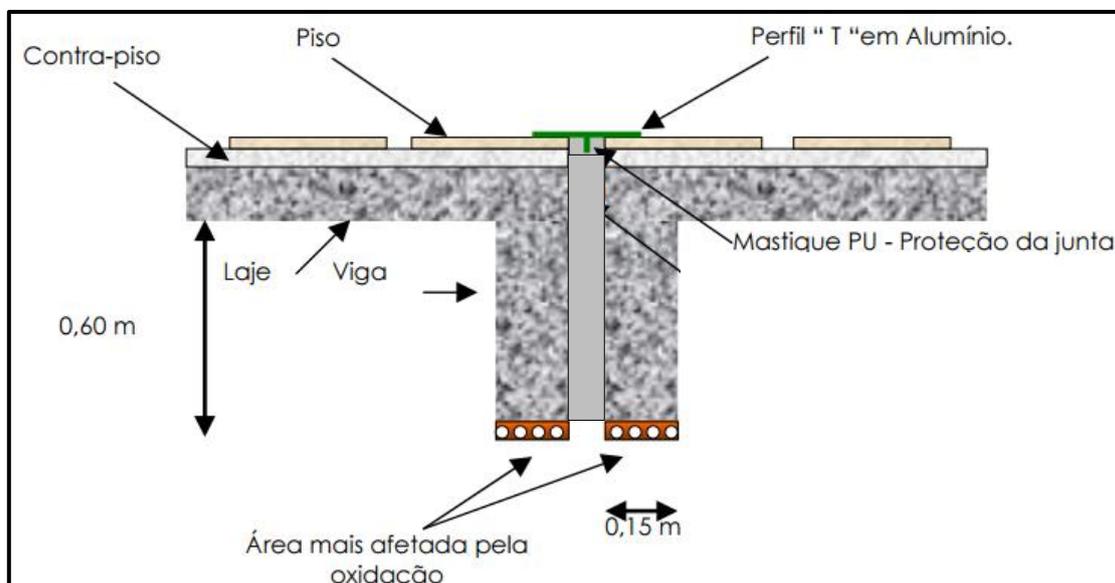
Sendo definido que a estrutura não apresenta processo de corrosão da armadura, a metodologia de recuperação da estrutura deverá ser executada em paralelo com o monitoramento das condições da armadura, garantindo que a água presente no interior do concreto não tenha proporcionando a corrosão das barras de aço.

A provável causa da infiltração foi apontada como a falta de manutenção da junta de dilatação horizontal, sendo assim, as mesmas devem ser tratadas através da substituição do material vedante existente pelo emprego de juntas de poliuretano, denominada de mastique. Ainda, deve-se garantir a regularidades das bordas das vigas, o que pode ser executado utilizando argamassa estrutural.

As bordas internas das peças estruturais devem estar limpas, secas e isentas de qualquer tipo de substância oleosa que impeça a aderência do material que será aplicado com o concreto. Recomenda-se que a espessura do selante seja de no mínimo 6 mm e no máximo 15 mm, assim como a aplicação de perfil de alumínio em formato “T”, do

tamanho adequado para cada largura da junta. O perfil de alumínio é executado para garantir a proteção mecânica da junta de dilatação, Figura 41.

Figura 41 - Detalhamento da execução da junta de dilatação.



Fonte: Adaptado de TIVERON, H. B. Laudo de Vistoria Técnica – Fachatec Engenharia LTDA, Distrito Federal, 2009. p. 16.

5.4.3 Destacamento das Aletas

O destacamento das aletas, caracterizadas pela fissura vertical entre as estruturas do brise e o pilar da edificação, apesar de não apresentar risco a estabilidade da estrutura, é recomendado a execução de medida de reparo. Contudo, a metodologia de correção para esse de tipo de caso não apresenta grande dificuldade ou técnicas rebuscadas.

Inicialmente, deve ser feito a classificação das fissuras apresentadas quando a sua atividade: fissuras ativas ou inativas. As fissuras ativas são aquelas que ainda estão em processo de abertura, ou seja, o material ainda não se acomodou. Já as fissuras inativas são aquelas que não apresentam mais mudanças na configuração das ranhuras existentes. Isso pode ser feito a partir do acompanhamento da abertura da fissura durante um período de tempo.

Em ambos os casos, as fissuras podem ser tratadas por meio da demolição da estrutura das aletas e a reconstrução respeitando as especificações na norma, NBR 8545 (ABNT, 1984), sendo implantadas as telas metálicas, ou por meio da injeção de material, contudo as propriedades e características do material diferente de acordo com a o tipo de fissura a ser reparada.

Em fissuras inativas, são geralmente utilizadas resinas a base de epóxi, argamassas aditivadas com agentes compensadores de retração e argamassar “*grout*” com base mineral, com o objetivo de preencher toda área de abertura e gerar aderência entre o concreto e o bloco cerâmico.

Já em fissuras ativas, é preciso o emprego de materiais que se caracterizem como juntas de dilatação, que proporcionem além da aderência entre as estruturas, a compensação da trabalhabilidade entre seus elementos, principalmente sobre efeito da variação de temperatura, no caso das aletas dos blocos do Centro de Tecnologia, como por exemplo manta de elastômetro colada com epóxi e poliuretano hidro expansivo.

No presente trabalho de conclusão de curso, durante o período de acompanhamento da abertura das fissuras não apresentou modificação, podendo ser classificadas como inativas. Contudo, como as edificações foram construídas em 1952, e não apresentam sinais de reparos anteriores, tem-se que o processo de deslocamento das aletas é extremamente lento, e a duração da elaboração deste trabalho, não apresenta tempo suficiente para a classificação das fissuras.

Como a fissuração apresenta característica “passante”, ou seja, pode ser observada nas duas faces dos elementos, e interessante o emprego da injeção de materiais devido à gravidade, por ser uma metodologia mais simples e de menor custo de execução, ressaltando o controle na aplicação para garantir o alcance do material por toda a extensão da abertura, assim como a limpeza das superfícies que serão vedadas por meio de jato de ar comprimido ou escovação.

6 CONCLUSÃO

O concreto, como todo material, necessita de medidas de manutenção para que possa atingir a vida útil para qual a estrutura foi projetada, dessa forma os profissionais da construção civil devem ser conscientizados de que as estruturas de concreto não estão livres das agressividades que sofrem durante do tempo devido a agressividade do ambiente. Além de medidas adequadas de manutenção, é necessário que haja a implementação das exigências das normas vigentes nas etapas de projeto, de execução e de uso das edificações.

Os avanços tecnológicos e o conhecimento sobre o comportamento dos materiais, suas propriedades e características, são de grande importância no ramo da construção civil, para corroborar ou modificar os parâmetros presentes nas normas reguladoras, com o objetivo de construir e projetar estruturas que apresentem uma vida útil maior associada a uma maior economia no processo de execução.

Pôde-se ver no capítulo 5, que as estruturas avaliadas apresentaram características físicas em conformidade com as normas vigentes na época de sua construção, contudo divergente das normas atuais. A divergência mais importante foi com relação a espessura insuficiente da camada de cobrimento, o que acarretou a aceleração do processo de deterioração da estrutura de concreto armado. Este agravante da patologia pode ser explicado pela ausência de classificação da agressividade do ambiente da construção para definir as espessuras apropriada para os elementos de concreto na versão antiga da norma vigente (NBR 6118 – ABNT 2014).

A engenharia diagnóstica deve se preocupar desde as manifestações patológicas constadas nas edificações, até as características mais minimalistas das estruturas. Todo o conhecimento histórico da edificação, pode ser crucial para o diagnóstico das causas e origens da patologia, assim como dos sintomas e manifestações características avaliadas. Contudo a análise e inspeção da estrutura não substitui ações de investigação, e sim auxiliam no diagnóstico juntamente com os dados obtidos mediante a realização de ensaios adequados.

Cada tipo de patologia pode apresentar diversos procedimentos para a sua correção, que exigem desde materiais e equipamentos até metodologias de execução diferenciadas. A metodologia de reparo mais adequada pode ser definida levando em consideração fatores técnicos e econômicos.

Desta forma, é preciso entender a importância do diagnóstico precoce das patologias nas edificações. Estruturas que tem seu diagnóstico precoce, apresentam medidas de reparo menos onerosas, com metodologias de execução mais simples. Já as estruturas com diagnósticos tardios, além de custos mais elevados, apresentam opções de correção com etapas de execução mais trabalhosas, de maiores transtornos aos usuários.

A escolha correta da medida de reparo, assim como a execução cautelosa desta medida é de extrema importância, para que o problema da patologia não reincida nem remanesça na estrutura.

É importante salientar, que o custo do projeto bem elaborado, execução cuidadosa, emprego de materiais de boa qualidade, uso apropriado dos ambientes da edificação por parte dos usuários e medidas de manutenção criteriosa na edificação é bem menos oneroso que os custos da engenharia diagnóstica, que não são regidos apenas pelas metodologias de reparo (que já apresentam um custo bastante elevado), mas englobam também as etapas de vistoria, investigação e diagnóstico da estrutura, para só então definir os planos de intervenção.

7 REFERÊNCIAS

AGUIAR, J. E. de. **Avaliação Dos Ensaios De Durabilidade Do Concreto Armado A Partir De Estruturas Duráveis**. Dissertação, Mestrado em Construção Civil – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

AGUIAR, J. E. de. **Durabilidade, proteção e recuperação das estruturas**. Notas de aula. Especialização em Construção Civil (Especialização / Aperfeiçoamento) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

ALBINO, J. P. C.; LIMA, N. A.; SOUZA, V. C. M. **Acidentes Estruturais na Construção Civil**: Editora Pini, Volume 1 e 2, São Paulo/SP, 1996 e 1998.

ANDRADE, T. **Tópicos sobre Durabilidade do Concreto**. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005. 1v. Cap.25, p.753-792.

ANDRADE, T.; SILVA, A. J. C. **Patologia das Estruturas**. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005. 2v. Cap.32, p.953-983.

ARAÚJO, Tereza D. P. de. **Construção de Edifícios I**. Notas de aula - Impermeabilização. UFCE, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS

_____. **História da Normalização Brasileira**. São Paulo, 2011.

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

_____. **NBR 8545: Execução de Alvenaria sem Função Estrutural de Tijolos e Blocos Cerâmicos**. Rio de Janeiro, 1984.

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

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

CÁNOVAS, M. F. **Patologia e terapia do concreto armado**. Tradução de Maria Celeste Marcondes, Carlos W. F. dos Santos, Beatriz Cannabrava. 1ª ed. São Paulo: PINI, 1988. 522p.

CARVALHO, R.C.; FIGUEIREGO FILHO, J.R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118 e a proposta de 1999 (NB1/99)**. São Paulo, 2011.

CASCUDO, O. **O Controle da Corrosão de Armaduras em Concreto: Inspeção e Técnicas Eletroquímicas**. 1ª ed. Goiânia: Editora UFG, 1997. 237p.

CLIMACO, J.C.T.S. **Estruturas de Concreto Armado: Fundamentos de Projeto, Dimensionamento e Verificação**. Editora Universidade de Brasília: Finatec, Brasília, 2005.

DUMÊT, T. B. **Estruturas de Concreto Armado I**. Notas de Aula – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2008.

EMMONS, P. H. **Concrete repair and maintenance illustrated**. Kingston: R. S. Means Company, 1993. 295p.

FIGUEIREDO, E. P. **Efeitos da carbonatação e de cloretos no concreto**. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005. 2v. Cap.27, p.829-855.

GENTIL, V. **Corrosão**. 4ª ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2003.

GOMIDE, T. L. F.; FAGUNDES NETO, J. C. P.; GULLO, M. A. **Engenharia Diagnóstica em Edificações**, Editora PINI, 2015.

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

HELENE, P. R. L. **Manual para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto**. São Paulo, Pini: 1992

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

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

LIMA, C. I. V.; COUTINHO, C. O. D.; AZEVEDO G. G. C.; BARROS T. Y. G.; TAUBER T. C.; LIMA, S. F. de. **Concreto e Suas Inovações**. Cadernos de Graduação, Ciências Exatas e Tecnológicas, Maceió, 2014, v. 1, p. 31-40.

LIMEIRA, M. D.; FORMIGA, Z. S. **UFPB: Implicações Políticas e Sociais de sua História**. Textos UFPB-NDIHR, Nº 11, João Pessoa, 1986.

MEDEIROS, J. S.; FRANCO, L. S. **Prevenção de Trincas em Alvenarias Através do Emprego de Telas Soldadas como Armadura e Ancoragem**. Texto Técnico – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

MEDEIROS, M. H. F.; ANDRADE, J. J. O.; HELENE, P. **Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto**. Geraldo Cechella (Ed.). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: IBRACON, 2011. Cap.22.

MEDEIROS, M. H. F. **Corrosão do concreto é causada por umidade e gases nocivos**. AECweb, Revista Digital. Disponível em: <
http://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/corrosao-do-concreto-e-causada-por-umidade-e-gases-nocivos_6412_0_1> Acesso em: 15 de novembro de 2016.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 1994. 573p

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2ª ed. São Paulo: PINI, 1997. 828p.

OLIVEIRA ANDRADE, J. J. **Vida Útil das Estruturas de Concreto**. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005. 2v. Cap.31, p.923-951.

PANOSSIAN, Z.; ALMEIDA, N. L. de; OHBA, M. **Corrosão e proteção contra corrosão em equipamentos e estruturas metálicas**. São Paulo: IPT, 1993. 2v.

PIANCASTELLI, E. M. **Patologia e Terapia das Estruturas: Intervenções de Reparo (Restaurações)**. Notas de Aula. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1998.

POLITO, G. **Corrosão em estruturas de concreto armado: causas, mecanismos, prevenção e recuperação**. Monografia (Aperfeiçoamento / Especialização), Especialização em Construção Civil – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

Portal do Concreto. **Concreto**. Disponível em <<http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/concretos.html>> Acesso: 02 de novembro de 2016.

REIS, L. S. N. **Sobre a recuperação e reforço de Estruturas de concreto armado**. Dissertação, Mestrado em Engenharia de Estruturas – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.

ROSSI, D. A. Z.; BRITO, F. C.; SPERANDIO, L. S. **Recuperação estrutural: Estudo de caso de um edifício residencial**. Trabalho, Curso de Concretos Especiais, Pós-graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010.

SILVA, P. F.; **A Durabilidade da Estruturas de Concreto Aparente em Atmosfera Urbana**. 1º ed. São Paulo: Pini, 1995.

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

THOMAZ, E.; FILHO, C. V. M.; CLETO, F. R.; CARDOSO, F. F. **Código de Práticas Nº 1: Alvenaria de Vedação em Blocos Cerâmicos**. IPT, São Paulo, 2009.

TIVERON, H. B. **Laudo de Vistoria Técnica** – Fachatec Engenharia LTDA, Distrito Federal, 2009.

TORRES, A. S. **Corrosão por Cloretos em Estruturas de Concreto Armado: Uma Meta-Análise**. Tese, Doutorado em Engenharia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.