

LIGA DE ENSINO DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO UNIVERSITÁRIO DO RIO GRANDE DO NORTE
ENGENHARIA CIVIL

LUCAS MATEUS FELIPE SARAIVA

**METODOLOGIAS EXECUTIVAS DE RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS DE
CONCRETO ARMADO – ESTUDO DE CASO DO HOTEL ESCOLA SENAC
BARREIRA ROXA.**

NATAL/RN

2019

LUCAS MATEUS FELIPE SARAIVA

**METODOLOGIAS EXECUTIVAS DE RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS DE
CONCRETO ARMADO – ESTUDO DE CASO DO HOTEL ESCOLA SENAC
BARREIRA ROXA.**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado ao Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN) como requisito final para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. PhD. Fábio Sérgio da Costa Pereira.

NATAL/RN

2019

Catálogo na Publicação – Biblioteca do UNI-RN
Setor de Processos Técnicos

Saraiva, Lucas Mateus Felipe.

Metodologias executivas de recuperação de estruturas de concreto armado / Lucas Mateus Felipe Saraiva. – Natal, 2018.
94 f.

Orientador: Prof. PhD. Fábio Sérgio da Costa Pereira.

Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário do Rio Grande do Norte.

1. Patologia – Monografia. 2. Concreto armado – Monografia. 3. Estrutura – Monografia. I. Pereira, Fábio Sérgio da Costa. II. Título.

RN/UNI-RN/BC

CDU 624

Larissa Inês da Costa (CRB 15/657)

LUCAS MATEUS FELIPE SARAIVA

**METODOLOGIAS EXECUTIVAS DE RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS DE
CONCRETO ARMADO – ESTUDO DE CASO DO HOTEL ESCOLA SENAC
BARREIRA ROXA.**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado ao Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN) como requisito final para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. PhD. Fábio Sérgio da Costa Pereira
Orientador e Coordenador do Curso – UNI-RN

Prof. Tomas Barros Vasconcelos
Avaliador interno – UNI-RN

Profa. Msc. Anna Luiza Nobre
Examinador Externo – UFRN

Dedico esse trabalho à toda minha família em especial a minha mãe Carina de Castro e as minhas tias Kaline e Kaliandra que sempre estiveram ao meu lado me orientando e sempre foram espelho de caráter e dedicação, muito obrigado pela oportunidade de me realizar ainda mais.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer, em primeiro lugar, a Deus, pela força e coragem durante toda esta longa caminhada.

A minha família, em especial a minha mãe Carina, minhas tias Kaline e Kaliandra e meus Avós Luís de França e Raimunda Saraiva pelo amor, incentivo, apoio incondicional e que muitas vezes abriu mão de seus sonhos para que o meu fosse realizado e sempre acreditou em mim independente da circunstância.

Aos meus irmãos Junior e Karen sempre companheiros.

Aos meus colegas de graduação que estiveram ao longo desta jornada e me ajudaram diretamente e indiretamente para que eu chegasse neste momento tão esperado.

Aos meus amigos de Angicos que mesmo com a distância e o tempo passando, continuam sendo grandes parceiros e sempre acreditaram em mim.

Ao professor Fábio Sérgio da Costa Pereira, pela paciência, pelos ensinamentos técnicos, por aceitar meu convite para ser meu orientador e por estar sempre disponível para ajudar mesmo possuindo diversas tarefas para realizar.

A meus chefes, contribuintes da minha formação, com quem sempre pude contar Engenheiros: Bernardo Gaspar, Marco Túlio.

A todos os professores que me transmitiram conhecimentos técnicos na graduação para o meu engrandecimento profissional.

Enfim, a todos que de maneira direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho, o meu sincero: Muito Obrigado.

“É importante extrair sabedoria de fontes variadas, se você aprender de uma única fonte, você fica estagnado. Entendendo os outros, você pode-se tornar mais completo”.

(Iron - O Dragão do Oeste)

RESUMO

As estruturas de concreto armado apresentam um grande número de patologias. Estas podem ocorrer nas diversas etapas construtivas de uma obra, e se faz necessário um estudo das causas anteriores mais recorrentes, de maneira a evitar que as mesmas falhas venham a acontecer no futuro. Os fenômenos patológicos trazem prejuízos não só para o cliente, mas também para o construtor, pois os custos de uma eventual intervenção posterior a uma entrega de obra são maiores se comparados aos custos de uma execução criteriosa. O presente trabalho tem como objetivo analisar as principais manifestações patológicas encontradas nas estruturas de concreto armado, com base nas bibliografias consultadas e estudadas, diagnosticar possíveis causas e sugerir soluções de correção para tais processos deteriorantes. Visando à discussão e apresentação das principais causas, origens e natureza dos defeitos encontrados nestas estruturas, procurando identificá-las e corrigi-las, tendo como referência as normas de concreto, utilizando métodos e ensaios destrutivos e não-destrutivos. Faz-se necessária a análise dos resultados dos estudos realizados, identificando-se as manifestações patológicas mais incidentes nas estruturas de concreto armado. Deste modo, foi realizado um estudo de caso com levantamento dos tipos de patologias, da identificação das causas, das técnicas utilizadas para correção de problemas e os materiais recomendados para o emprego nos reparos.

Palavras-chave: Structural recovery. Armed Concrete. Pathology

ABSTRACT

The structures of reinforced concrete present a great number of pathologies. These can occur in various constructive stages of a work, and a study of the most recurring causes is necessary, in order to avoid that the same faults happen in the future. Pathological phenomena bring losses not only to the client, but also to the constructor, since the costs of an eventual intervention following a delivery work are greater compared to the costs of a well-executed one . The present work aims to analyze the main pathological manifestations found in reinforced concrete structures, based on consulted and studied bibliographies, to diagnose possible causes and to suggest corrective solutions for such deteriorating processes. First, it aims at discussing and presenting the main causes, origins and nature of the defects found in these structures, trying to identify and correct them, using concrete standards, using destructive and non-destructive methods and tests. Finally, the results of the studies are analyzed, identifying the pathological manifestations most incident to the structures of reinforced concrete. A case study was made with a survey of the types of pathologies, the identification of causes, the techniques used to correct problems and the recommended materials for use in repairs.

Keywords: Structural recovery. Corrosion. Armed Concrete.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Vigas de concreto.....	20
Figura 2 – Pasta de cimento e água.....	23
Figura 3 – Pasta de cimento e água.....	23
Figura 4 – Concreto simples.....	23
Figura 5 – Armazenamento de sacos de cimento	25
Figura 6 – Agregados	27
Figura 7 – Decréscimo da resistência à compressão com o aumento do fator água/cimento.....	28
Figura 8 – Fatores de problemas patológicos.....	33
Figura 9 – Incidências e origens de manifestações patológicas.....	34
Figura 10 – Falha na execução de pilar	35
Figura 11 – Variadas manifestações patológicas em estruturas de concreto armado ..	36
Figura 12 – Agentes ou fatores de deterioração.....	37
Figura 13 – Representação esquemática de um modelo de equilíbrio de uma estrutura	38
Figura 14 – Proteção de borracha em pilares de garagem	39
Figura 15 – Causas físicas da deterioração do concreto.....	39
Figura 16 – Ação destruidora do fogo em edifício de concreto armado	41
Figura 17 – Efeito de alguns produtos químicos comuns sobre o concreto	42
Figura 18 – Ataque de ácido sulfúrico ao concreto no interior de tubulação de esgoto	43
Figura 19 – Pilar de concreto deteriorado pelo ataque de sulfatos.....	44
Figura 20 – Reação álcali-agregado em blocos de fundação de edifícios em Recife-PE	45
Figura 21 – Deterioração por ataque da água do mar.....	46
Figura 22 – Representação esquemática da corrosão do aço no concreto.....	47
Figura 23 – Lascamento e destacamento do concreto.....	48
Figura 24 – Fases da instalação da corrosão em uma barra de armadura	49
Figura 25 – Perda de seção na barra de aço devido à corrosão eletroquímica.....	49
Figura 26 – Elemento estrutural com perda de seção de aço em Montevideu	49
Figura 27 – Ninhos e segregações no concreto	50
Figura 28 – Fissuração por retração plástica do concreto fresco	51

Figura 29 – Trinca típica presente no topo da parede paralela ao comprimento da laje	53
Figura 30 – Fissuração típica em viga subarmada solicitada à flexão.....	54
Figura 31 – Fissuras de cisalhamento em viga solicitada à flexão	54
Figura 32 – Trinca de cisalhamento no painel, devido recalque diferencial	55
Figura 33 – Trincas de flexão devido ao carregamento desbalanceado em suas fundações.....	55
Figura 34 – Procedimentos para preparo do substrato	56
Figura 35 – Procedimentos para limpeza da superfície de concreto	57
Figura 36 – Jato de areia – Hidrojateamento.....	60
Figura 37 – Jato de ar comprimido	61
Figura 38 – Jato de limalha de aço.....	62
Figura 39 – Escova de aço manual	63
Figura 40 – Marteleto	63
Figura 41 – Apicoamento manual da superfície de concreto.....	64
Figura 42 – Corte de concreto mostrando a profundidade de remoção	65
Figura 43 – Aspecto final da cavidade na intervenção de corte de concreto.....	66
Figura 44 – Reparo superficial em viga ou pilar	67
Figura 45 – Reparo superficial em laje	68
Figura 46 – Recuperação de laje com graute tixotrópico	68
Figura 47 – Detalhe da forma tipo “cachimbo”	70
Figura 48 – Detalhe da forma tipo “pressão”	71
Figura 49 – Remoção do concreto excedente	71
Figura 50 – Execução da projeção de concreto	72
Figura 51 – Preparo de superfície para argamassa	75
Figura 52 – Passo-a-passo do jateamento de argamassa com adesivo acelerador	78
Figura 53 – Hotel Escola Senac Barreira Roxa 2013	80
Figura 54 – Localização geográfica Hotel Escola Barreira Roxa Senac.....	80
Figura 55 – Subsolo hotel.....	81
Figura 56 – Térreo hotel	82
Figura 57 – 1º Pavimento hotel	83
Figura 58 – Cobertura hotel.....	84
Figura 59 – Retirada de concreto envolvente das armaduras em estado de corrosão	87

Figura 60 – Aplicação de pintura a base de zinco	88
Figura 61 – forma de madeira para camisamento de viga de concreto	88
Figura 62 – Serviço de recuperação finalizado e sinalizado para fiscalização	89
Figura 63 – Serviço de recuperação finalizado e sinalizado para fiscalização	89
Figura 64 – Serviço de recuperação finalizado em viga, sinalizado para fiscalização	90
Figura 65 – Serviço de recuperação finalizado em laje, sinalizado aguardando a fiscalização.....	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de cimento fabricados no Brasil.	26
Tabela 2 – Especificação dos aços mais comuns.....	30
Tabela 3 – Perdas típicas de material em serviços de concreto projetado.	74
Tabela 4 – Referência de pilares, vigas e lajes.....	84
Tabela 5 – Valor unitário	86

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVOS	16
1.1.1 Gerais.....	16
1.1.2 Específicos	16
1.2 JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA DO TEMA	16
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	16
1.4 METODOLOGIA.....	17
2 ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO	19
2.1 CONCEITUAÇÃO	19
2.2 USO DO CONCRETO NO BRASIL.....	21
2.3 NORMAS TÉCNICAS.....	21
2.4 COMPONENTES DO CONCRETO ARMADO	22
2.4.1 Cimento	24
2.4.2 Agregados	26
2.4.3 Água.....	27
2.4.4 Aditivos.....	28
2.4.5 Aço	29
2.5 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO USO DO CONCRETO ARMADO	30
3 CONCEITO DE PATOLOGIA DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO	32
3.1 GERADA NA ETAPA DE CONCEPÇÃO DA ESTRUTURA.....	34
3.2 PATOLOGIA GERADA NA FASE DE EXECUÇÃO DA ESTRUTURA.....	34
3.3 PATOLOGIAS GERADAS NA FASE DE UTILIZAÇÃO DA ESTRUTURA.....	36
3.4 FATORES DE DEGRADAÇÃO DO CONCRETO	36
3.4.1 Principais processos de degradação.....	36
3.4.2 Causas mecânicas de deterioração	38
3.4.3 Causas físicas de deterioração	39
3.4.4 Deterioração por ação de gelo-degelo	40
3.4.5 Deterioração por ação do fogo	40
3.4.5.1 Deterioração por desgaste superficial	41
3.4.5.2 Deterioração por cristalização de sais nos poros	42
3.4.5.3 Causas químicas de deterioração	42
3.4.5.4 Deterioração por sais	43

3.4.5.5 Deterioração por ação de ácidos.....	43
3.4.5.6 Deterioração por ataque de sulfatos	44
3.4.5.7 Deterioração por reações álcalis-agregado.....	45
3.4.5.8 Deterioração por ataque de água do mar.....	46
3.4.6 Causas eletroquímicas de deterioração – corrosão das armaduras	46
4 PRINCIPAIS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO.....	50
4.1 NINHOS DE CONCRETAGEM/SEGREGAÇÃO DO CONCRETO	50
4.2 FISSURAS DE ASSENTAMENTO PLÁSTICO	51
4.3 FISSURAS DE RETRAÇÃO POR SECAGEM	52
4.4 FISSURAS POR MOVIMENTAÇÃO TÉRMICA	52
4.5 FISSURAS DEVIDO AO DETALHAMENTO INSUFICIENTE DO PROJETO E FALHAS DE EXECUÇÃO	53
4.6 FISSURAS DEVIDO AOS CARREGAMENTOS	53
4.7 FISSURAS DEVIDO A RECALQUES DE FUNDAÇÕES	55
5 RECUPERAÇÃO DE PATOLOGIAS EM EDIFICAÇÕES	56
5.1 RECUPERAÇÃO SUPERFICIAL DO CONCRETO	56
5.1.1 Polimento	57
5.1.2 Lavagem.....	58
5.1.2.1 Uso de soluções ácidas.....	58
5.1.2.2 Uso de soluções alcalinas	59
5.1.2.3 Uso de jatos d'água e de areia.....	59
5.1.2.4 Uso de jatos de ar comprimido.....	60
5.1.2.4 Jato de limalha de aço.....	61
5.1.2.5 Queima a maçarico	62
5.1.2.6 Escovação manual	62
5.1.2.7 Apicoamento	63
5.1.3 Saturação	64
5.1.4 Corte.....	65
5.2 RECUPERAÇÃO DE DANOS PROFUNDOS NO CONCRETO	67
5.2.1 com Graute.....	68
5.2.1.1 Grautes minerais	69
5.2.2 Reparo com concreto convencional	69
5.2.3 Reparo com concreto projetado	72

5.2.4 Reparo com argamassa	74
5.2.4.1 Argamassa de cimento e areia.....	74
5.2.4.2 Argamassa tipo “farofa”	75
5.2.4.3 Argamassa com polímeros.....	75
5.2.4.4 Argamassa epoxídica	76
5.2.4.5 Argamassa projetada com adesivo acelerador	77
6 ESTUDO DE CASO	79
6.1 DESCRIÇÃO DO EMPREENDIMENTO.....	79
6.2 INSPEÇÃO VISUAL E MAPEAMENTO DAS PATOLOGIAS	80
6.3 DESCRIÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DAS ETAPAS DOS SERVIÇOS EXECUTADOS.....	87
6.4 FECHAMENTO DA ÁREA RECUPERADA, COM GRAUTEAMENTO	89
RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	92
REFERENCIAS.....	94

1 INTRODUÇÃO

Desde a antiguidade o homem busca elaborar estruturas que tragam mais facilidade e conforto para sua vida. Desde estruturas simples como casas, sobrados, prédios, como também estruturas mais robustas como pontes e barragens.

Diante deste cenário, fica notório que a procura por inovação de materiais e técnicas que venham a suprir estruturas cada vez mais robustas se torna alvo importante do ser humano. Foi assim que surgiu o concreto armado, visando resolver problemas que haviam na época ou que a solução era praticamente inviável financeiramente ou mesmo de ser executada.

Segundo o IBRACON (2009), o concreto é o material construtivo mais consumido no mundo. Estima-se que anualmente são consumidas 11 bilhões de toneladas de concreto, o que corresponde a um consumo médio de 1,9 tonelada de concreto para cada habitante por ano. Esse valor é menor apenas do que o consumo de água.

Junto com a evolução tecnológica do concreto veio a evolução da conscientização do cliente, em todas as áreas de consumo, fazendo com que fosse necessário dar um maior valor e atenção à qualidade final do produto. Ou seja, no caso das edificações, tornou-se primordial que os problemas pós-obra fossem minimizados ao máximo, ou ainda, que os problemas aparecessem de acordo com um cronograma de manutenção ao suceder da utilização da estrutura.

Diante de tanta inovação, surgiram inúmeras manifestações patológicas decorrentes do mau uso das propriedades dos materiais, de erros construtivos em que não era empregada a técnica mais apropriada para determinada construção e clima ou região.

Inúmeras são as razões que levam uma estrutura a sofrer danos, portanto é de fundamental importância o estudo desse setor da engenharia, para que seja possível resguardar as construções evitando assim o aparecimento de manifestações patológicas que venham a diminuir a durabilidade das estruturas, assim como é necessário um conhecimento de como solucionar e recuperar aquelas que apresentam o problema, de maneira a curá-las e impedir que o agente causador volte a causar o mesmo dilema.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Gerais

Este trabalho tem por objetivo geral de descrever as metodologias executivas de recuperação e reforço de estruturas de concreto armado.

1.1.2 Específicos

Este trabalho tem o objetivo específico de definir os tipos de patologias mais frequentes, descrevendo as principais técnicas de reparo e os materiais empregados, a fim de contribuir para o conhecimento técnico em relação às patologias nas estruturas de concreto armado, apresentando um estudo de caso sobre a recuperação estrutural do Hotel Barreira Roxa, Localizado na Via costeira Sen. Dinarte Medeiros Mariz, 4020 Mãe Luiza, Natal e o estudo de caso foi realizado no período de no dia 20 março de 2017 a dezembro do mesmo ano.

1.2 JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA DO TEMA

A escolha do tema deste trabalho está vinculada à grande ocorrência de patologias nas edificações devido às falhas de projeto, construtivas e de manutenção, e consequente desempenho das construções aquém das expectativas dos usuários ou proprietários.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Para melhor entendimento e organização das análises realizadas no presente trabalho, este foi dividido em capítulos, sendo eles:

- ✓ **Capítulo 1:** Introdução ao assunto do trabalho, explicando do que se trata o tema, sua importância de estudo, os objetivos a serem alcançados, a justificativa e a decisão da estrutura do TCC.
- ✓ **Capítulo 2:** Abordagem das definições iniciais do que é concreto armado, juntamente com a caracterização dos conceitos que o envolve. Sendo

expostas suas principais características, os elementos que o constitui, as vantagens e desvantagens de seu uso na construção civil, as principais normas técnicas ligadas aos procedimentos da execução de estruturas de concreto armado, além da abordagem dos termos que estão ligados ao concreto armado como durabilidade, vida útil e desempenho.

- ✓ **Capítulo 3:** Trata o conceito da patologia nas estruturas de concreto armado, fazendo uma contextualização do que é patologia, suas causas e sintomas mais comuns, suas origens relacionadas às etapas de construção, a questão da busca da qualidade nos empreendimentos, os tipos mais comuns de patologias, e o impacto nos custos de uma obra devido às manifestações patológicas.
- ✓ **Capítulo 4:** O mapeamento que é geralmente feito para o diagnóstico das patologias nas estruturas de concreto armado, através de métodos de investigação, análise de dados e métodos de ensaios utilizados.
- ✓ **Capítulo 5:** Aborda os principais métodos de recuperação das patologias, os materiais empregados nos reparos do concreto, como deve-se proceder no tratamento das armaduras comprometidas, e as técnicas de recuperação estrutural mais comuns.
- ✓ **Capítulo 6:** Traz o estudo de caso da recuperação estrutural do Hotel Escola SENAC Barreira Roxa, relatando as patologias que ocorreram em determinadas localizações do edifício, citando as características da obra, os sintomas que ocorreram na estrutura, as causas mais prováveis de cada um dos problemas encontrados, as técnicas e materiais utilizados para o conserto e reparo das patologias.
- ✓ **Capítulo 7:** Resultados e discussões
- ✓ **Capítulo 8:** Conclusões

1.4 METODOLOGIA

O trabalho é fundamentado em uma análise de bibliografia especializada sobre patologias de estruturas de concreto armado.

O levantamento de dados e informações se deu por meio de pesquisa eletrônica via internet, via livros dos autores mais reconhecidos na área da Engenharia Civil, bem como em dissertações, publicações de revistas e boletins

técnicos.

A revisão dá ênfase especial à patologia de estruturas de concreto, englobando causas, forma de manifestação, prevenção e cuidados especiais, manutenção e inspeção. Também aborda um estudo de caso de patologias vinculados a estruturas de concreto do Hotel Escola Senac Barreira Roxa, além das técnicas de recuperação estrutural utilizadas.

2 ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

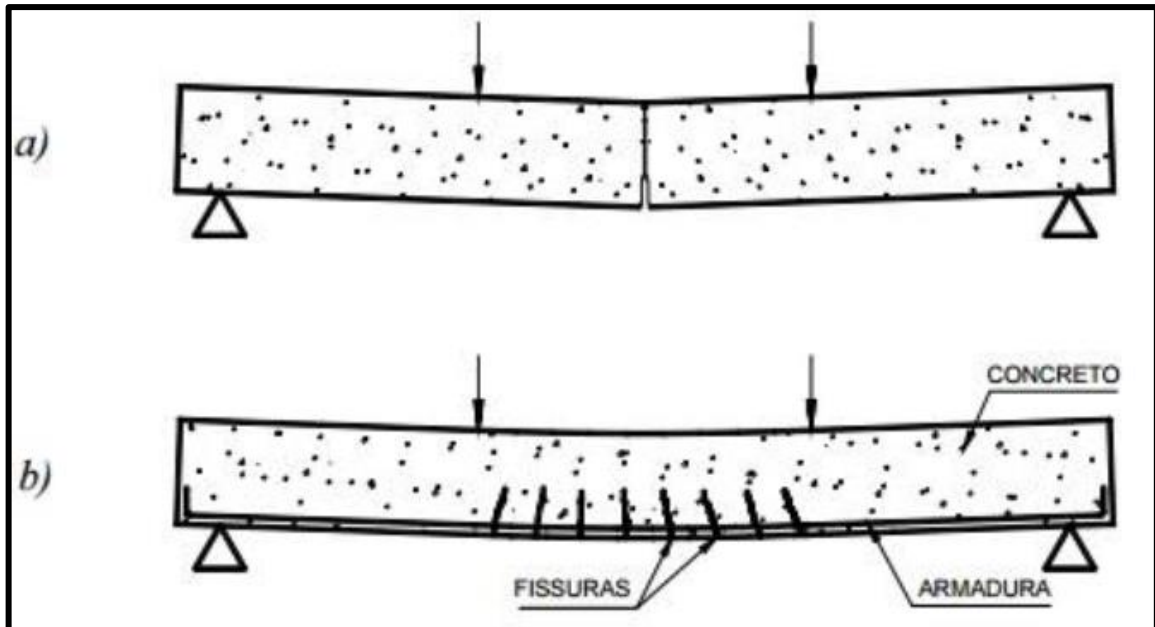
2.1 CONCEITUAÇÃO

O concreto (mistura feita de agregados miúdos e graúdos, cimento, areia e água), por si só, é um material que resiste às tensões de compressão de uma estrutura. Possui uma baixa resistência à tração. Para solucionar este problema, são adicionadas ao sistema as barras de aço, que compõem a armadura da estrutura, fazendo com que o conjunto concreto mais armadura suportem as duas tensões: compressão e tração. O termo “concreto armado” é, portanto, o somatório destes dois materiais (concreto e barras de aço) que, trabalhando juntos, conseguem dar estabilidade às estruturas (PFEIL,2014).

Deve ser falado ainda o conceito de aderência. Este fenômeno deve existir obrigatoriamente entre o concreto e armadura, para que haja uma real solidariedade entre ambos materiais, a fim de estes trabalhem de forma conjunta.

Bastos (2006), define concreto armado como sendo “a união do concreto simples e de um material resistente à tração (envolvido pelo concreto), de tal modo que ambos resistam solidariamente aos esforços solicitantes”, ou seja: **Concreto armado = Concreto simples + armadura + aderência.**

O trabalho em conjunto do concreto com armadura fica bem ilustrado na (figura 1). No caso (a) têm-se uma viga de concreto simples, que rompe assim que a primeira fissura surge, em decorrência de carregamentos externos. Isso se dá ao fato de a tensão de tração atuante maior que a tensão suportada pelo concreto. No caso (b), com a adição de armação ao concreto simples, na região onde se concentram as tensões de tração, constata-se que a resistência à tração do conjunto aumenta significativamente, fazendo com que a viga suporte esse carregamento e não rompa.

Figura 1 – Vigas de concreto

Fonte: PFEIL, (2014).

Legenda: Viga de concreto simples (a) e armado (b).

A NBR 6118 (ABNT, 2014), define o que são elementos de concreto armado: “são aqueles cujo comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura, e nos quais não se aplicam alongamentos iniciais das armaduras antes da materialização dessa aderência”.

Esta norma também define o conceito de armadura passiva: “qualquer armadura que não seja usada para produzir forças de protensão, isto é, que não seja previamente alongada”.

Portanto, a armadura do concreto armado é chamada “armadura passiva”, o que significa que as tensões e deformações nela aplicadas devem-se exclusivamente aos carregamentos aplicados nas peças onde está inserida.

O trabalho do concreto com o aço é satisfatório porque seus coeficientes de dilatação térmica são praticamente iguais. O concreto também tem outra função importante: proteger o aço da corrosão, garantindo a durabilidade do conjunto. Porém essa proteção só é possível com a existência de uma espessura mínima de concreto entre a superfície externa da peça e a barra de aço (denominado cobrimento). Lembrando que outros fatores são determinantes para a proteção das barras de aço, como a qualidade do concreto, por exemplo.

2.2 USO DO CONCRETO NO BRASIL

De acordo com ARAUJO, (1984):

O concreto armado é um método construtivo criado na Europa em meados do século XIX. Este processo foi bastante disseminado, pois possibilitou grandes construções, vencendo grandes vãos e alcançando alturas nunca antes alcançadas. O concreto, por ser um material moldável e poder assumir os mais vários formatos, começou a ser usado em larga escala.

Inicialmente empregado apenas em embarcações e tubulações hidráulicas, a partir de fins do século XIX o concreto armado passa a ser utilizado também nas edificações. Junto com o aço e o vidro, ele constitui o repertório dos chamados “novos materiais” da arquitetura moderna (BENEVOLO, 1976), que são produzidos em escala industrial e viabilizam arranha-céus, pontes, silos, estações ferroviárias ou, em suma, aqueles novos objetos arquitetônicos característicos do cenário do mundo modernizado do século XX.

Por volta dos anos 1900, começaram a surgir as primeiras construções em concreto armado em solo brasileiro. As primeiras aplicações que se tem notícia foi a de execução de casas de habitação em Copacabana, no Rio de Janeiro (VASCONCELOS, 1992).

Nessa época, as estruturas de concreto eram calculadas no exterior. Segundo Vasconcelos (1992), o francês François Hennebique oferecia plantas e orçamentos gratuitos para obras no Rio de Janeiro. Ele foi o primeiro a compreender na Europa a necessidade das armaduras no concreto. Com a chegada da empresa alemã Wayss & Freytah, ocorreu o grande desenvolvimento do concreto armado no Brasil. E a partir de 1924, com a formação de engenheiros brasileiros especializados em concreto armado, os cálculos passaram a serem feitos aqui.

2.3 NORMAS TÉCNICAS

A normatização brasileira, nos moldes que é conhecida hoje, foi criada no ano de 1940, Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), com a primeira norma NB-1. Atualmente são várias as normas existentes que regulam os mais diversos procedimentos. Tratando-se de concreto armado, podemos destacar algumas normas técnicas principais:

- NBR 6118 (2014): Projeto de estruturas de concreto – Procedimento;
- NBR 14931 (2004): Execução de estruturas de concreto – Procedimento;
- NBR 6120 (1980 Errata 1:2000): Cargas para o cálculo de estruturas de edificações;
- NBR 6123 (1988 Errata 2:2013): Forças devidas ao vento em edificações
- NBR 8681 (2003): Ações e segurança nas estruturas – Procedimento;
- NBR 9607 (2012): Provas de carga em estruturas de concreto armado e protendido;
- NBR 7480 (2007): Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado;
- NBR 8548 (1984): Barras de aço destinadas a armaduras para concreto armado com emenda mecânica ou por solda - Determinação da resistência à tração;
- NBR 12655 (2015): Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento;
- NBR 7211 (2009): Agregados para concreto – Especificação;
- NBR 12654 (1992): Controle tecnológico de materiais componentes do concreto;
- NBR 7191 (1982): Execução de desenhos para obras de concreto simples ou armado;

2.4 COMPONENTES DO CONCRETO ARMADO

O concreto é um material composto, constituído por cimento, água, agregado miúdo (areia) e agregado graúdo (pedra ou brita), e ar. Pode também conter adições (cinza volante, pozolanas, sílica ativa, etc.) e aditivos químicos com a finalidade de melhorar ou modificar suas propriedades básicas.

Esquemáticamente pode-se indicar que a pasta (figura 2), é o cimento misturado com a água, a argamassa (figura 3), é a pasta misturada com a areia, e o concreto (figura 4), é a argamassa misturada com a pedra ou brita, também chamado concreto simples (concreto sem armaduras) (BASTOS, 2006).

Figura 2 – Pasta de cimento e água



Fonte: Metha e Monteiro, (2008).

Figura 3 – Pasta de cimento e água c/ areia



Fonte: Metha e Monteiro, (2008).

Figura 4 – Concreto simples



Fonte: Metha e Monteiro, (2008).

2.4.1 Cimento

O Cimento Portland é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob ação da água. Depois de endurecido, mesmo que seja novamente submetido à ação da água, o Cimento Portland não se decompõe mais. O cimento é o principal elemento dos concretos e é o responsável pela transformação da mistura de materiais que compõem o concreto no produto final desejado (ABCP,1990).

Segundo Mehta e Monteiro (1994),

O cimento é composto de clínquer e de adições, sendo o clínquer seu principal componente, presente em todos os tipos de cimento. O clínquer tem como matérias primas básicas o calcário e a argila. Para a fabricação, a rocha calcária inicialmente britada e moída é misturada com argila moída. A mistura é submetida a um calor intenso de até 1.450°C e então bruscamente resfriada, formando pelotas - o clínquer. Após moagem o clínquer transforma-se em pó. A propriedade básica do clínquer é ser um ligante hidráulico, que endurece em contato com a água.

Para formar o cimento, o clínquer recebe adições, que são matérias-primas misturadas ao clínquer no processo de moagem, e são as adições que definem as propriedades dos diferentes tipos de cimento. As principais adições são o gesso, as escórias de alto-forno, e os materiais pozolânicos e carbonáticos.

De acordo com a NBR 8953, (2015):

Os sacos de cimento vendidos no comércio, além da sigla de letras e algarismos romanos que caracterizam o tipo do cimento, devem apresentar um número em algarismo arábico: 25, 32 ou 40, indicando a mínima resistência à compressão aos 28 dias de idade em argamassa normal, ou seja, 25 MPa, 32 MPa ou 40 MPa. Exceção aos cimentos de alta resistência inicial cujas resistências devem ser medidas aos 7 dias de idade. Normalmente o cimento é vendido no comércio em sacos de 50 kg, protegidos com folhas de papel impermeável, devendo estar impresso na embalagem o tipo e a classe do cimento.

Os tipos de cimento que existem no Brasil diferem em função da sua composição, como o cimento portland comum, o composto, o de alto-forno, o pozolânico, o de alta resistência inicial, o resistente a sulfatos, o branco e o de baixo calor de hidratação. Dentre os diferentes tipos de cimento listados na (tabela 1), os de uso mais comuns nas construções são o CII E-32, o CII F- 32 e o CIII-40. O cimento CPV-ARI é também muito utilizado em fábricas de estruturas pré-moldadas.

A (tabela 1), lista os tipos de cimentos disponíveis para trabalho no Brasil.

Precauções devem ser tomadas quanto ao armazenamento do cimento tendo em vista, evitar que a umidade venha a deteriorá-lo. A NBR 6118 (ABNT, 2014), no item 8.1.1.3, faz as seguintes recomendações quanto ao armazenamento do cimento:

- Não misturar lotes recebidos em épocas diferentes;
- Consumo na ordem cronológica de recebimento;
- Pilhas no máximo com 10 sacos, podendo atingir 15 sacos se o tempo de armazenagem for no máximo de 15 dias;
- Local protegido da ação das intempéries, da umidade e de outros agentes nocivos (barracões cobertos, fechados lateralmente, assoalho de madeira afastado do chão e as pilhas de sacos de cimento afastadas das paredes).

Como no exemplo da imagem abaixo da (Figura 5):

Figura 5 – Armazenamento de sacos de cimento



Fonte: SANTOS (2014).

Tabela 1 – Tipos de cimento fabricados no Brasil.

Nome técnico		Identificação do tipo e classe
Cimento portland comum	Cimento portland comum	CP I-25 CP I-32 CP I-40
	Cimento portland comum com adição	CP I-S-25 CP I-S-32 CP I-S-40
Cimento portland composto	Cimento portland composto com escória	CP II-E-25 CP II-E-32 CP II-E-40
	Cimento portland composto com pozolana	CP II-Z-25 CP II-Z-32 CP II-Z-40
	Cimento portland composto com filer	CP II-F-25 CP II-F-32 CP II-F-40
Cimento portland de alto-forno		CP III-25 CP III-32 CP III-40
Cimento portland pozolânico		CP IV-25 CP IV-32
Cimento portland de alta resistência inicial		CP V-ARI
Cimento portland resistente a sulfatos		Sigla e classe dos tipos originais acrescidos do sufixo RS. Exemplo: CP I-32RS, CP II-F-32RS, CP III-40RS, etc.
Cimento portland de baixo calor de hidratação		Sigla e classe dos tipos originais acrescidos do sufixo BC. Exemplo: CP I-32BC, CP II-F-32BC, CP III-40BC, etc.
Cimento portland branco	Cimento portland branco estrutural	CPB-25 CPB-32 CPB-40
	Cimento portland branco não estrutural	CPB
Cimento para poços petrolíferos		CPP - classe G

Fonte: Bastos, (2006).

2.4.2 Agregados

A NBR 9935 (ABNT, 1987) define agregado como “material granular pétreo, sem forma ou volume definido, a maioria das vezes quimicamente inerte, obtido por fragmentação natural ou artificial, com dimensões e propriedades adequadas a serem empregados em obras de engenharia”.

A NBR 7211 (ABNT, 2009), fixa as características exigíveis na recepção de agregados: faixas recomendáveis de composição granulométrica, teor máximo de substâncias nocivas e impurezas orgânicas e outros dados de importância prática.

Na especificação quanto às dimensões, os agregados (figura 6) são chamados de miúdo, como as areias, e graúdo, como as pedras ou britas. O agregado miúdo tem diâmetro máximo igual ou inferior a 4,8 mm, e o agregado graúdo tem diâmetro máximo superior a 4,8 mm.

Figura 6 – Agregados



Fonte: Mehta e Monteiro, (2008).

Legenda: miúdo (areia, esq.) e graúdo (brita, dir.).

2.4.3 Água

Como todos os elementos, a água também é de fundamental importância, pois o solvente universal possibilita as reações químicas do cimento, chamadas reações de hidratação, que irão assegurar as propriedades de resistência e durabilidade do concreto. conta também a função de lubrificar as demais partículas para possibilitar o manuseio do concreto. Normalmente a água potável é a indicada para a confecção dos concretos.

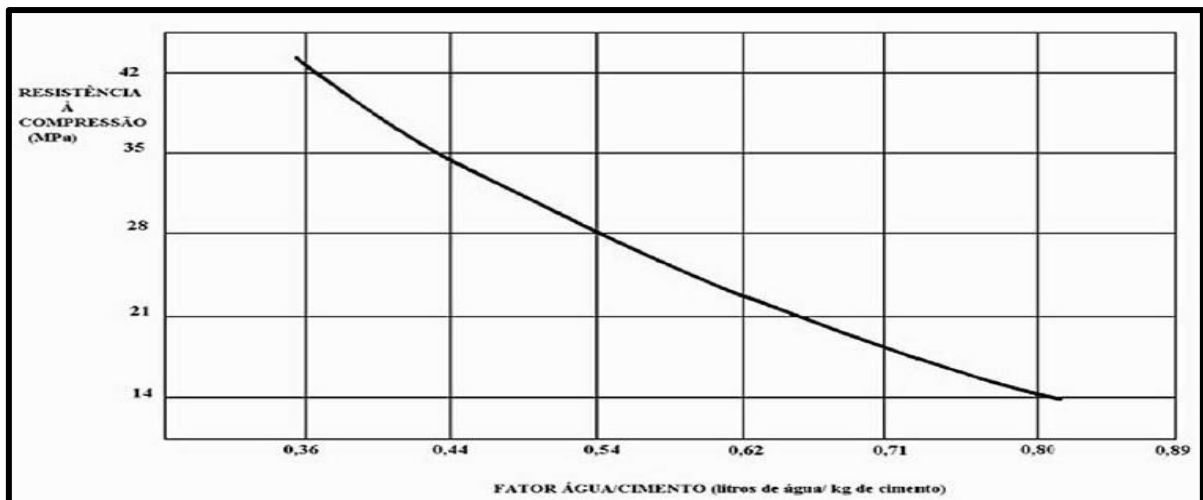
O item 8.1.3 da NBR 6118 (ABNT, 2014), especifica os teores máximos toleráveis de substâncias nocivas para a água. A água do mar não é recomendada. Pois podem levar a resistências iniciais mais elevadas que os concretos normais, mas as resistências finais são sempre menores, além da possibilidade de corrosão da armadura. As águas minerais também não são recomendadas.

“A água de mistura do concreto é, possivelmente, o seu componente menos

dispendioso, mas também é, seguramente, um dos mais importantes” (SOUZA; RIPPER, 1998).

A quantidade de água usada no conjunto da mistura, define o que se chama de fator água/cimento (figura 7), que atua diretamente na resistência final do concreto. A estrutura pode desenvolver e propagar sintomas patológicos graves caso sejam utilizadas águas não-potáveis ou com forte presença de cloretos, pois podem contribuir de modo significativo para o desenvolvimento da corrosão das armaduras.

Figura 7 – Decréscimo da resistência à compressão com o aumento do fator água/cimento



Fonte: Souza e Ripper, (1998).

2.4.4 Aditivos

Aditivos são substâncias adicionadas intencionalmente ao concreto, com a finalidade de reforçar ou melhorar certas características, inclusive facilitando seu preparo e utilização.

Segundo Cánovas (1984),

Os aditivos 'são produtos que, acrescentados aos aglomerantes no momento de sua elaboração, e em condições adequadas, nas formas convenientes e nas doses precisas, têm por finalidade modificar ou implementar, em sentido positivo e em caráter permanente, certas propriedades do conglomerado, para seu melhor comportamento em todos ou em algum aspecto, tanto no estado fresco como endurecido'.

Bastos, (2006) cita algumas normas gerais para o emprego de aditivos na

confecção de concretos:

- Os aditivos devem ser evitados de serem utilizados, ou seja, procura-se obter um concreto com as propriedades desejadas sem o recurso do aditivo;
- Quando o aditivo for necessário, deverão ser empregados ensaios, para que não haja nenhuma incompatibilidade com os aglomerantes. Após, deve-se fazer um rigoroso controle na dosagem do aditivo.
- Os aditivos não devem ser utilizados para corrigir defeitos próprios do concreto, como má dosagem, má execução na obra ou seleção incorreta dos seus componentes;
- Os aditivos devem ser conservados de modo adequado, para que não haja alterações de suas propriedades. Os aditivos em pó devem ser mantidos em lugares secos, a fim de ser evitado a formação de “torrões” por conta da umidade. Os aditivos líquidos, devem ser protegidos do calor e agitados antes do uso, para evitar que as eventuais sedimentações ocorridas tirem sua uniformidade;
- Deve-se atentar para que se tenha uma mistura uniforme do aditivo em toda massa de concreto, para que seja garantido a homogeneidade;
- O emprego de vários aditivos em um único traço de concreto pode ocasionar o aparecimento de efeitos patológicos, devido a uma possível incompatibilidade da mistura.

Mehta e Monteiro, (1994), sugerem uma gestão da qualidade rígida nos aditivos, para que haja um ganho de capacidade efetiva na mistura final do concreto, e que o aditivo usado não venha a prejudicar, ao invés de ajudar, na obtenção de um bom concreto. Eis alguns casos de utilização de aditivos:

- Acréscimo de resistência;
- Aumento da durabilidade;
- Melhora na impermeabilidade;
- Melhora na trabalhabilidade;
- Possibilidade de retirada de fôrmas em curto prazo;
- Diminuição do calor de hidratação (retardamento ou aceleração da pega);
- Diminuição da retração;
- Aditivos plastificantes e superplastificantes;
- Aditivos incorporadores de ar.

2.4.5 Aço

Aço é todo produto siderúrgico, obtido por via líquida, com teor de carbono abaixo de 2 %. Os aços para construção têm, em geral 0,5 % ou menos de teor de carbono.

Ainda segundo Freitas (2007),

A obtenção do aço é feita através da mistura de minério de ferro, coque (retirado de carvão mineral), e fundentes (como as “cástinas” que são argilas calcárias, que funcionam também como corretor de Ph), que são sinterizados em um equipamento chamado alto-forno, sob temperaturas da ordem de 1500 °C.

O aço dispõe de uma tensão de escoamento bem estabelecida, e cada tipo é especificado com relação a esta propriedade. Denominam-se através das letras CA, seguindo do valor da tensão de escoamento medido em kgf/mm². Lembrando que o aço possui módulo de elasticidade único no valor de 210 Gpa. Como é citado a baixo na (tabela 2):

Tabela 2 – Especificação dos aços mais comuns

Especificação do aço	Tensão de escoamento (kgf/mm²)	Tensão de escoamento (Mpa)
CA - 25	25	250
CA - 50	50	500
CA - 60	60	600

Fonte: Adaptado do Catálogo da Votoração, (2015).

2.5 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO USO DO CONCRETO ARMADO

Como todo método ou material empregado, a utilização do concreto armado nas obras possui vantagens e desvantagens. Bastos (2006), cita as vantagens no seu uso:

- Economia: especialmente no Brasil, os seus componentes são facilmente encontrados e relativamente a baixo custo;
- Conservação: em geral, o concreto apresenta boa durabilidade, desde que seja utilizado com a dosagem correta. É muito importante a execução de cobrimentos mínimos para as armaduras;
- Adaptabilidade: favorece à arquitetura pela sua fácil modelagem;
- Rapidez de construção: a execução e o recobrimento são relativamente rápidos;
- Segurança contra o fogo: é assegurado caso haja um cobrimento mínimo adequado;
- Impermeabilidade: é assegurado desde que dosado e executado de forma correta;
- Resistência a choques e vibrações: os problemas de desgaste mecânico e

fadiga são menores.

Por outro lado, o concreto armado possui algumas sérias desvantagens, sendo as principais:

- Peso próprio elevado, relativamente à resistência;
- Reformas e adaptações são de difícil execução;
- Fissuração (existe, ocorre e deve ser controlada);
- Baixo grau de proteção térmica, transmite calor e som.

3 CONCEITO DE PATOLOGIA DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

De acordo com Santos, (2014):

Entende-se por Patologias do Concreto Armado a ciência que estuda as causas, mecanismos de ocorrência, manifestações e consequências dos erros nas construções civis ou nas situações em que a edificação não apresenta um desempenho mínimo preestabelecido pelo usuário. O concreto armado requer certos cuidados na sua preparação, visando assegurar sua vida útil e desempenho. A correta execução e uso envolvem estudo do traço, dosagem, manuseio e cura adequados e a manutenção periódica e a prevenção contra agentes agressivos. A maioria das patologias nas edificações ocorre em consequência de falhas de execução e pela falta de controle de qualidade, comprometendo a segurança e a durabilidade do empreendimento. Os problemas patológicos surgem devido a essas falhas, as quais ocorrem durante uma ou mais etapas das atividades inerentes à construção civil: concepção/projeto, execução e utilização.

O concreto armado requisita de certos cuidados na sua produção, pretendendo assegurar sua vida útil e desempenho. A forma certa da execução e uso envolvem estudo do traço, dosagem, manuseio e cura adequados e a manutenção periódica e a prevenção contra agentes agressivos. A maioria das anomalias nas construções ocorre em consequência de falhas de execução e pela falta de controle de qualidade, comprometendo a segurança e a durabilidade do empreendimento. Os problemas patológicos surgem devido a essas falhas, as quais ocorrem durante uma ou mais etapas das atividades inerentes à construção civil: concepção/projeto, execução e utilização.

Para a fase de concepção, exige-se a garantia de pleno contentamento do cliente, de facilidade de execução e possibilidade de adequada manutenção; já a etapa de execução, deverá garantir o fiel atendimento ao projeto, e para a etapa de utilização, é imprescindível garantir a satisfação do utilizador e a possibilidade de extensão da vida útil da obra, afirmando segurança e qualidade da obra.

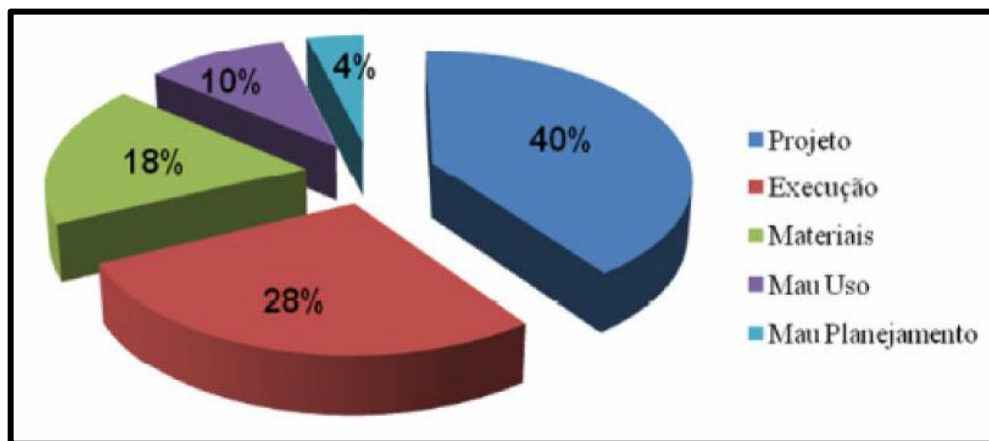
Também é válido destacar que a muitos dos materiais e componentes tem sua qualidade e forma de aplicação normatizada. Entretanto, o sistema de controle tem-se apresentado bastante defectivo e o método para a fiscalização e aceitação dos materiais normalmente não é aplicado, mostrando assim a torna a sua fragilidade e a má organização de muitas construções principalmente as de pequeno porte.

Com tudo isso, as patologias podem ocorrer numa estrutura tanto na fase de construção como durante o período de pós entrega e uso. As condições

apresentadas por uma estrutura que favoreça o aparecimento dessas manifestações patológicas são de responsabilidade do projetista, enquanto que o construtor responderá pelas falhas construtivas por inconformidade em relação ao projeto, com as normas de execução ou com a escolha de material inadequado. Porém, toda estrutura necessita de manutenção durante sua vida útil e a má conservação também é um fator para o surgimento de patologias, sendo então o usuário responsável pela durabilidade dessa estrutura (SANTOS, 2014).

A (figura 8) mostra os resultados de estudo de Fortes (1994), sobre a distribuição a origem de problemas patológicos conforme as etapas desde o projeto até o uso de estruturas de concreto armado.

Figura 8 – Fatores de problemas patológicos

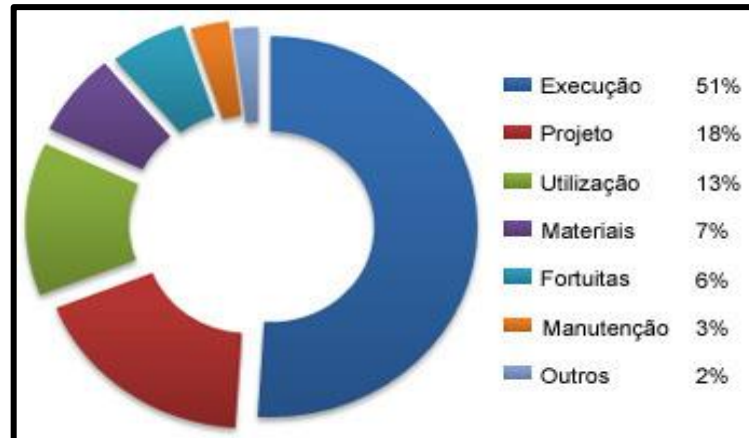


Fonte: Fontes, (1994).

A (figura 9), apresenta resultados relacionados com incidências e origens de manifestações patológicas, segundo estudo de Piancastelli (2014).

Pode-se observar que a etapa de execução é a que apresenta grande concentração de ocorrências de patologias, diferente do encontrado por Fortes (1994).

Figura 9 – Incidências e origens de manifestações patológicas



Fonte: Piancastelli, (2014).

3.1 GERADA NA ETAPA DE CONCEPÇÃO DA ESTRUTURA

As dificuldades técnicas e o custo para solucionar um problema patológico, oriundo de uma falha de projeto, estão relacionados com a rapidez com que essa falha é solucionada. Uma falha originada no estudo preliminar necessita de uma solução muito mais complexa do que uma que venha a ocorrer na fase de projeto. Porém segundo Santos (2014),

Possíveis causas de falhas ocorridas durante a etapa de projeto são originadas de um estudo preliminar deficiente ou de anteprojetos equivocados, o que contribui para o encarecimento processo de construção, ou por transtornos relacionados a utilização da obra. Falhas ocorridas na realização do projeto final geralmente são as 18 responsáveis pelo surgimento de problemas patológicos sérios, tais como: projetos inadequados (deficiência no cálculo da estrutura, equívoco na avaliação da resistência do solo, má definição do modelo analítico); falta de compatibilidade entre a estrutura e a arquitetura, bem como os demais projetos civis; especificação inadequada de materiais; detalhamento insuficiente ou errado; erros de dimensionamento.

3.2 PATOLOGIA GERADA NA FASE DE EXECUÇÃO DA ESTRUTURA

Após a criação do projeto, dar-se início ao processo de execução, ou seja, o planejamento da construção, onde devem ser tomados todos os cuidados necessários para o bom andamento da obra, como programação de atividades, correta distribuição do canteiro de obras e boa previsão de compras.

Assim, iniciado o processo de construção, as falhas podem ocorrer de

diversas formas, tais como: condições de trabalho inadequadas, mão-de-obra desqualificada, inexistência de controle de qualidade, má qualidade de materiais, irresponsabilidade técnica. Souza e Ripper (1998), afirmam que:

Quando se trata de obras de edificação habitacional, alguns erros são grosseiros e saltam a vista. Dentre eles pode-se citar: falta de prumo, esquadro e alinhamento de partes estruturais e alvenaria, desnivelamento de pisos, falta de caimento correto em pisos com uso frequente de água, assentamento excessivamente espesso de revestimentos cerâmicos e flechas excessivas em lajes. O acontecimento de falhas na fase de execução (figuras 10 e 11), é devida basicamente ao processo de produção, que reflete os problemas socioeconômicos, que por sua vez provocam baixa qualidade técnica dos trabalhadores menos qualificados e até mesmo da equipe que possui certa qualificação profissional.

Figura 10 – Falha na execução de pilar



Fonte: Souza, (2006).

Figura 11 – Variadas manifestações patológicas em estruturas de concreto armado



Fonte: PFEIL, (2014).

3.3 PATOLOGIAS GERADAS NA FASE DE UTILIZAÇÃO DA ESTRUTURA

De acordo com PFEIL (2014),

Para uma estrutura apresentar um bom desempenho deve ser observado o correto uso para a qual foi projetada, especialmente quanto aos carregamentos e possível presença de materiais ou elementos agressivos ao concreto armado. Um adequado planejamento de manutenção periódica deve ser observado, principalmente nas partes onde é mais utilizada ou suscetível de desgaste, a fim de evitar problemas patológicos sérios e, em alguns casos, a própria ruína da estrutura.

Problemas patológicos ocasionados por manutenção inadequada, ou pela falta de manutenção, têm sua origem no desconhecimento técnico, na ineficiência e em problemas econômicos.

3.4 FATORES DE DEGRADAÇÃO DO CONCRETO

3.4.1 Principais processos de degradação

O agravamento do concreto acontece muitas vezes como resultado de uma combinação de diferentes fatores externos e internos. Os processos de degradação alteram a capacidade do material desempenhar suas funções e nem sempre se

manifestam visualmente, podendo apresentar sintomas tais como a fissuração, o destacamento e a desagregação. São agrupados de acordo com a sua natureza em mecânicos, físicos, químicos, biológicos e eletromagnéticos.

A (figura 12), apresenta os principais fatores e agentes de degradação do concreto.

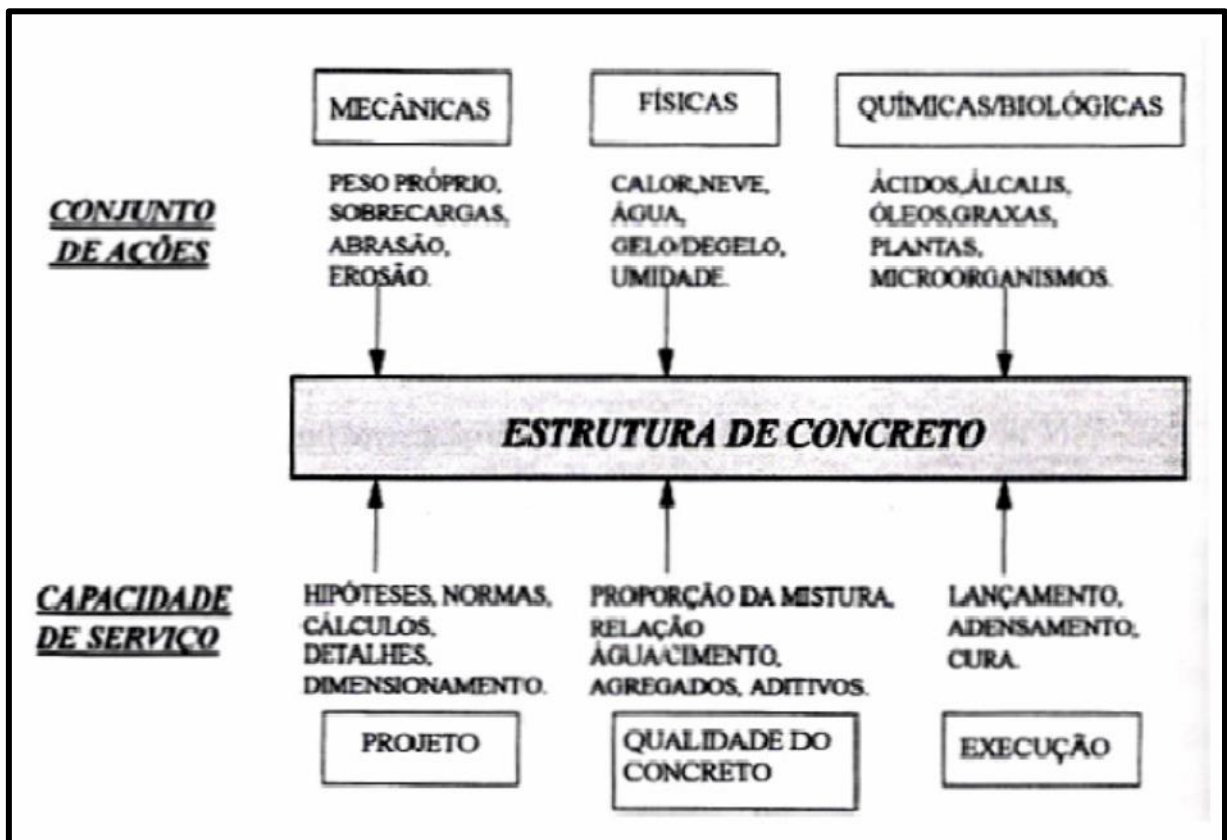
A (figura 13), apresenta um esquema de modelo de equilíbrio de uma estrutura de concreto armado onde são considerados os fatores relativos à durabilidade (HELENE, 2003).

Figura 12 – Agentes ou fatores de deterioração

	Fatores	Agentes
1	Atmosféricos	Radiação: Solar, nuclear, térmica
		Temperatura: Elevação, diminuição, ciclos
		Água: sólida (como neve ou gelo) líquida (como chuva, condensação, água estagnada) vapor (como umidade relativa do ar)
		Constituintes normais do ar: oxigênio, ozônio e CO ₂
		Poluentes do ar: gases; neblina (partículas dissolvidas) partículas (como areia e impurezas)
		Ciclos de gelo e degelo
		Ventos
2	Biológicos	Vegetais: Algas, fungos, cogumelos, plantas e árvores
		Animais: insetos, pássaros, moluscos e roedores
3	Esforços	Permanentes: como os decorrentes da ação da gravidade
		Variáveis: como a ação física da água ou do vento, frenagem
		Raros: como explosões, incêndios, choques de veículos
4	Incompatibilidade	Químicos
		Físicos
5	Uso	Desgaste por uso normal e abuso do uso
		Procedimentos de instalação e manutenção

Fonte: Helene, (2003).

Figura 13 – Representação esquemática de um modelo de equilíbrio de uma estrutura



Fonte: Helene, (2003).

3.4.2 Causas mecânicas de deterioração

Segundo Souza e Ripper (1998), as causas desse tipo de deterioração são devidas às solicitações mecânicas sofridas pelas estruturas de concreto, tais como: choques e impactos (por veículos, por exemplo, figura 14), recalque diferencial nas fundações e acidentes imprevisíveis (inundações, grandes tempestades, explosões e abalos sísmicos). Além de diminuir a resistência da estrutura, facilitam a entrada de agentes agressivos danificadores, principalmente quando o concreto e a armadura ficam expostos devido ao impacto das solicitações. As estruturas normalmente afetadas são: guarda-corpos, guarda-rodas de viadutos, pilares de garagem e fundações.

Em pilares de garagem pode-se adotar como medida preventiva fazendo revestimento de borracha até certa altura para protegê-lo contra o choque de veículos como demonstrado na (figura 14).

Figura 14 – Proteção de borracha em pilares de garagem

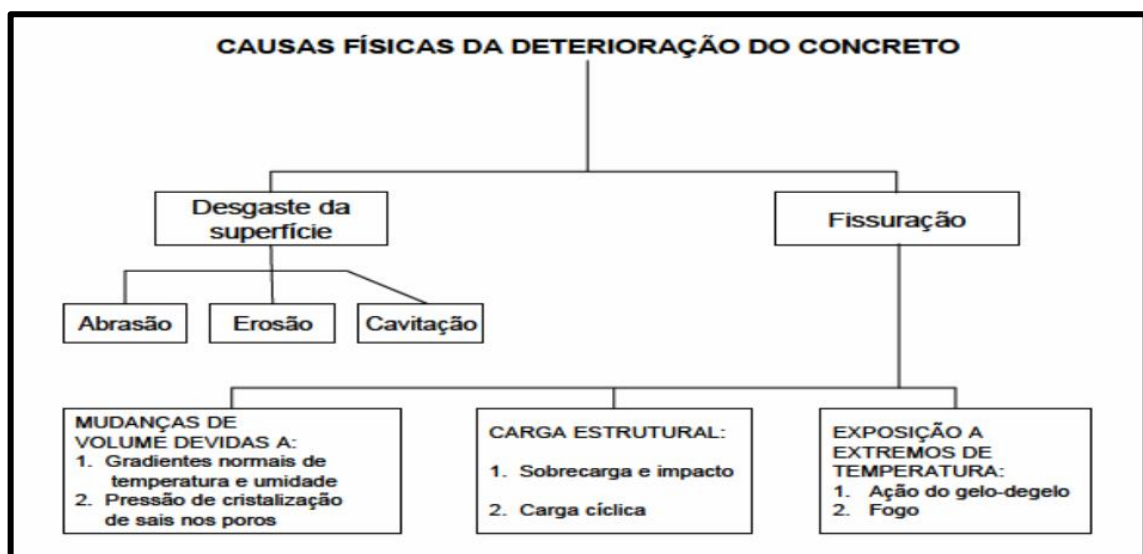


Fonte: Santos, (2002).

3.4.3 Causas físicas de deterioração

A (Figura 15) mostra um esquema das principais causas físicas de deterioração do concreto relacionadas aos efeitos dos carregamentos estruturais, mudanças de volume e exposição a variações extremas de temperatura.

Figura 15 – Causas físicas da deterioração do concreto



Fonte: Helene, (2003).

3.4.4 Deterioração por ação de gelo-degelo

Este tipo de deterioração ocorre em regiões de clima frio, onde existem ciclos frequentes de congelamento e degelo, requerendo altos gastos para reparo e substituição.

As causas da deterioração podem ser relacionadas à complexa microestrutura do concreto, bem como das condições ambientais, em particular do número de ciclos de gelo e degelo, da velocidade de congelamento e da temperatura mínima atingida. Se o congelamento ocorrer após o endurecimento do concreto, a expansão devido ao congelamento da água resultará em perdas significativas de resistência. Quando o concreto endurecido é exposto a baixas temperaturas, a água retida nos poros capilares congela e expande. Ao descongelar, há um acréscimo expansivo nos poros, causando uma pressão de dilatação que provoca fissuração do concreto, e consequentemente a sua deterioração (SANTOS, 2014)

A degradação do concreto pode também ocorrer pela aplicação de sais de degelo, como os cloretos de cálcio e de sódio, que em contato com o concreto promove um agravamento da degradação em função dos mecanismos de corrosão das armaduras.

A aplicação do sal produz uma diminuição da temperatura na superfície do concreto causando um choque térmico, além de tensões internas que podem provocar fissuras devido à diferença de temperatura entre a superfície e o interior do concreto (MARQUES, 2016).

3.4.5 Deterioração por ação do fogo

O concreto, comparado à madeira e ao plástico, apresenta bom comportamento diante do fogo, pois é incombustível e não emite gases tóxicos quando exposto a altas temperaturas. Diferentemente do aço, possui resistência suficiente por períodos longos quando exposto a altas temperaturas, permitindo assim operações de resgate pela redução de risco de colapso estrutural. Na prática, exige-se que o concreto preserve seu comportamento estrutural durante um período de tempo estabelecido, denominado período de resistência ao fogo. (HELENE, 2003)

A temperatura pode alterar a cor do concreto feito com agregado silicoso ou calcário. A mudança de cor é permanente, podendo-se estimar a temperatura máxima

atingida durante a exposição do concreto ao fogo e a sua resistência residual.

Muitos fatores influenciam na resistência do concreto ao fogo (figura 16), cuja composição é importante, pois tanto a pasta de cimento como os agregados possuem componentes que se decompõem ao serem aquecidos. A permeabilidade do concreto, a taxa de aumento da temperatura e o tamanho da peça são significantes porque controlam o desenvolvimento de pressões internas dos produtos gasosos de decomposição.

Figura 16 – Ação destruidora do fogo em edifício de concreto armado



Fonte: Helene, (2003).

3.4.5.1 Deterioração por desgaste superficial

A perda progressiva de massa de uma superfície de concreto pode ocorrer devido a abrasão, erosão ou cavitação.

A abrasão é a perda gradual e continuada da argamassa superficial e de agregados em uma área limitada, que se dá pelo mecanismo de fricção ou atrito, proveniente do tráfego de pessoas, veículos e até mesmo pela ação do vento. Esse tipo de desgaste é comum em pisos industriais ou em pavimentos rodoviários ou calçadas.

A erosão é originada pela ação da água em movimento, que arrasta partículas sólidas em suspensão e se choca contra a superfície do concreto, provocando desgaste por colisão, escorregamento ou rolagem. Esse tipo de desgaste é comum

em barragens, calhas de vertedouros, canais de irrigação e pilares de pontes.

A cavitação é a perda de massa pela formação de vapor e sua subsequente ruptura devida a mudanças repentinas de direção do fluxo da água em altas velocidades. Pode ser encontrada em vertedouro e condutos forçados.

3.4.5.2 Deterioração por cristalização de sais nos poros

Esse tipo de deterioração ocorre em ambientes salinos, onde os sais produzem tensões internas e fissuração na estrutura.

Os concretos com elevada relação água/cimento são os mais suscetíveis a apresentar problemas devido à cristalização dos sais. Essa ação se dá pela cristalização no interior dos poros capilares do concreto, devido à evaporação da água e posterior reidratação, como um novo ciclo de umedecimento, ocupando um volume maior para acomodá-lo.

3.4.5.3 Causas químicas de deterioração

A (Figura 17) apresenta um tabela indicando as diferentes reações químicas e seus efeitos na deterioração do concreto e consequentes mudanças nas propriedades de comportamento.

Figura 17 – Efeito de alguns produtos químicos comuns sobre o concreto

Velocidade de ataque à temperatura ambiente	Ácidos inorgânicos	Ácidos orgânicos	Soluções alcalinas	Soluções de sais	Diversos
Rápida	Clorídrico Fluorídrico Nítrico Sulfúrico	Acético Fórmico Lático	—	Cloreto de alumínio	—
Moderada	Fosfórico	Tânico	Na (OH) > 20% *	Nitrato de amônio Sulfato de amônio Sulfato de sódio Sulfato de magnésio Sulfato de cálcio	Bromo (gás) Concentrado de sulfito
Lenta	Carbônico	-	Na(OH) 10 a 20%	Cloreto de amônio Cloreto de magnésio Cianeto de sódio	Cloro (gás) Água do mar Água pura
Desprezível	-	Oxálico Tartárico	Na (OH) < 10% Hipoclorito de sódio NH ₄ OH	Cloreto de cálcio Cloreto de sódio Nitrato de zinco Cromato de sódio	Amônia (líquida)

Fonte: Metha e Monteiro, (1994).

As velocidades de ataque de alguns produtos químicos mais frequentes sobre

o concreto são apresentadas na (figura 17).

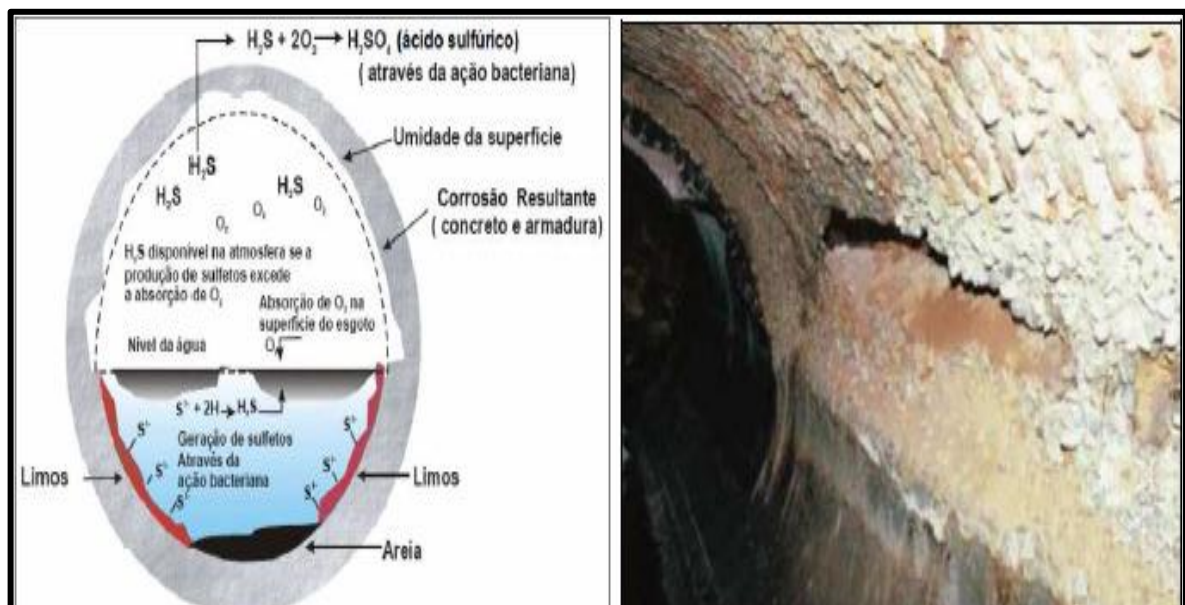
3.4.5.4 Deterioração por sais

Segundo Souza (1998), a ação do hidrogênio pode contribuir para a deterioração do concreto. O hidróxido de cálcio – $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – geralmente está presente na pasta de cimento endurecida, em uma elevada quantidade, sendo solúvel em água e capaz de reagir com sais dissolvidos, como cloretos e nitratos, além de trocas de cátions entre os sais e a própria base.

3.4.5.5 Deterioração por ação de ácidos

Concretos quando expostos a soluções ácidas, sofrem severas deteriorações devido ao caráter básico da pasta de cimento. Porém, concretos de baixa permeabilidade quando expostos à ação de ácidos fracos, podem resistir, principalmente se a exposição for ocasional.

Figura 18 – Ataque de ácido sulfúrico ao concreto no interior de tubulação de esgoto



Fonte: http://www.dcc.ufpr.br/wiki/images/0/01/TC031_Durabilidade.pdf, (2008)

Os ácidos reagem com o hidróxido de cálcio da pasta de cimento, produzindo água e sais de cálcio, podendo ser facilmente lixiviados, caso sejam solúveis,

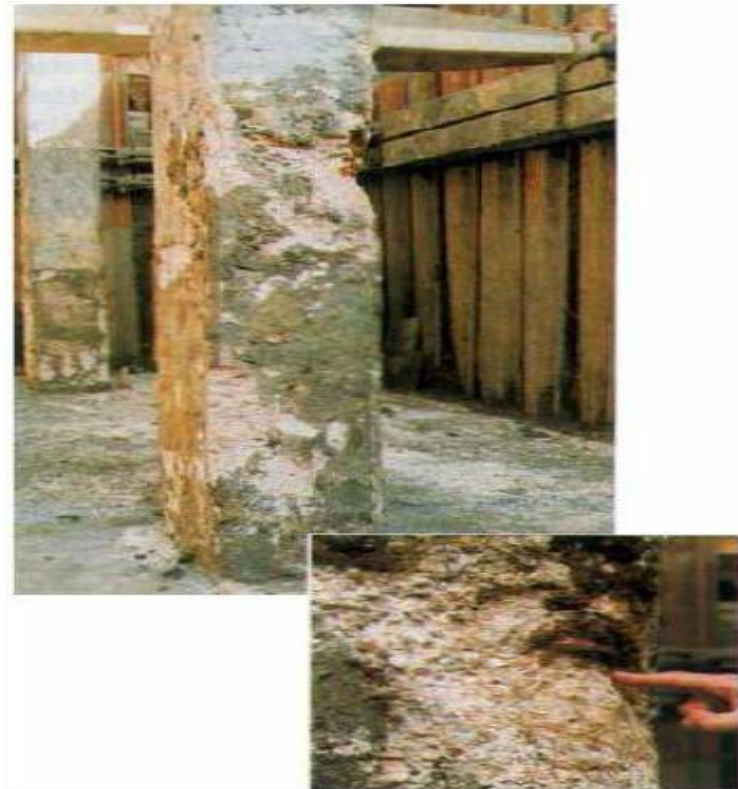
aumentando a permeabilidade e a porosidade da pasta (figura 18).

3.4.5.6 Deterioração por ataque de sulfatos

O ataque ao concreto produzido por sulfatos é devido a sua ação expansiva, que pode gerar tensões capazes de fissurá-lo exemplo na (Figura 19). Os sulfatos podem estar nos agregados, na água de amassamento ou no próprio cimento. Sua presença é comum em áreas de operação de minas e indústrias químicas.

Todos os sulfatos reagem com a pasta de cimento hidratado, sendo potencialmente prejudicial ao concreto. O ataque por sulfato gera uma perda progressiva de resistência e de massa, devido à deterioração na coesão dos produtos de hidratação do cimento. Porém, pode-se aumentar a sua resistência baixando a permeabilidade do concreto, através da redução do fator água/cimento ou pelo emprego de cimentos com adições pozolânicas. (SANTOS, 2014).

Figura 19 – Pilar de concreto deteriorado pelo ataque de sulfatos



Fonte: Couto, (2001).

3.4.5.7 Deterioração por reações álcalis-agregado

A reação álcali-agregado pode ser entendida como a reação química que ocorre no interior de uma estrutura de concreto, envolvendo os hidróxidos alcalinos do cimento e certos minerais reativos que podem estar presentes no agregado. Como resultado da reação forma-se produtos que na presença de umidade, são capazes de expandir, gerando fissurações, deslocamentos e podendo levar a um comprometimento da estrutura. Essa expansão acompanhada da fissuração causa perda de resistência, elasticidade e durabilidade do concreto. Geralmente essa deterioração ocorre em estruturas localizadas em ambientes úmidos, tais como barragens, casas de força, vertedores, canais, blocos de fundações, estacas de pontes e estruturas marinhas. A figura 20, mostra os aspectos de blocos de fundação devido à reação álcalis-agregado, respectivamente.

Figura 20 – Reação álcali-agregado em blocos de fundação de edifícios em Recife-PE



Fonte: Pechhio, (2006)

3.4.5.8 Deterioração por ataque de água do mar

Segundo Helene (1994), a velocidade de corrosão em ambiente marinho pode ser de 30 a 40 vezes maior do que em atmosfera rural (figura 21). Os danos podem ser ainda mais severos quando a estrutura está sujeita diretamente a variação do nível do mar.

O fator prejudicial da água do mar ao concreto é a presença de hidróxido de cálcio e dos aluminatos de cálcio hidratado. Por isso, os cimentos mais apropriados para estruturas na água do mar são os de alto-forno e os pozolânicos, pois possuem menos hidróxido de cálcio nos produtos de hidratação.

Figura 21 – Deterioração por ataque da água do mar



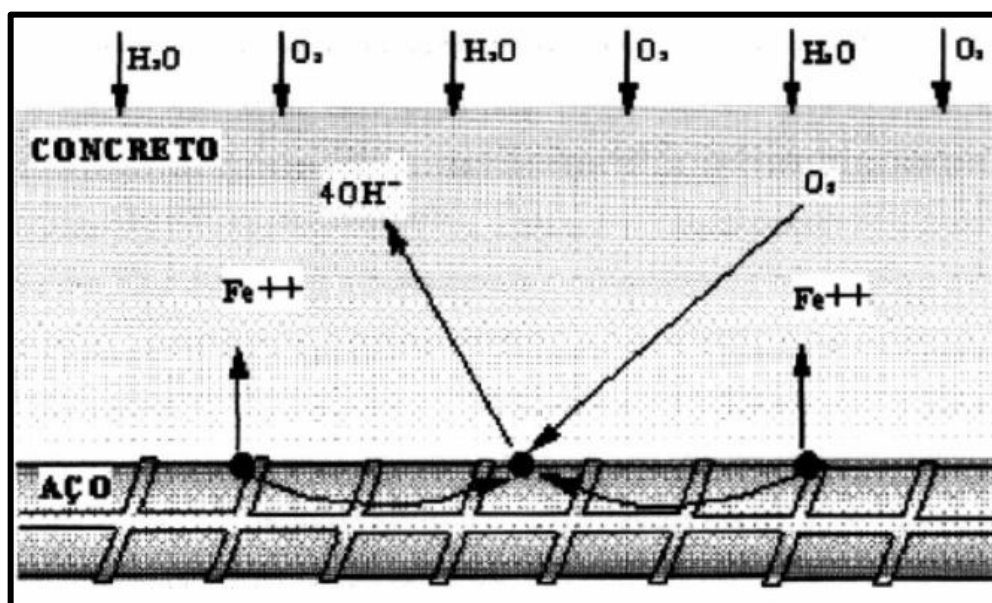
Fonte: Aguiar, (2011)

3.4.6 Causas eletroquímicas de deterioração – corrosão das armaduras

A armadura dentro do concreto normalmente encontra-se protegida da corrosão devido à alta alcalinidade deste material (pH entre 12,7 e 13,8). Esse nível de pH favorece a formação de uma camada de óxidos passiva, compacta e aderente de Fe_2O_3 sobre a superfície da armadura que protege a armadura da corrosão, desde

que o concreto preserve sua boa qualidade, não fissure e não modifique suas características físicas e químicas devido à ação dos agentes agressivos externos. Porém, segundo Ferreira (2000), a corrosão eletroquímica da armadura ocorre devido à falta de uniformidade do aço, do contato com metais com menor potencial eletroquímico, assim como da heterogeneidade do meio físico e químico que o rodeia (figura 22).

Figura 22 – Representação esquemática da corrosão do aço no concreto



Fonte: Guimarães, (2007)

O mecanismo de corrosão nos metais pode ocorrer basicamente de duas formas. A primeira é a oxidação e está relacionada com a corrosão de caráter puramente químico. Tal reação ocorre por uma reação gás/sólido na superfície do material, formando um filme delgado de produtos de corrosão na superfície do metal. A segunda é a corrosão eletroquímica, que é o tipo de deterioração que ocorre em estruturas de concreto armado. Essa corrosão é baseada na existência de um desequilíbrio elétrico entre os metais diferentes ou entre distintas partes do mesmo metal, formando o que se chama de pilha de corrosão ou célula de corrosão (SANTOS, 2014).

A corrosão de armaduras pode se apresentar de diversas duas formas: corrosão generalizada e localizada. Segundo Cascudo (2014), a corrosão generalizada ocorre devido a uma perda generalizada da película de passivação, resultante da frente de carbonatação no concreto e/ou presença excessiva de cloretos (figura 23). A corrosão por pite é um tipo de corrosão localizada, no qual há formação de pontos de desgaste definidos na superfície metálica, os quais evoluem aprofundando-se, podendo causar a ruptura pontual da barra. Já a corrosão sob

tensão é outro tipo de corrosão localizada, a qual se dá com uma tensão de tração na armadura, podendo dar origem à propagação de fissuras na estrutura do aço.

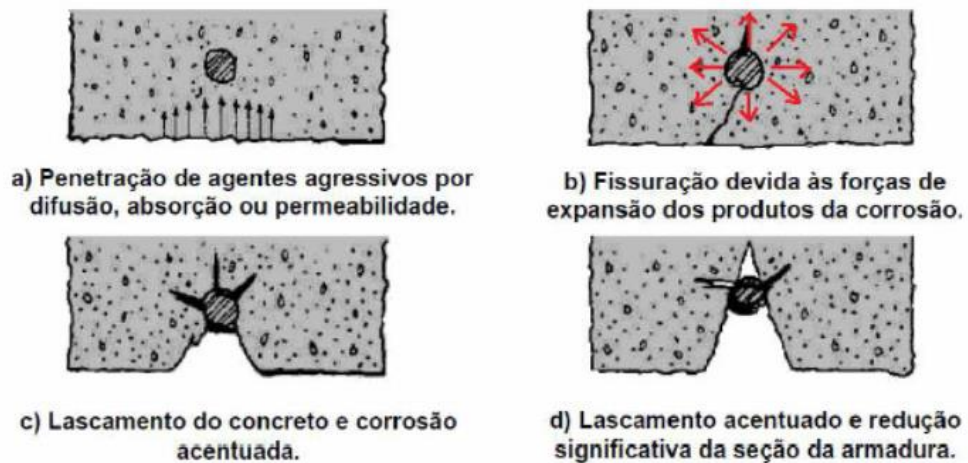
Figura 23 – Lascamento e destacamento do concreto



Fonte: Cascudo, (2014)

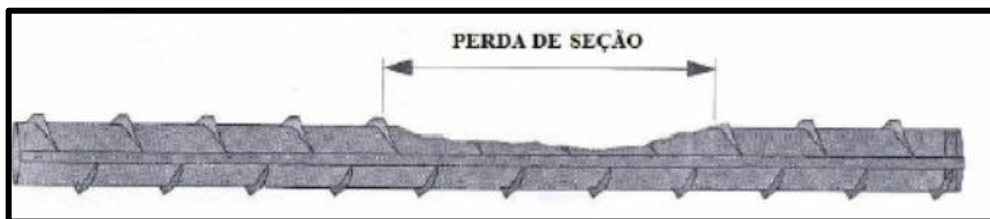
A corrosão é a transformação de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio em que se encontra. Esse fenômeno de natureza expansiva leva ao surgimento de elevadas tensões de tração no concreto, ocasionando a fissuração e posteriormente o lascamento do cobrimento do material como exemplificado na (Figura 23). As (Figuras 24 a 26) apresentam um esquema das fases da instalação da corrosão de armaduras e perdas de seção, respectivamente.

Figura 24 – Fases da instalação da corrosão em uma barra de armadura



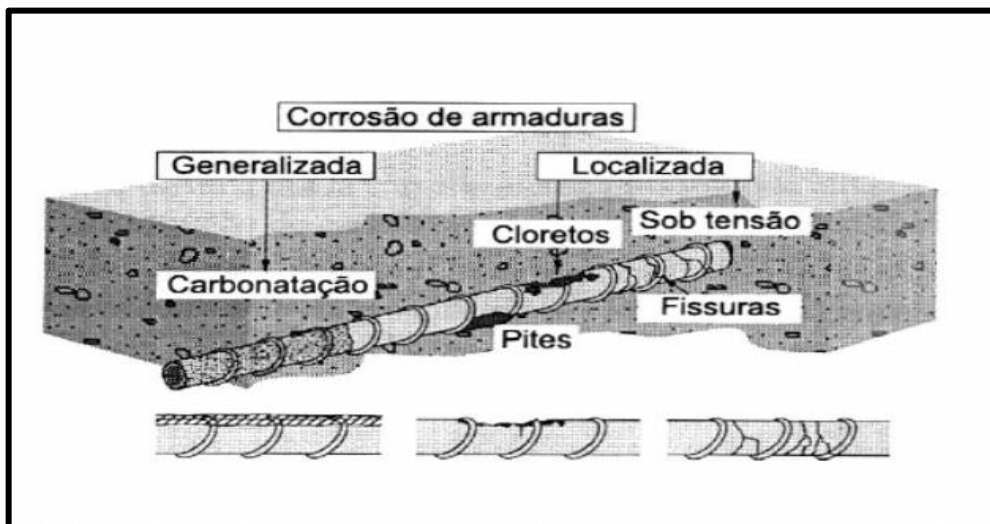
Fonte: Polito, (2006).

Figura 25 – Perda de seção na barra de aço devido à corrosão eletroquímica



Fonte: Mar, (2016).

Figura 26 – Elemento estrutural com perda de seção de aço em Montevideu



Fonte: Polito, (2006)

4 PRINCIPAIS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO

4.1 NINHOS DE CONCRETAGEM/SEGREGAÇÃO DO CONCRETO

Ninhos de concretagem são vazios deixados na massa de concreto, devido à dificuldade de penetração do mesmo nas formas durante o processo de lançamento e adensamento (figura 27). Já a segregação do concreto ocorre devido ao não envolvimento dos agregados pela pasta de cimento e à falta de homogeneidade dos componentes da mistura.

Tanto a segregação como os ninhos de concretagem podem ter várias origens, tais como:

- Baixa trabalhabilidade do concreto devido ao baixo fator água/cimento;
- Alta densidade de armaduras ou agregado de grande diâmetro;
- Insuficiência no transporte, lançamento e adensamento do concreto.

Figura 27 – Ninhos e segregações no concreto



Fonte: Geraldo, (2006).

4.2 FISSURAS DE ASSENTAMENTO PLÁSTICO

São fissuras geradas pelo impedimento à sedimentação das partículas sólidas do concreto, quando encontram algum tipo de obstáculo, como as armaduras, agregados com diâmetros maiores ou até mesmo pela própria forma. E segundo Santos (2014) ocorrem nas primeiras horas após o lançamento do concreto (10 min às 3h) e são estáveis após o endurecimento do concreto (figura 28).

Suas prováveis causas são:

- Armadura de grande diâmetro ou muito densa;
- Concreto com elevada relação água/cimento ou mau adensado;
- Perda excessiva de água da mistura por falta de estanqueidade das formas.

Figura 28 – Fissuração por retração plástica do concreto fresco



Fonte: Aguiar, (2011)

4.3 FISSURAS DE RETRAÇÃO POR SECAGEM

São fissuras que ocorrem pela perda excessiva de água de amassamento do concreto no estado fresco, seja por evaporação, por absorção pelos agregados ou pelas formas. Tais fissuras apresentam uma morfologia em forma de mapa ou pele de crocodilo que se cortam formando ângulos aproximadamente retos. As fissuras aparecem entre trinta minutos a seis horas após o endurecimento do concreto (SANTOS, 2014).

Para minimizar os casos de fissuras por dessecação superficial deve-se proteger a superfície do elemento, após a concretagem, da radiação solar e da ação do vento, e iniciar a cura logo após o adensamento do concreto (SANTOS, 2014).

4.4 FISSURAS POR MOVIMENTAÇÃO TÉRMICA

Os elementos de concreto armado, quando submetidos à retração térmica, sofrem uma redução dos elementos estruturais gerando tensões de tração, levando ao aparecimento de trincas e/ou fissuras, dependendo do grau de deformabilidade do elemento.

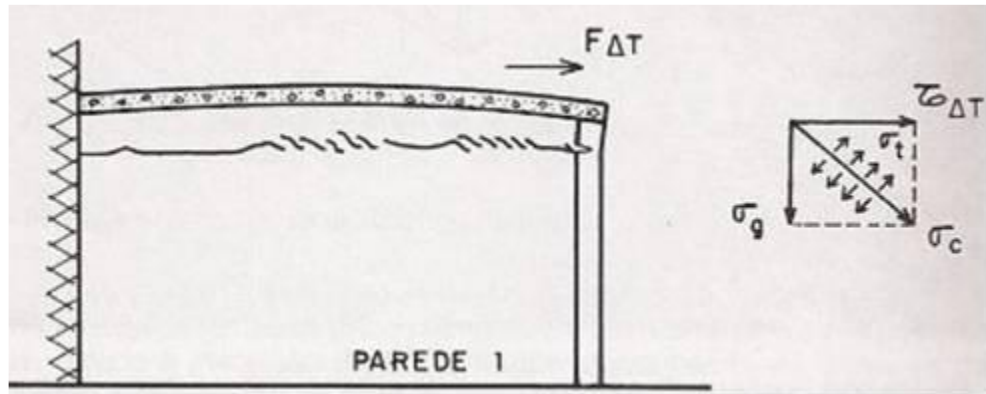
Todos os materiais empregados nas construções estão sujeitos a dilatações com o aumento da temperatura, e as contrações com a sua diminuição. Normalmente a fissuração térmica é observada em elementos maciços, onde a taxa de calor de hidratação é maior que a capacidade de dissipação para uma dada seção, podendo levar ao surgimento de microfissuras internas. (SANTOS, 2014).

Em paredes ou muros executados em concreto armado que apresentem grande comprimento sem juntas de dilatação adequadas, observa-se a formação de fissuras verticais no elemento (Figura 29).

Suas prováveis causas são:

- Grandes variações de temperatura diárias e anuais;
- Escurecimento das superfícies de concreto pela deposição de fuligem e desenvolvimento de fungos;
- Falta de ventilação em telhados.

Figura 29 – Trinca típico presente no topo da parede paralela ao comprimento da laje



Fonte: Thommaz, (2002).

4.5 FISSURAS DEVIDO AO DETALHAMENTO INSUFICIENTE DO PROJETO E FALHAS DE EXECUÇÃO

São fissuras causadas por falhas de execução ou pela ausência ou insuficiência de detalhes, embora o dimensionamento em geral atenda aos esforços a que o elemento estrutural estará submetido.

Tais problemas ocorrem devido a descuidos no mau posicionamento das armaduras no momento da concretagem ou por falhas de montagem e operação das formas, escoramentos deficientes, desmembramento errado.

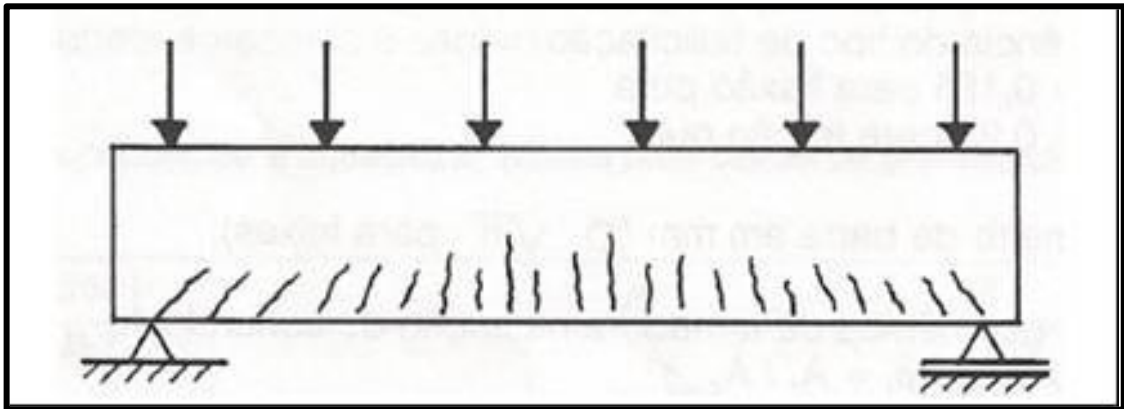
4.6 FISSURAS DEVIDO AOS CARREGAMENTOS

São fissuras geradas nos elementos estruturais pela incapacidade de resistência a ação do carregamento a que este está sujeito, seja por falha no cálculo estrutural, por sobrecarga ou falhas na execução.

Nas estruturas de concreto armado a ocorrência de fissuras provoca uma redistribuição de esforços ao longo do componente fissurado, bem como nos elementos vizinhos, de maneira que a solicitação acaba sendo absorvida por toda a estrutura. Porém, esse tipo de fissura tem baixa incidência em uma peça de concreto armado, em função da existência e do posicionamento das armaduras (SANTOS, 2014).

Os danos ocorridos em vigas, marquises e balanços devido à flexão geralmente manifestam-se através de fissuras localizadas no meio do vão, e, no caso das vigas, esta tende a inclinar-se à medida que se aproxima dos apoios (figura 30).

Figura 30 – Fissuração típica em viga subarmada solicitada à flexão

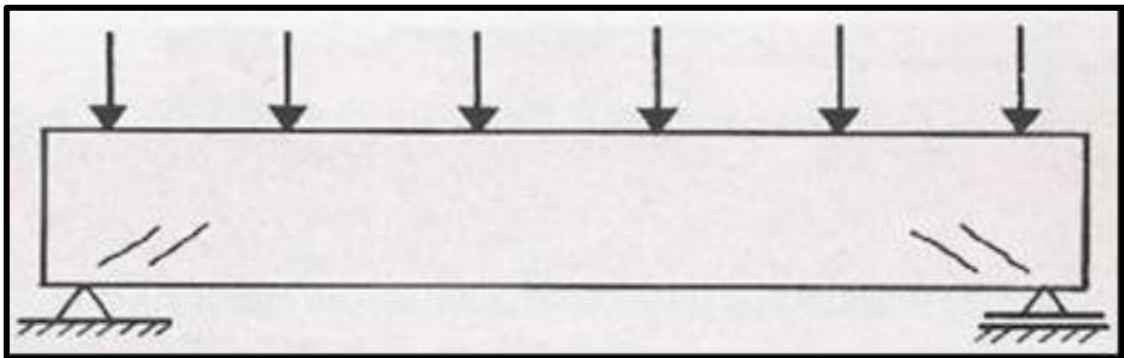


Fonte: Thommaz, (2002).

Tais problemas geralmente ocorrem em função dos erros de posicionamento das armaduras principais no elemento, deficiência de armaduras, ancoragem insuficiente ou sobrecargas não previstas.

Já nos apoios das vigas, costuma-se surgir fissuras de cisalhamento, as quais apresentam geralmente uma inclinação de 45° em relação ao apoio dos elementos fletidos, progredindo até as armaduras e atingindo o ponto de aplicação das cargas. Tais fissuras ocorrem devido a presença de sobrecargas não previstas, à deficiência de resistência do concreto e à insuficiência ou mau posicionamento dos estribos (figura 31).

Figura 31 – Fissuras de cisalhamento em viga solicitada à flexão



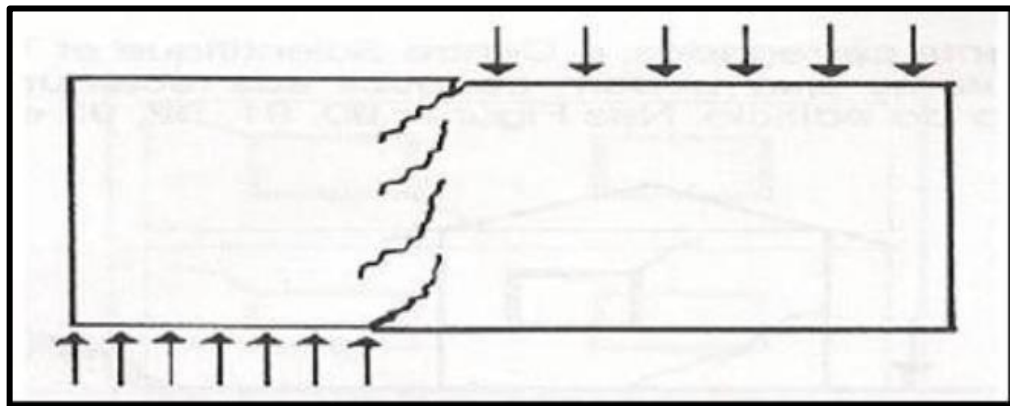
Fonte: Thommaz, (2002).

4.7 FISSURAS DEVIDO A RECALQUES DE FUNDAÇÕES

São fissuras que ocorrem quando as fundações sofrem deformações diferenciais ao longo da estrutura de sustentação das mesmas por adensamento ou recalques imediatos das camadas do solo, deformação ou ruptura de elementos de concreto da própria fundação (THOMMAZ (2002)).

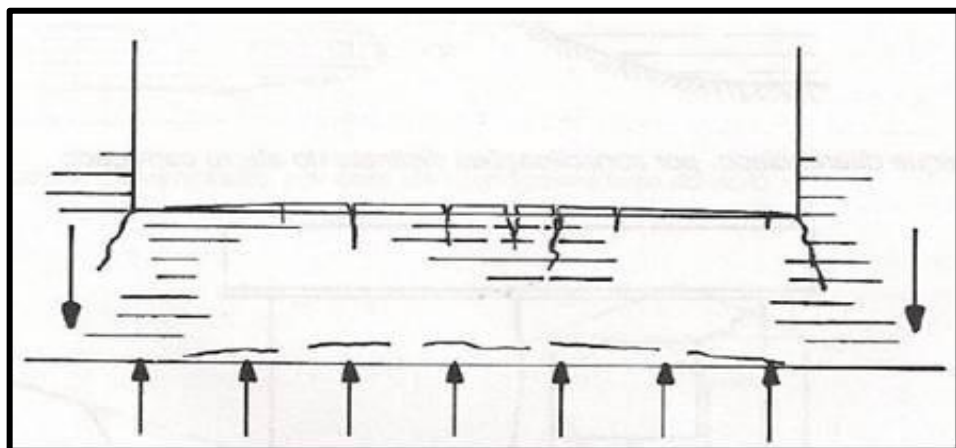
Tais problemas ocorrem devido à construção de fundações rasas em solos compressíveis, expansivos ou aterros, interferência no bulbo de tensões provocado por construções vizinhas, rebaixamento do lençol freático, sobrecargas ou falhas em elementos de fundação (figuras 32 e 33).

Figura 32 – Trinca de cisalhamento no painel, devido recalque diferencial



Fonte: Thommaz, (2002).

Figura 33 – Trincas de flexão devido ao carregamento desbalanceado em suas fundações



Fonte: Thommaz, (2002).

5 RECUPERAÇÃO DE PATOLOGIAS EM EDIFICAÇÕES

Há várias técnicas construtivas disponíveis com a utilização de diferentes materiais aplicáveis à recuperação de estruturas. Assim sendo, neste capítulo a abordagem foi desenvolvida considerando aquelas técnicas mais usuais no tratamento de patologias de edificações.

5.1 RECUPERAÇÃO SUPERFICIAL DO CONCRETO

Todas as recuperações e reforços estruturais em peças de concreto armado devem seguir uma conduta rigorosa na preparação e limpeza do substrato, que são os procedimentos preliminares obrigatórios antes da execução do reforço/restauro. Não adianta usar sistemas e materiais apropriados sem preparar adequadamente o substrato, pois o risco de insucesso será muito grande, a ponto de comprometer integralmente a restauração ou reforço.

De acordo com Marcelli, (2007), o primeiro serviço é o de preparo do substrato, e pode ser feito de várias maneiras, dependendo das condições locais, da natureza e grandeza dos serviços a serem executados. A (figura 34), mostra os principais procedimentos de preparo.

Figura 34 – Procedimentos para preparo do substrato

Item	Procedimentos	Preparo do substrato	
		Concreto c/ superfície	
		Seca	Úmida
01	Escarificação manual	Adequado	Adequado
02	Disco de desbaste	Aceitável	Adequado
03	Escarificação mecânica	Adequado	Adequado
04	Demolição	Adequado	Adequado
05	Lixamento manual	Inadequado	Aceitável
06	Lixamento elétrico	Adequado	Aceitável
07	Escovamento manual	Adequado	Aceitável
08	Pistola de agulha	Inadequado	Inadequado
09	Jato de areia seca/úmida	Adequado	Adequado
10	Disco de corte	Aceitável	Adequado
11	Queima controlada	Adequado	Inadequado
12	Remoção de óleo/graxa	Inadequado	Adequado
13	Máquina de desbaste	Aceitável	Adequado

Fonte: Marcelli, (2007).

A limpeza da superfície é o procedimento que deverá ser executado depois da preparação do substrato e instantes antes da aplicação dos produtos de reforço/restauro. Pode ser feito com base nos principais procedimentos especificados na (figura 35).

Figura 35 – Procedimentos para limpeza da superfície de concreto

Item	Procedimentos	limpeza	
		Concreto c/ superfície	
		Seca	Úmida
01	Jato de água fria	Inadequado	Adequado
02	Jato de água quente	Inadequado	Adequado
03	Vapor	Inadequado	Adequado
04	Soluções ácidas	Inadequado	Aceitável
05	Soluções alcalinas	Inadequado	Adequado
06	Remoção de óleos/graxas	Inadequado	Inadequado
07	Jato de ar comprimido	Adequado	Aceitável
08	Solventes voláteis (acetona)	Adequado	Adequado
09	Saturação de água	Inadequado	Inadequado
10	Aspiração a vácuo	Adequado	Inadequado

Fonte: Marcelli, (2007).

5.1.1 Polimento

Usa-se a técnica de polimento, quando a superfície de concreto se apresenta muito áspera, devido à má execução da estrutura, do desgaste natural que ocorre devido ao próprio uso e tempo, dosagens equivocadas do concreto, utilização de fôrmas brutas ou ásperas (em concreto aparente) ou falta de vibração adequada.

Esta técnica é utilizada para reduzir a aspereza da superfície do concreto, tornando-a novamente lisa e isenta de partículas soltas, utilizando-se de equipamentos mecânicos, como lixadeiras portáteis ou máquinas de polir pesadas utilizadas quando a área a ser recuperada é muito extensa (SOUZA, 2006).

Para manusear este tipo de equipamento é necessária mão de obra especializada e é necessário também o cuidado com a proteção ambiental e dos trabalhadores, pois esta técnica produz altos valores de ruídos e provoca a formação de grande quantidade de pó.

5.1.2 Lavagem

5.1.2.1 Uso de soluções ácidas

As soluções ácidas ajudam a remover os defeitos que a água não conseguiria. Essa lavagem remove tintas, ferrugens, graxas, carbonatos, resíduos e manchas de cimento, por exemplo.

Esta técnica não deve ser utilizada quando se tem uma espessura de cobrimento da armadura reduzida, ou quando o local deteriorado estiver próximo às juntas de dilatação, evitando assim que a solução penetre nessas juntas, ou seja, evitando que ela penetre em locais onde não se tem garantia de sua remoção total. Usa-se, nesses casos, soluções alcalinas (SOUZA, 2006).

Para esse tipo de lavagem utiliza-se normalmente ácido muriático (ácido clorídrico comercial) diluído em água na proporção de 1:6, essa solução é utilizada na remoção de tintas, ferrugens, graxas, carbonatos, resíduos e manchas de cimento, sendo mais eficiente que na aplicação de jatos d'água. Pode ser utilizada também quando se pretende tornar a superfície do concreto mais áspera.

Inicia-se o processo saturando a superfície onde será aplicada a solução, para evitar que a mesma não penetre na camada sadia de concreto, posteriormente aplica-se a solução por aspersão ou com uso de uma broxa em pequenas áreas até que cesse o processo de descontaminação, ou seja, quando cessar a reação do produto com o concreto deteriorado.

Terminada essa etapa inicia-se a lavagem, garantindo sempre a total remoção da solução, primeiramente com o uso de uma solução neutralizadora e posteriormente com jatos de água natural.

Além da solução com ácido muriático existem soluções com outros tipos de ácidos, como a mistura de ácido fosfórico e glicólico, a mistura na proporção de 1:7:6 de plasma de nitrato de sódio, glicerina e água quente respectivamente.

Segundo Souza e Ripper (1998), apurou-se que as soluções descritas no parágrafo anterior não obtêm o mesmo resultado comparando-as com o uso da solução de ácido muriático diluído em água.

5.1.2.2 Uso de soluções alcalinas

A lavagem utilizando-se soluções alcalinas possui o mesmo procedimento das soluções ácidas, no que diz respeito à lavagem preliminar e aplicação. Porém, diferencia-se quanto aos cuidados que se deve tomar com estes agentes.

Quando se utiliza esse tipo de solução em concretos com agregados reativos, o contato entre os dois pode provocar uma reação denominada álcalis-agregado, que é uma reação expansiva, pela formação de sólidos em meio confinado (SOUZA; RIPPER, 1998).

Essa reação resulta da interação entre a sílica reativa de alguns tipos de minerais utilizados como agregados e os íons álcalis (Na^+ e K^+) – quando presentes no cimento em porcentagem superior a 0,6% - que são liberados durante a sua hidratação, ou pode ocorrer também pela penetração de cloretos, contendo estes mesmos íons, no concreto (SOUZA; RIPPER, 1998).

Diferenciando-se das soluções ácidas, com as soluções alcalinas não há a preocupação com tamanho de cobrimento das armaduras.

5.1.2.3 Uso de jatos d'água e de areia

Esta técnica remove a camada deteriorada de concreto, utilizando-se de jatos d'água fria potável, normalmente em conjunto com jatos de areia, tanto com o uso alternado da água e da areia, quanto com a mistura dos dois da mesma forma que no concreto projetado por via seca.

Quando utilizado jato de areia é necessário que a mesma esteja limpa, seca e isenta de matéria orgânica, e uma vez utilizada deve ser descartada. Para manutenção da mangueira é necessário que a areia tenha granulometria adequada ao diâmetro da mesma a fim de não a entupir ou causar o polimento da superfície a ser tratada.

Após o término de sua utilização, é necessário o uso de jatos de ar comprimido e de água fria antes da aplicação do material de recuperação. Segundo Souza e Ripper (1998) esse método serve também como alternativa ao apicoamento do concreto, promovendo a remoção da camada mais externa de concreto, porém é menos produtivo comparado a sua utilização somente para limpeza, cerca de 25% a 30% a menos.

Figura 36 – Jato de areia – Hidrojateamento



Fonte: Marcelli, (2007).

Na (Figura 36), está o exemplo do hidrojateamento. Utilizam-se também jatos de água quente com removedores biodegradáveis quando se quer remover das superfícies resíduos muito gordurosos ou manchas muito impregnadas, mas para isso deve-se contratar operadores experientes e usar o EPI (Equipamento de Proteção Individual) adequado (AZEVEDO, 2011).

Normalmente utiliza-se máquina de alta pressão tipo lava-jato, quando o serviço permitir pode-se utilizar algumas máquinas de projetar concreto como forma de diminuir a quantidade de equipamentos alocados na obra.

5.1.2.4 Uso de jatos de ar comprimido

O jato de ar comprimido é utilizado para complementação da limpeza quando o uso dos jatos de água ou areia não for suficiente. Ele tem a função de promover a remoção das partículas em cavidades, devendo sempre o sopro ser procedido do interior para o exterior ou ainda para a secagem de superfícies ou de fissuras antes

da injeção das mesmas (SOUZA, 2006).

Figura 37 – Jato de ar comprimido



Fonte: Mairless, (2007).

Ainda pode-se utilizá-la não como jato, mas sim como aspiração, (Figura 37), principalmente para limpeza de furos profundos, como os utilizados para a ancoragem de barras de armaduras.

Os cuidados principais que se deve tomar são com relação ao uso de filtros de ar e óleo no compressor, para evitar o refluxo do óleo utilizado no mesmo.

5.1.2.4 Jato de limalha de aço

Em alguns casos, o jato de limalha de aço pode ser uma alternativa viável ao jato de areia (Figura 38). O equipamento funciona nos mesmos princípios básicos dos outros jatos, mas possui suas peculiaridades. É mais abrasivo e por isso não é recomendado sua utilização em armaduras expostas, já corroídas e com pequenos diâmetros. Por outro lado, é um equipamento menos poluente que os demais.

Figura 38 – Jato de limalha de aço



Fonte: Souza, (2006).

Este método possui boa eficiência para grandes áreas e não há a necessidade do uso de água. O jato quebra a superfície de concreto menos resistente, e proporciona a abertura imediata dos poros, fazendo com que aumente a aderência do material de recuperação (SOUZA, 2006).

5.1.2.5 Queima à maçarico

Este método requer bastante cuidado executivo. Não se deve aplicar o maçarico numa mesma área por muito tempo, pois há risco de danificar o concreto sadio. Também há restrição quanto ao uso em áreas com armadura exposta, ou armaduras com cobertura menor que 3,5 cm.

Destina-se a utilização em superfícies esfoliadas, para retirada de óleos e graxas. Devido à sua dificuldade de ser executado de modo perfeito e sem danos, este método é pouco utilizado.

5.1.2.6 Escovação manual

Essa é uma das mais simples técnicas de limpeza, utilizando como equipamento uma escova com cerdas de aço (Figura 39), e às vezes o auxílio

complementar de uma lixa de ferro (para aço) ou d'água (para concreto). Ela é indicada para pequenas áreas, para limpeza de barras com indícios de corrosão ou para aumentar sua capacidade de aderência.

Após o término da escovação deve-se limpar a superfície tratada com jato de ar comprimido.

Figura 39 – Escova de aço manual



Fonte: Leroy Merlin, (2017).

5.1.2.7 Apicoamento

Este tipo de procedimento é utilizado para remoção da camada externa do concreto que será complementada com o material de recuperação, segundo Souza e Ripper (1998) a espessura de retirada nesse método não ultrapassa 10 mm.

Figura 40 – Martetele



Fonte: Leroy Merlin, (2017).

A remoção do concreto deteriorado pode ser feita com equipamentos

mecânicos (Figura 40), martelos pneumáticos leves, de até 5 kg ou apicoamento manual (Figura 41), feito com ponteiro, talhadeira e marreta leve (1 kg).

Figura 41 – Apicoamento manual da superfície de concreto



Fonte: SERCPINT, (2011)

A adoção de um sistema ou do outro dependerá da extensão que se quer recuperar, ou seja, para áreas grandes utiliza-se o processo mecânico que tem rendimento maior se comparado ao apicoamento manual, que é utilizado para remoção de pequenas áreas danificadas, ou onde não é possível o acesso de equipamentos mecânicos. A produção manual varia de 2 a 4 m² por dia, conforme as condições de trabalho.

O apicoamento exige cuidados específicos e é executado de forma artesanal. É proibido golpear a região, para que a integridade das arestas e contornos da região em tratamento sejam preservados (DER/SP, 2006).

5.1.3 Saturação

O processo de saturação da superfície do concreto serve para aumentar a aderência do material de recuperação (concreto ou argamassas de base cimentícia).

Segundo Souza e Ripper (1998), o tempo médio de saturação é de aproximadamente 12 horas. A aplicação de água pode ser contínuo, o que pode ser

simples em casos de lajes ou outras superfícies horizontais, ou por molhagem de elementos intermediários, como sacos de estopa, que são então aplicados sobre as superfícies, o que é muito usado não só horizontalmente, mas também em vigas e pilares. No caso de paredes verticais, é comum garantir-se a molhagem contínua através de uma mangueira furada - furos com espaçamento da ordem dos 15 cm - funcionando como "sprinklers".

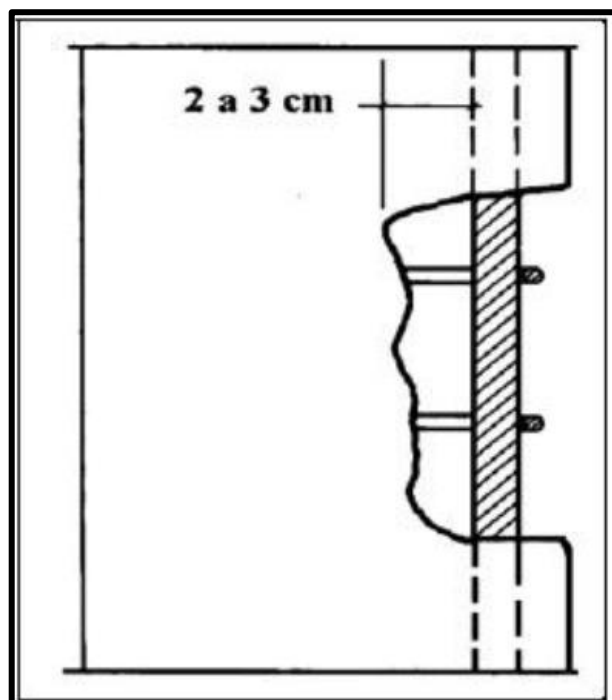
Deve-se observar que a superfície que receberá o material de recuperação tem que estar apenas úmida sem possuir poças de água.

5.1.4 Corte

O corte é a remoção de porções profundas de concreto degradado. Esse processo utiliza-se de martelo demolidor com massa de 6 a 10 kg, com ponteiro terminando em ponta viva.

Neste processo extirpa-se todo e qualquer material nocivo às armaduras, promovendo um corte, pelo menos 2 cm ou o diâmetro da barra, de profundidade além das mesmas, garantindo assim que toda armadura estará imersa em meio alcalino (figura 42).

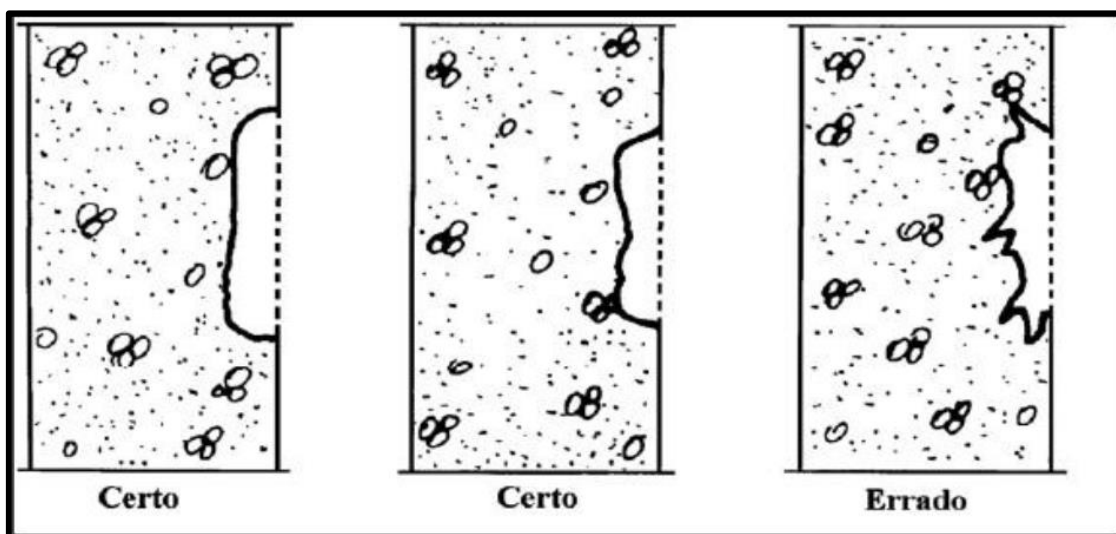
Figura 42 – Corte de concreto mostrando a profundidade de remoção



Fonte: Souza e Ripper, (1998)

Segundo Andrade e Perdrrix (1992), “caso não haja o corte do concreto além das armaduras, limpando-se somente o lado exterior e deixando a parte posterior recoberta pelo concreto velho, isso dá início a uma pilha de corrosão eletroquímica por diferença de material”.

Figura 43 – Aspecto final da cavidade na intervenção de corte de concreto



Fonte: Souza e Ripper, (1998).

Ainda segundo Andrade e Perdrrix, (1992), “isso ocorre, pois, a parte posterior atuará como ânodo e a parte recuperada e fará o papel de cátodo, desencadeando assim um processo de corrosão ainda mais rápido que originalmente”.

“Para melhor aderência do novo concreto, a superfície interna do corte deve ter suas arestas arredondadas e na forma de um talude de 1:3”, segundo Souza e Ripper (1998). Terminado o corte a superfície do concreto deve seguir uma sequência de limpeza, que são: jateamento de areia, seguido de jateamento de ar comprimido, terminando com jateamento de água. Como demonstrado na (Figura 43).

Há ocasiões em que se necessita o escoramento da estrutura onde está sendo realizado o corte, fatores esses que acabam por encarecer e demandar maior tempo de intervenção (CÁNOVAS, 1984).

A determinação da extensão longitudinal a ser cortada é empírica, ou seja, não tem uma fórmula que a determine, mas pelo bom senso e experiência. Deve-se estar atento para a remoção completa dos agentes nocivos à estrutura, ou seja, o resquício por mais imperceptível que seja de uma película oxidada promove a retomada do processo contaminante,

comprometendo assim o trabalho realizado. Lembrando que a retirada em demasia de concreto é contra a segurança da estrutura e antieconômica, pois está se removendo camadas de concreto sadio (SANTOS, 2014).

5.2 RECUPERAÇÃO DE DANOS NO CONCRETO

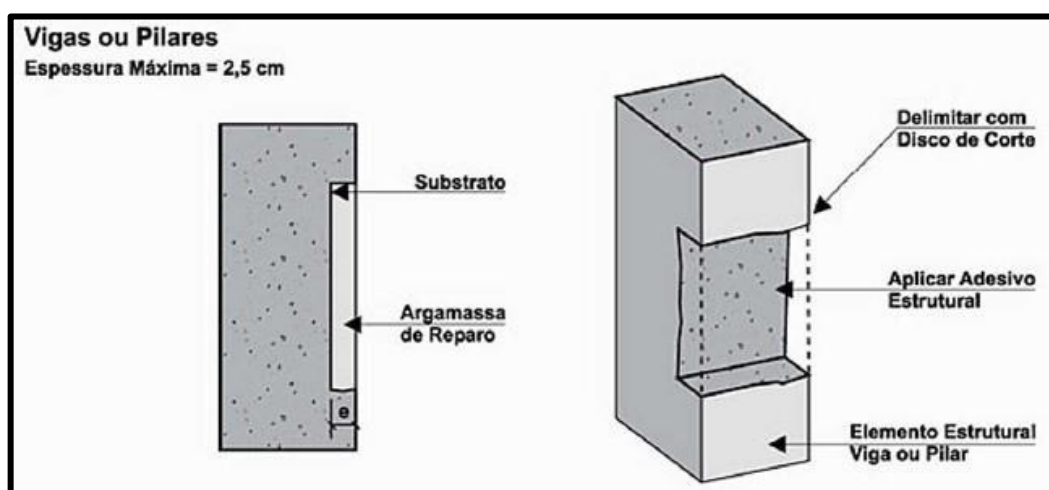
Os danos no concreto podem ser classificados entre danos superficiais, danos semiprofundos e danos profundos. Danos superficiais são aqueles de até 2,0cm de profundidade, danos profundos são aqueles de até 5,0 cm de profundidade, e a partir deste valor são os danos considerados profundos (SOUZA; RIPPER, 1998). Já Marcelli (2007), cita que os danos superficiais são aqueles que compreendem um valor de até 2,5cm de profundidade (figuras 44 e 45).

Para todos os casos de danos citados, pode-se contar hoje em dia com uma grande variedade de produtos industrializados com características diversificadas para atender a cada situação específica.

É o caso dos grautes que já vêm prontos para ser aplicados, ou compostos separados que podem ser misturados na obra, formando excelentes argamassas de restauro. É possível ainda usar aditivos químicos que, incorporados à argamassa, conferem plasticidade e boa aderência.

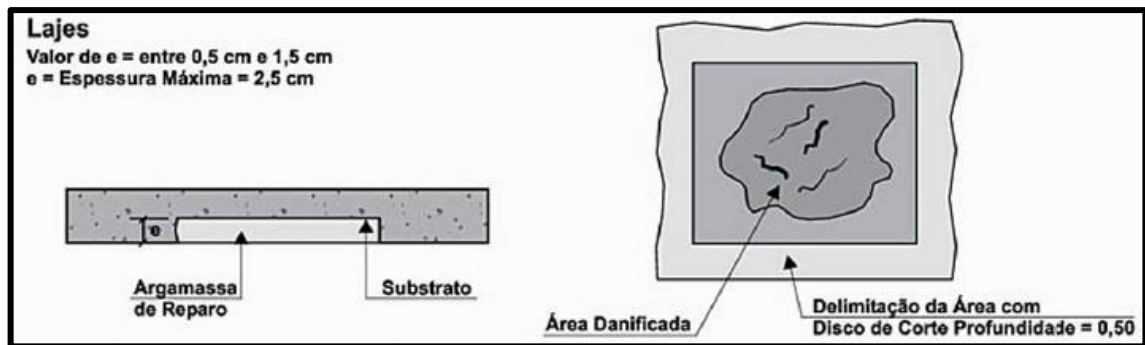
O importante nessas argamassas de restauro é que ela tenha alta resistência, boa aderência e principalmente que não retraia, de forma a preencher todo o vazio, obturando definitivamente o problema.

Figura 44 – Reparo superficial em viga ou pilar



Fonte: Marcelli, (2007).

Figura 45 – Reparo superficial em laje



Fonte: Marcelli, (2007).

Após o correto tratamento da superfície do concreto, a limpeza e os reparos nas ferragens, então é possível restaurar o elemento estrutural.

5.2.1 Reparo com Graute expansivo

O reparo com graute expansivo é bastante utilizado quando se precisa desformar rapidamente o local reparado para utilização da estrutura como demonstrado na (figura 46). Como o graute atinge alta resistência muito rápida, as formas podem ser retiradas depois de 24 horas de executado (SOUZA; RIPPER, 1998).

Figura 46 – Recuperação de laje com graute tixotrópico



Fonte: Autor, (2017).

Este produto possui boa fluidez, compacidade, uniformidade e não apresenta

retração e é auto adensável. A cura deve ser úmida e por 3 dias (MARCELLI, 2007).

De acordo com Tula (2002), pode-se classificar os tipos de graute em: grautes minerais (à base de cimento) e grautes poliméricos ou orgânicos (à base de resina).

5.2.1.1 Grautes minerais

Os grautes minerais, à base de cimento, podem ser classificados segundo o tamanho do agregado utilizado:

- Grautes injetáveis: agregado muito fino: partículas menores que 75 microns;
- Grautes de argamassa: agregado miúdo: máxima característica menor ou igual a 4,8 mm;
- Grautes de microconcreto: pedrisco ou brita 0: dimensão máxima característica menor ou igual a 9,5 mm;
- Grautes de concreto: com adição de até 30% de brita 1: dimensão máxima característica menor ou igual a 19 mm.

Os grautes de base mineral recebem uma classificação de acordo com a utilização preponderante. Assim, encontram-se no mercado denominações do tipo: de uso geral, de construção, de uso industrial, para injeção, de reparo, de uso submerso, para altas temperaturas, entre outras. Alguns fabricantes ainda sugerem pequenas variações à classificação descrita para ressaltar alguma característica particular de um determinado produto ou, ainda, a adição de algum elemento particular (TULA, 2002).

5.2.2 Reparo com concreto convencional

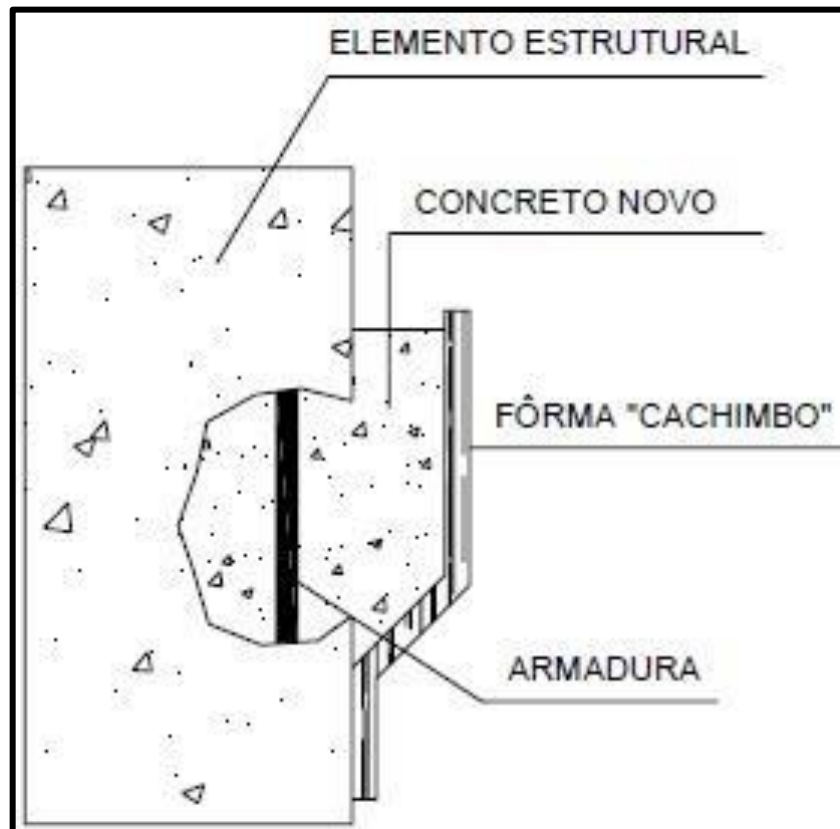
Segundo Paulo Helene (2003) é uma solução de baixo custo, quando o reparo com concreto projetado não é aconselhável. Por motivos de necessidade de grandes volumes, o reparo com grautes e argamassas poliméricas resultariam em custos 20% mais elevados para a obra, devido ao aluguel de bombas e outros equipamentos para projetar o projeto.

Este método exige a execução de formas e alto conhecimento da tecnologia do concreto, para que sejam feitas dosagens adequadas e que garanta um baixo valor do fator água/cimento. Deve-se observar que na execução desta técnica, deve ser feito a concretagem um nível acima do reparo. Isto serve para garantir o total

preenchimento do local a ser reparado. Chama-se “cachimbo” a abertura por onde o concreto passará (SOUZA; RIPPER, 1998), no caso de pilares. Para as vigas, o dispositivo que se assemelha ao cachimbo é o de “pressão, indicado na (figuras 47, 48 e 49).

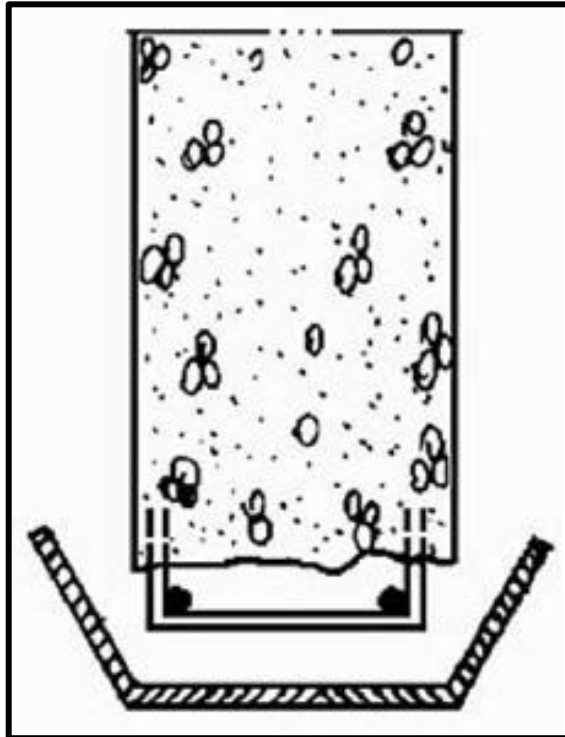
Após a retirada da forma, deve ser feito a regularização da superfície através de ponteiros e talhadeiras.

Figura 47 – Detalhe da forma tipo “cachimbo”



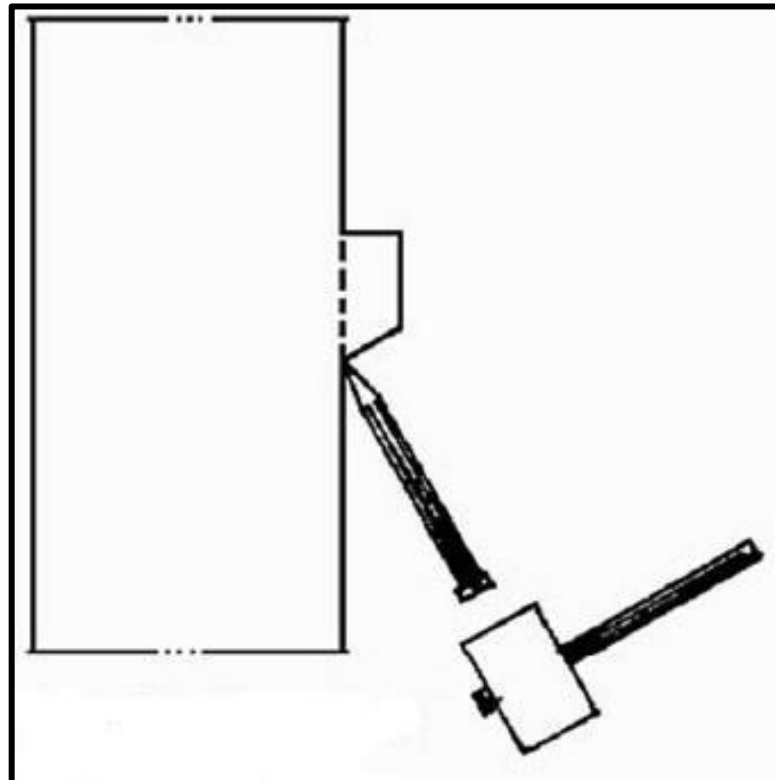
Fonte: Rigazzo, (2003)

Figura 48 – Detalhe da forma tipo “pressão”



Fonte: Souza e Ripper, (1998).

Figura 49 – Remoção do concreto excedente



Fonte: Souza e Ripper, (1998).

Deve-se lembrar que o fator principal de uma boa recuperação, utilizando o concreto como material reparador, é garantir a sua cura, devendo-se manter a superfície constantemente úmida durante 7 dias (GRANATO, 2002).

5.2.3 Reparo com concreto projetado

A NBR 14026, diferencia concreto projeto de argamassa projetada. Concreto projetado é “Concreto com dimensão máxima característica do agregado maior ou igual a 9,5mm, transportado através de uma tubulação, projetado sob pressão sobre uma superfície, com compactação simultânea”. Portanto, a argamassa projetada é quando a dimensão máxima característica do agregado é inferior a 9,5mm.

Esta técnica de reparo com concreto projetado consiste em se conduzir concreto ou argamassa sob pressão contínua, através de uma mangueira ou mangote, projetando-o em alta velocidade sobre a base, ou seja, acima de 120 m/s (SOUZA; RIPPER, 1998). A força do jato comprime o material, sem necessidade de vibradores, deixando-o bem aderido à superfície projetada, podendo o local a ser reparado estar em qualquer posição (horizontal, vertical ou inclinada).

O método é uma alternativa ao uso de concreto convencional, e pode ser de bom uso quando se trata de grandes áreas de reparo. Uma das grandes vantagens do concreto projetado é a não-necessidade do preparo de formas. Entretanto, seu alto custo e a grande perda de material no processo (por reflexão) faz com que este não tenha um custo-benefício viável a pena para pequenas áreas. De acordo com (Figura 50).

Figura 50 – Execução da projeção de concreto



Fonte: Aguiar, (2011).

Existem dois métodos de emprego do concreto projetado: via seca e via úmida.

O processo por via seca, a norma NBR 14026, caracteriza como “processo no qual somente os agregados podem se apresentar úmidos e a maior parte da água é adicionada no mangote ou no bico de projeção”. Ou seja, a mistura dos agregados e do cimento é feita à seco, e posteriormente no bico projetor é adicionado água pelo operador através de uma abertura.

O processo por via úmida, a norma NBR 14026, caracteriza como “Processo no qual todos os ingredientes, incluindo a água, são misturados antes de serem introduzidos no equipamento de projeção”. Ou seja, a mistura de água, cimento, agregados e aditivos se dá na própria câmara. Por esse processo fica mais fácil o controle da quantidade de água na mistura, não dependendo da habilidade técnica do operador no caso da via seca.

Independente do processo a ser utilizado, é fundamental a limpeza total da superfície. Esta não pode conter nenhuma irregularidade que possa comprometer a aderência do material a ser projetado.

Corretamente aplicado, o concreto projetado é um material estruturalmente adequado e durável, capaz de excelente aderência com outro concreto, aço, alvenaria e outros materiais. Entretanto, estas propriedades favoráveis dependem de um correto planejamento, supervisão constante, operador habilitado e atenção contínua durante sua aplicação (AZEVEDO, 2011).

Bezerra (1998), diz que “não se deve projetar grandes espessuras de uma única vez, e sim, é recomendado “varrer” a superfície, aumentando-se progressivamente a espessura da concretagem”. Souza e Ripper (1998) cita ainda que esta espessura deve ser de no máximo 50mm.

Souza e Ripper (1998), explica que parte do concretado projetado sofre reflexão quando em contato com a superfície a ser reparada, como já citado anteriormente. A (tabela 03) mostra a relação da reflexão do material em função do tipo de superfície projetada.

Tabela 3 – Perdas típicas de material em serviços de concreto projetado.

Superfície	pisos	paredes	tetos
% de material ricocheteado	5 a 15	15 a 30	25 a 50

Fonte: Souza e Ripper, (1998).

No início da execução do concreto projetado é ainda maior, diminuindo assim que o concreto for aderindo à base. Não se deve em hipótese alguma reutilizar o material que refletiu em outro jateamento. Há riscos de alteração na granulometria, incidência de impurezas e hidratação do cimento.

5.2.4 Reparo com argamassa

Esta é uma técnica que é utilizada em pequenas áreas, e em profundidades de até 5,0 cm. Esta técnica é normalmente empregada apenas para os casos em que o que está deteriorado é a camada de concreto de cobrimento das armaduras, sendo, portanto, de grande importância que o interior do elemento estrutural não apresente anomalias, ou, caso as apresente, que elas sejam sanadas antes da utilização desta técnica (RELVAS, 2004).

A argamassa deve ser utilizada na regularização de lajes, para enchimento de pequenas falhas ou reconstituição de quinas quebradas dos elementos estruturais. Novamente, como todo processo de recuperação, a superfície a ser recuperada tem que estar totalmente limpa, livre de impurezas.

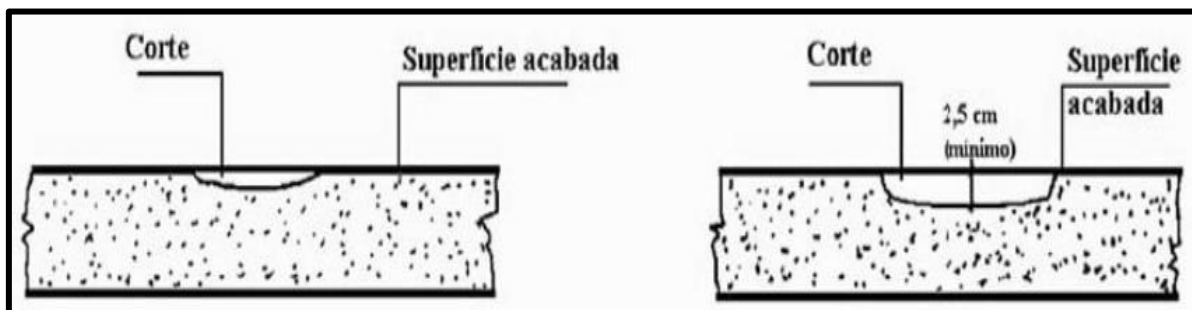
5.2.4.1 Argamassa de cimento e areia

Geralmente confeccionada no traço de 1:3 e com fator água/cimento de 0,45 (SHEHATA, 1998). Pode ser, ou não, aplicada em cima de um adesivo epoxídico. Não será necessário se a base estiver devidamente enrugada, a fim de garantir a aderência do novo material à base.

Antes de ser aplicada a argamassa, a superfície a ser reparada há de ter uma profundidade mínima de 2,5cm. Ou seja, se ao ser retirado a parte do concreto degradada e for constatado que a profundidade é menor que esse valor, deve-se proceder com o corte do elemento até que a profundidade seja alcançada, conforme

demonstrado na (figura 51).

Figura 51 – Preparo de superfície para argamassa



Fonte: Souza e Ripper, (1998).

A cura, segundo Relvas (2004), dura de 1 a 3 dias, dependendo das condições climáticas em que a superfície se situa. E não deve ser feito mais do que 1,0cm de camada por vez. Ou seja, apenas deve-se proceder à próxima camada quando a anterior já estiver curada e resistente, a fim de minimizar os efeitos da retração.

5.2.4.2 Argamassa tipo “farofa”

Segundo Bezerra (1998), argamassa farofa é aquela que “é uma mistura de cimento Portland com areia fina, na proporção de uma parte de cimento para 2,5 a 3 partes de areia em peso, com o fator água/cimento compreendido entre os valores 0,33 e 0,40”.

Esta argamassa é utilizada para preencher cavidades maiores que 25cm, e também deve-se atentar para o preenchimento de uma camada de 1,0 cm por vez, e compactadas através de soquete de madeira.

É importante observar se não surgem fissuras de retração nesta argamassa. Para que isso não ocorra, Bezerra (1998) indica o uso de aditivos expansivos e promover a cura por 5 dias.

5.2.4.3 Argamassa com polímeros

A adição de polímeros à argamassa de cimento e areia permite a redução da quantidade de água adicionada à mistura. Deste modo, reduz a permeabilidade do material e aumenta o seu grau de aderência. Argamassas poliméricas detêm a

propriedade de penetrar na porosidade do substrato e promover uma cristalização superficial. Dessa forma, os poros do concreto são preenchidos, impedindo a penetração da água.

Marcelli (2007), define argamassa polimérica: “são argamassas à base de metil-metacrilato ou epóxi e apresentam as vantagens de fácil moldagem, apesar de necessitar de forma, têm boa aderência e resultado estético satisfatório. No entanto, requerem mão-de-obra especializada e geralmente são caras”.

Uma das principais características da argamassa polimérica é que, ao contrário das argamassas convencionais, que são comercializadas em pó, a argamassa polimérica é comercializada em estado pastoso e pronto (massa) para a utilização, sem necessitar a adição de água ou aditivos no momento da aplicação.

Atualmente é utilizada na sua grande maioria argamassa industrializada, adicionada principalmente de adesivo acrílico, pois este pode ser utilizado em ambiente externo. Há também argamassas com polímeros PVA, que são pouco utilizados devido a sua restrição de uso em ambiente externo (AGUIAR, 2011).

5.2.4.4 Argamassa epoxídica

Argamassa epoxídica, como o próprio nome diz, é a argamassa em que o aglomerante é uma resina epoxídica. Essa argamassa tem como principal característica uma elevada resistência mecânica e química.

Souza e Ripper (1998), caracteriza argamassa epoxídica: “apresentam excepcional aderência ao aço e ao concreto, são recomendadas para recuperar superfícies de concreto de vertedouros, canais, bordas de juntas de dilatação de estruturas de concreto, pistas e rodovias de concreto de CP e elementos estruturais expostos a agentes agressivos, além de também serem apropriadas para todos os casos de reparos nos quais haja a necessidade de liberação da estrutura poucas horas após a execução do serviço”.

Segundo Johnson (1973), quando se trata de recuperar seções de espessura fina ou quando se deve pôr em serviço a obra antes que a argamassa ou o concreto normal tenha tempo de endurecer, deve-se utilizar uma argamassa tendo a resina epóxi como aglomerante. Nos demais casos, é mais econômico utilizar-se outro tipo de argamassa.

Marcelli, (2007), também define argamassa epoxídica: “Como o próprio nome

diz, são colas à base de epóxi com alto poder de aderir o concreto velho ao novo, além de ser uma eficiente barreira de proteção contra os ataques de agentes agressivos; no entanto, requer forma e nem sempre apresenta um resultado estético satisfatório”.

Esse tipo de argamassa pode ser a epoxídica propriamente dita, quanto a convencional ou seca. A epoxídica é composta de três componentes e utilizada em superfícies pequenas, pelo seu rápido tempo de cura, sendo que sua aplicação se dá em duas etapas aplicando-se uma pintura da mistura da resina e do endurecedor e posteriormente aplica-se a argamassa pressionando-a para garantir a perfeita aderência da argamassa ao concreto (SANTOS, 2014).

A argamassa convencional com adesivo epóxi tem sua aplicação em superfícies grandes de reparos e semiprofundas, aplicando-se a resina sobre a superfície base, sendo que ainda deve estar fluida no momento da aplicação da argamassa.

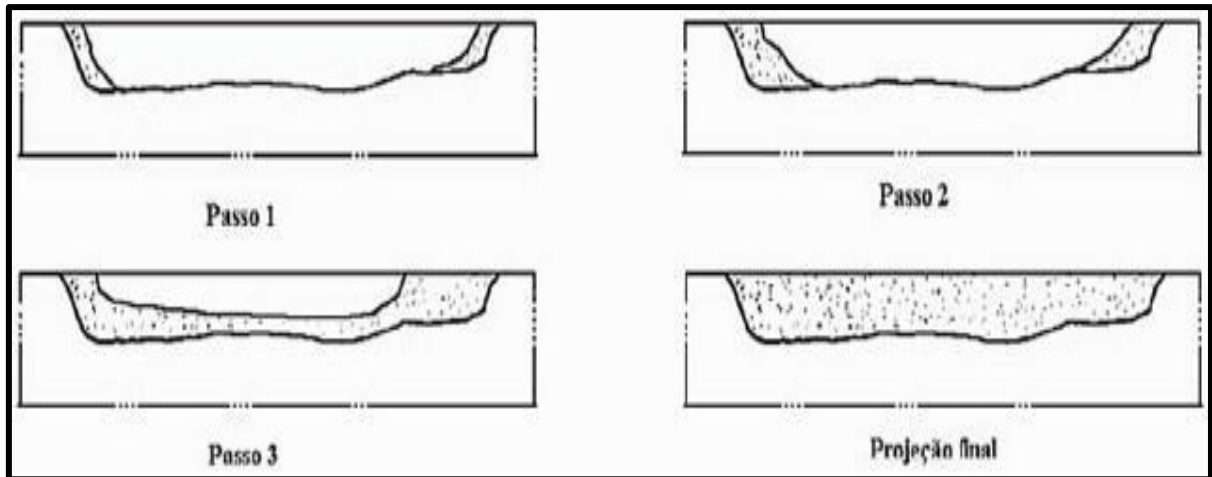
A argamassa seca tem sua aplicação semelhante a argamassa farofa, sendo seu traço variando em 1:2,5 ou 1:3 com adição do adesivo epóxi (RELVAS, 2004).

5.2.4.5 Argamassa projetada com adesivo acelerador

Este método, devido ao alto custo da mobilização de equipamentos, só é recomendado para reparo de grandes áreas, superficiais ou semiprofundos como mostrado na (figura 52). A aplicação é semelhante à do concreto projetado. A superfície deve ser limpa através de um jato de areia, a fim de ficar áspera. Logo antes da aplicação da argamassa, a superfície deve ser umedecida, mas deve-se atentar para não encharcar a área. Caso encharque, utilizar jato de ar para a secagem. A sequência de jateamento deve ser feita dos cantos para o centro.

Segundo Souza e Ripper, (1998), a argamassa deve ser misturada a seco, com um traço cimento/areia de 1:3 até 1:4,5, e o fator água-cimento deve ficar compreendido entre 0,35 e 0,55, juntando-se o aditivo acelerador na proporção de 2% a 6% do peso de cimento.

Figura 52 – Passo-a-passo do jateamento de argamassa com adesivo acelerador



Fonte: Souza e Ripper, (1998).

6 ESTUDO DE CASO

Como estudo de caso, foi escolhido os pilares, as vigas e lajes de concreto armado do hotel, por que, especialmente as estruturas externas de concreto aparente em estruturas de edifícios, são suscetíveis a várias manifestações patológicas. Pelo papel exercido por elas no conjunto da estrutura, é fundamental a correta avaliação dos problemas, e a escolha adequada das técnicas de reabilitação para corrigir a patologia e repor a estética, para garantir a rigidez estrutural e a resistência mecânica necessária para utilização da estrutura.

6.1 DESCRIÇÃO DO EMPREENDIMENTO

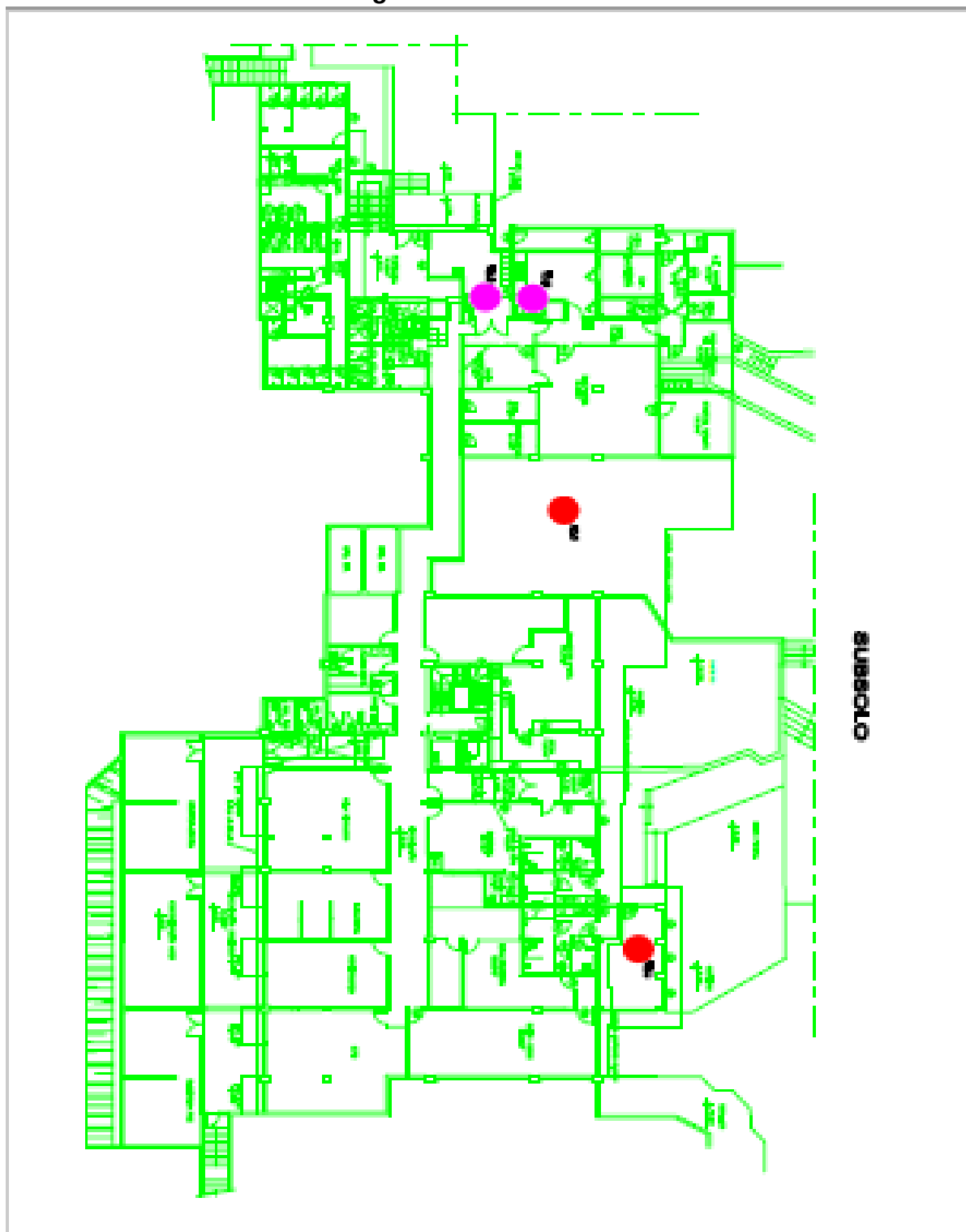
O Hotel-Escola Senac Barreira Roxa é uma escola, hotel e centro de turismo com características de excelência nacional, localizado em Natal, Rio Grande do Norte, Brasil (figura 54). É administrado em regime de parceria pelo Senac, entre outras entidades. Uma de suas funções é oferecer aos estudantes de turismo e hospitalidade do Senac um ambiente para a prática de suas funções.

O prédio foi inaugurado pelo Governo do Estado, no dia 3 de novembro de 1895, inicialmente idealizado para ser a residência oficial do governador; posteriormente teve a destinação alterada. Em abril de 2014, o lugar passou a ser administrado pelo SENAC.

Em 2013 o prédio iniciou uma reforma, como demonstrado na (figura 53) onde acabou sendo paralisada e passou muitos anos abandonada, sem manutenção. A edificação possuindo um hotel e um anexo, ambos contam com 3 pavimentos: subsolo, térreo e 1º pavimento, foi construída com paredes de alvenaria em blocos de concreto, estrutura em concreto armado convencional e fundações em sapatas de concreto, com o total de 6.853,62 m² de área construída. O projeto de revitalização da edificação previa a readequação de parte da edificação já existente, demolição parcial seguida de ampliação e contemplava nenhum projeto de reforço e de recuperação estrutural. Porém, após o início da obra, foram detectadas novas patologias em toda a edificação. Assim, a partir de vistorias realizadas através da inspeção visual, as patologias foram localizadas, e suas influências no comportamento da estrutura frente aos carregamentos previstos foram analisadas e serviram de base para a elaboração do projeto de reforço e recuperação estrutural, e reforço estrutural.

enfermidades. Seguem abaixo nas (figuras 55, 56, 57 e 58) as plantas baixas. E logo em seguida na (tabela 4) as dimensões em M² das recuperações realizadas e na (tabela 5) conta com a composição dos serviços.

Figura 55 – Subsolo hotel



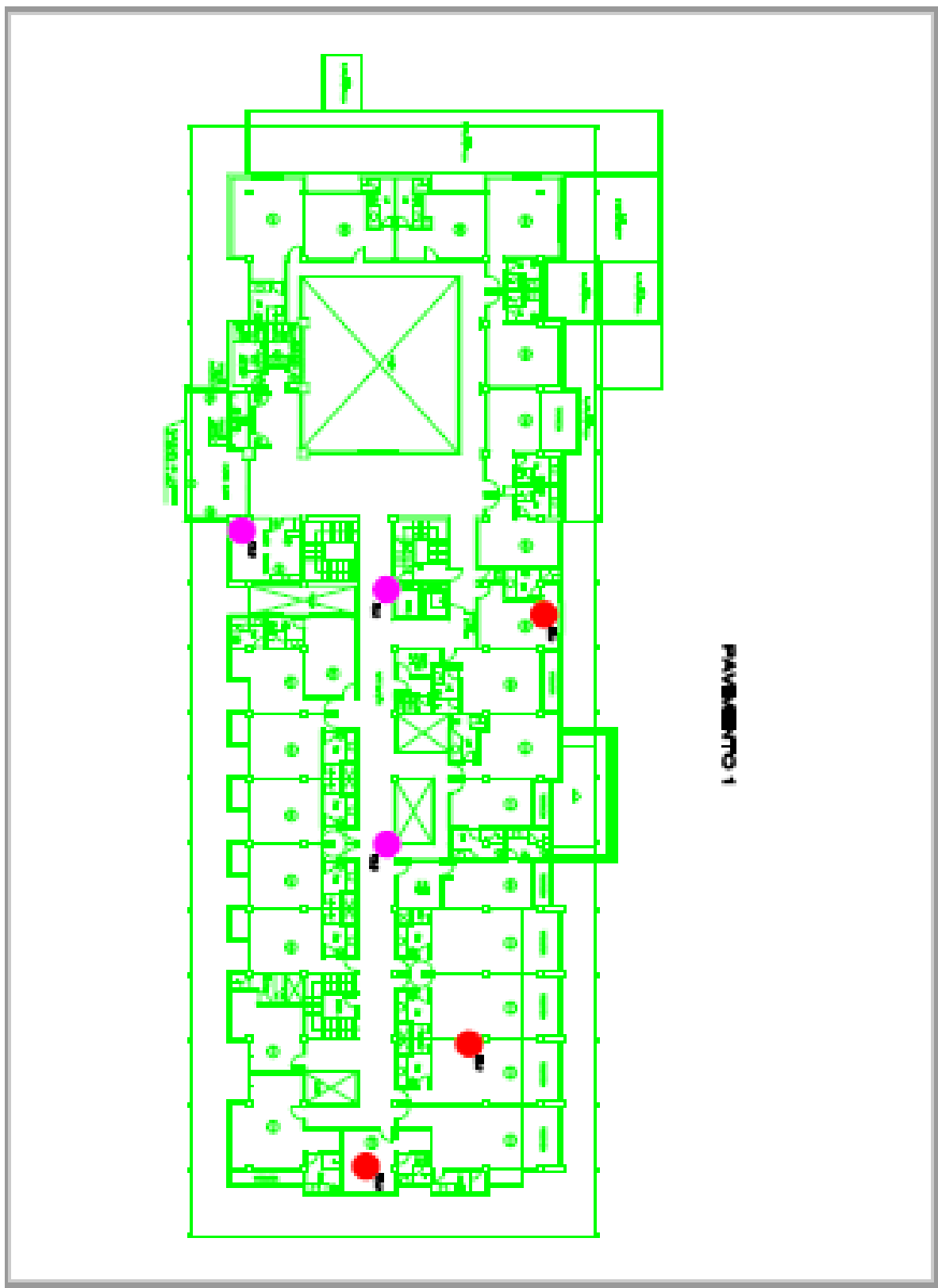
Fonte: Projeto Estrutural, cedido pela Construtora A. Gaspar S.A do engenheiro estrutural José Pereira da Silva, (julho 2015)

Figura 56 – Térreo hotel



Fonte: Projeto Estrutural, cedido pela Construtora A. Gaspar S.A do engenheiro estrutural José Pereira da Silva, (julho 2015)

Figura 57 – 1º Pavimento hotel



Fonte: Projeto Estrutural, cedido pela Construtora A. Gaspar S.A do engenheiro estrutural José Pereira da Silva, (julho 2015)

Tabela 4 – Referência de pilares, vigas e lajes que foram recuperados

PAVIMENTO	REF.	MEDIDAS		
		B (m)	H (m)	TOTAL (m²)
TÉRREO HOTEL	P1	0,50	2,90	1,45
	P2	0,40	1,10	0,44
1º PAV. HOTEL	P3	0,50	2,90	1,45
	V4	0,50	2,90	1,45
	V5	0,50	2,90	1,45
	L6	0,40	2,00	0,80
	L7	0,50	2,90	1,45
	L8	5,00	1,50	7,50
	L9	0,60	2,90	1,74
	L10	0,60	0,60	0,36
	L11	0,60	0,45	0,27
	P12	0,65	0,60	0,39
	P13	0,60	0,60	0,36
	P14	0,60	0,60	0,36
	P15	0,60	0,60	0,36
	P16	0,60	0,60	0,36
	P17	0,60	0,60	0,36
	P18	0,60	0,60	0,36
	V19	0,90	0,60	0,54
SUBSOLO HOTEL	P20	0,60	1,10	0,66
	P21	0,50	1,00	0,50
	P22	0,50	1,00	0,50
	P23	0,50	0,50	0,25
1º PAV. ANEXO	P24	0,50	0,80	0,40
	P25	0,80	0,80	0,64
TOTAL m²				24,40

Fonte: Autor, (2018)

Tabela 5 – Valor unitário de recuperação e reforço estrutural.

Código: 890025	PREPARO DE ARMADURA PARA O REPARO ESTRUTURAL	BDI: 0,00	UND: M2		
CÓDIGO	DESCRIÇÃO	UNIDADE	Qte	PREÇO UNITÁRIO	VALOR TOTAL
CO 84756	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-50, DIÂMETRO DE 10.0 MM, UTILIZADO EM ESTRUTURAS DIVERSAS, EXCETO LAJES. AF 12/2015	KG	15,00	6,27	94,05
CO 210724	AJUDANTE DE ARMADOR COM ENCARGOS	HRS	5,10	12,05	61,46
CO 210736	ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	HRS	5,01	15,04	75,40
			SUB-		230,91
MA 337	ARAME RECOZIDO 18 BWG, 1,25 MM (0,01 KG/M)	KG	0,10	8,28	0,83
			SUB-		0,83
			TOTAL SEM BDI:		231,74
			BDI:	0,00%	-
			TOTAL COM BDI:		231,74
			VALOR ADOTADO		231,74
Código: 202501	GRAUT PARA REPARO ESTRUTURAL	BDI: 0,00	UND: M2		
CÓDIGO	DESCRIÇÃO	UNIDADE	Qte	PREÇO UNITÁRIO	VALOR TOTAL
MA 41911	ARGAMASSA PARA REPARO ESTRUTURAL TIPO SIKATOP 122 OU EQUIVALENTE	KG	50,21	6,76	339,44
			SUB-		339,44
MO 242	AJUDANTE ESPECIALIZADO	H	0,86	4,39	3,78
MO 12873	IMPERMEABILIZADOR	H	0,86	5,57	4,80
			LEIS	120,04%	10,30
			SUB-		18,88
			TOTAL SEM BDI:		358,32
			BDI:	0,00%	-
			TOTAL COM BDI:		358,32
			VALOR ADOTADO		358,32
Código: 890026	SUBSTITUIÇÃO OU ACRÉSCIMO DE ARMADURA PARA REPARO ESTRUTURAL	BDI: 0,00	UND: M2		
CÓDIGO	DESCRIÇÃO	UNIDADE	Qte	PREÇO UNITÁRIO	VALOR TOTAL
MA 41303	SUBSTITUIÇÃO OU ACRÉSCIMO DE ARMADURA PARA REPARO ESTRUTURAL	M2	1,25	40,52	50,74
			SUB-		50,74
			TOTAL SEM BDI:		50,74
			BDI:	0,00%	-
			TOTAL COM BDI:		50,74
			VALOR ADOTADO		50,74
Código: 050036	FORMA E ESCORAMENTO PARA REPARO ESTRUTURAL	BDI: 0,00	UND: M³		
CÓDIGO	DESCRIÇÃO	UNIDADE	Qte	PREÇO UNITÁRIO	VALOR TOTAL
CO 211147	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	HRS	1,76	11,95	21,07
CO 211177	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS	HRS	1,70	15,09	25,65
			SUB-		46,72
MA 4448	PEÇA DE MADEIRA NATIVA/REGIONAL 7,5 X 12,50 CM (3X5") NAO APARELHADA (P/FORMA)	M	2,00	13,95	27,90
MA 6189	TABUA MADEIRA 2A QUALIDADE 2,5 X 30,0CM (1 X 12") NAO APARELHADA	M	1,00	6,83	6,83
MA 680854	PREGO DE AÇO POLIDO COM CABECA 18 X 30 (2 3/4 X 10)	KG	0,15	9,04	1,36
			SUB-		36,09
			TOTAL SEM BDI:		82,81
			BDI:	0,00%	-
			TOTAL COM BDI:		82,81
			VALOR ADOTADO		82,81
Código: 200416	PREPARAÇÃO DO SUBSTRATO PARA REPARO EM ESTRUTURA DE CONCRETO COM APICOAMENTO MANUAL DE SUPERFÍCIE	BDI: 0,00	UND: M2		
CÓDIGO	DESCRIÇÃO	UNIDADE	Qte	PREÇO UNITÁRIO	VALOR TOTAL
CO 210866	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	HRS	4,20	11,90	50,01
			SUB-		50,01
			TOTAL SEM BDI:		50,01
			BDI:	0,00%	-
			TOTAL COM BDI:		50,01
			VALOR ADOTADO		50,01

Fonte: Cedido pela Construtora A. Gaspar S.A, (2017)

6.3 DESCRIÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DAS ETAPAS DOS SERVIÇOS EXECUTADOS.

A metodologia adotada para a execução da recuperação estrutural realizada pela construtora A.Gaspar S.A, foi seguida cuidadosamente como indicado pelo engenheiro projetista estrutural José Pereira da Silva sendo a ordem dos serviços citados abaixo, tendo pequena variação, a depender do elemento estrutural e/ou das condições da patologia.

- 1 O polimento, uma técnica que aplica no concreto com superfícies inaceitavelmente ásperas, visa reconduzir a superfície a sua textura original, lisa e sem partículas soltas, podendo ser manual ou mecanizada, como demonstrado na (Figura 59);
- 2 Limpeza das superfícies e especialmente das armaduras, com utilização de escovação manual ou mecanizada e lixamento, até que sejam removidas mossas ou saliências aderidas à superfície das armaduras;
- 3 Caso necessário, a introdução de armaduras de reforço em substituição àqueles que apresentam rompidas ou com insuficiente seção resistente que é quando apresenta perda de seccão maior do que 10% do diâmetro da barra de aço;
- 4 Aplicação de pintura protetora à base de zinco, em duas demãos e em todas as armaduras expostas, inclusive estribos como demonstrado na (Figura 60);
- 5 Preparo das fôrmas (no caso de grauteamento expansivo); esta etapa será dispensável no caso de reparo com graute tixotrópico evidenciado na (Figura 61); atestado a recuperação finalizada nas (Figuras 62; 63; 64 e 65);

Figura 59 – Retirada de concreto envolvente das armaduras em estado de corrosão



Fonte: Projeto Estrutural, cedido pela Construtora A. Gaspar S.A, (2017)

Figura 60 – Aplicação de pintura a base de zinco



Fonte: Projeto Estrutural, cedido pela Construtora A. Gaspar S.A, (2017)

Figura 61 – forma de madeira para encamisamento de viga de concreto



Fonte: Projeto Estrutural, cedido pela Construtora A. Gaspar S.A, (2017)

6.4 FECHAMENTO DA ÁREA RECUPERADA, COM GRAUTEAMENTO

Figura 62 – Serviço de recuperação finalizado e sinalizado para fiscalização



Fonte: Projeto Estrutural, cedido pela Construtora A. Gaspar S.A, (2017)

Figura 63 – Serviço de recuperação finalizado e sinalizado para fiscalização



Fonte: Projeto Estrutural, cedido pela Construtora A. Gaspar S.A, (2017)

Figura 64 – Serviço de recuperação finalizado em viga, sinalizado para fiscalização



Fonte: Projeto Estrutural, cedido pela Construtora A. Gaspar S.A, (2017)

Figura 65 – Serviço de recuperação finalizado em laje, sinalizado aguardando a fiscalização



Fonte: Projeto Estrutural, cedido pela Construtora A. Gaspar S.A, (2017)

7 RESULTADO E DISCUSSÕES

8 CONCLUSÕES

Como foi visto muitos são os problemas que podem surgir nas estruturas e que podem ser evitados caso haja um cuidado maior na elaboração de projetos e nas suas especificidades. É preciso conhecer a utilidade de cada estrutura levando em conta as intervenções necessárias, como a manutenção preventiva, para que ela cumpra com satisfação a sua aplicação. Além disso, é preciso também que um correto diagnóstico acompanhado da escolha correta para reparar problemas é que vai garantindo êxito no trabalho realizado e evitando intervenções inúteis.

Desta forma, este trabalho identificou-se as prováveis e principais causas, através da inspeção visual (vistorias) e levantamento de dados alcançado por entrevistas informais com o responsável da execução, da patologia de corrosão encontrada em estruturas de vigas e pilares.

Observa-se dos resultados apresentados que a manifestação patológica mais ocorrente foi a corrosão de armaduras. Em função do elevado grau de agressividade ambiental que é de III de acordo com a, (6118:2014), a corrosão de armaduras encontrou um ambiente totalmente propício para a sua incidência. A origem desta está ligada principalmente a falta de manutenção, por se tratar de um prédio que passou anos abandonado.

As fissuras também foram uma manifestação patológica bastante incidente. Essas também têm consequências graves na durabilidade das estruturas, pois são veículos de entrada de água e agentes agressivos (cloretos e gás carbônico) para o interior da massa de concreto, fazendo com que os fenômenos de degradação, como, por exemplo, a corrosão de armaduras aumente significativamente.

A falta de manutenções periódicas e preventivas, juntamente ao abandono por cerca de 10 anos contribuíram para a redução da vida útil da edificação. As inspeções técnicas e a estratégia de manutenção visou estabelecer a necessidade dos eventuais reparos, e quando estes devem suplantam o desempenho inicialmente esperado para a estrutura e, por fim, para que se mantenha ou até se estenda a vida útil da mesma. Por fim a recuperação foi detectada como economicamente viável, mediante um estudo prévio, e os resultados das recuperações foram satisfatórias.

Por meio das análises realizadas pode-se afirmar que a maioria dos danos que ocorreram nas estruturas poderiam ser minimizados caso houvesse um efetivo programa de manutenção preventiva das estruturas de concreto armado.

REFERENCIAS

AGUIAR, J.E. **Reparo, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. Belo Horizonte: Ao Livro Técnico S. A, 2011. 55 p.

ANDRADE; PERDRIX. **Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras**. 5. ed. Santa del Carmo: Ao Livro Técnico S. A, 1992. 356 p.

ARAÚJO, José Milton de. **CURSO DE CONCRETO ARMADO**. 3. ed. Rio Grande: Editora Dunas, 2014. 34 p. Disponível em: <<http://www.editoradunas.com.br/dunas/V3.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12654 (1992)**: Controle tecnológico de materiais componentes do concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 1992. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/5250346/nbr-12654---1992---controle-tecnologico-de-materiais-componentes-do-concreto>>. Acesso em: 11 set. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655 (2015)**: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. 3. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/17730645/nbr-12655---2015---concreto-de-cimento-portland---preparo-controle-aceitacao---p>>. Acesso em: 10 jul. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931 (2004)**: Execução de estruturas de concreto – Procedimento. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/2768906/nbr-14931---execucao-de-estruturas-de-concreto---procedimento>>. Acesso em: 18 maio 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2014. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/jonathanlopes9026/nbr-6118-2014-projeto-de-estruturas-de-concreto-procedimento-verso-corrigida>>. Acesso em: 15 maio 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: (1980 ERRATA 1:2000): Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123:** (1988 ERRATA 2:2013): Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 1988. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/4027615/nbr-6123---forcas-devidas-ao-vento-em-edificacoes?ordem=1>>. Acesso em: 25 ago. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7191 (1982):** Execução de desenhos para obras de concreto simples ou armado. Rio de Janeiro: ABNT, 1982. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/5360284/nbr-7191---execucao-de-desenhos-para-obras-de-concreto>>. Acesso em: 28 jun. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211:** Agregados para concreto – Especificação. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2009. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/17730500/nbr-7211---2005---agregados-para-concreto---especificacao>>. Acesso em: 25 out. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7480 (2007):** Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2007. Acesso em: 5 jul. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8548 (1984):** Barras de aço destinadas a armaduras para concreto armado com emenda mecânica ou por solda - Determinação da resistência à tração. Rio de Janeiro: ABNT, 1984. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/doc/225192531/NBR-8548-Barras-de-Aco-Destinadas-a-Armaduras-Para-Concreto-Armado-Com-Emenda-Mecanica-Ou-Por-s>>. Acesso em: 15 maio 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681 (2003):** Ações e segurança nas estruturas – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. Disponível em: <http://araguaia2.ufmt.br/professor/disciplina_arquivo/96/20111108148.pdf>. Acesso em: 5 jul. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8953(2015):** CONCRETO PARA FINS ESTRUTURAIS - CLASSIFICAÇÃO PELA MASSA ESPECÍFICA, POR GRUPOS DE RESISTÊNCIA E CONSISTÊNCIA. 3 ed. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico S. A, 2015. 3 p. Disponível em: <<file:///C:/Users/Cliente/Downloads/NBR%208953%202015%20Concreto%20Para%20Fins%20Estruturais.pdf>>. Acesso em: 23 mar. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9935:** AGREGADOS. 3 ed. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico S. A, 1987. 6 p. Disponível em: <[file:///C:/Users/Cliente/Downloads/NBR_9935_-_Agregados\[1\].pdf](file:///C:/Users/Cliente/Downloads/NBR_9935_-_Agregados[1].pdf)>. Acesso em: 8 fev. 2017.

BASTOS, Prof. Dr. Paulo Sérgio dos Santos. **FUNDAMENTOS DO CONCRETO ARMADO**. 2006. 96 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Bauru/sp, 2006. Cap. 10.

BENEVOLO, Leonardo. **História da Arquitetura Moderna**. 3. ed. São Paulo: Perspectiva, 1976. 326 p.

CÁNOVAS, Manuel Fernández. **Patología y Terapéutica del Hormigón Armado**. 2. ed. Madrid, España: Dossat, 1984. 620 p.

CASCUDO, O..**Inspeção e Diagnóstico de Estruturas de Concreto com Problemas de Corrosão da Armadura**. 4. ed. São Paulo: Ao Livro Técnico S. A, 2014. 437 p.

CONCRETO: MATERIAL CONSTRUTIVO MAIS CONSUMIDO NO MUNDO.

Campinas: Revista Oficial do Ibracon, v. 54, n. 53, 01 jan. 2009. Trimestral.

Disponívelem:<http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_53.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2018. DICAS DE COMO

ARMAZENAR O CIMENTO. Eng. Carlos, 2015. Disponível em:

<<http://engcarlos.com.br>>. Acesso em: 2 out. 2018.

COUTO, J. P. A. M. **Importância da revisão dos projectos na redução dos custos de manutenção das construções**. 8. ed. Coimbra: Ao Livro Técnico S. A, 2001. 85 p.

FORTES, F. J..**Patologia e terapêutica das construções: um panorama**.

Salvador: Ao Livro Técnico S. A, 1994. 70 p. Disponível em:

<https://www.aecweb.com.br/cont/a/panorama-da-edificacao-sob-a-otica-da-patologia_1276>. Acesso em: 5 maio 2018.

FREITAS, L. B..**Reforço de vigas de concreto armado ao esforço cortante com chapas de aço coladas**. 2005. 110 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007. Cap. 10.

GRANATO, J. E.. **Apostila: Patologia das construções**. 2. ed. São Paulo: Ao Livro Técnico S. A, 2002. 120 p

GONÇALVES, Eduardo Albuquerque Buys. **Estudo de patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações**. 2015. 174 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

HELENE, Paulo (Org.). **Manual de reparo, proteção e reforço de estruturas de concreto**. 2. ed. São Paulo: Rehabilitar, 2003.

JOHNSON, S. M. **Deterioro, conservacion y reparacion de estruetturas**. 8º Editorial Blumc, Madri d, 1973

MARCELLI, M. **Sinistros na construção civil: causas e soluções para danos e prejuízos em obras**. 3. ed. São Paulo: Editora Pini, 2007. 284 p.

MARQUES, Sara de Oliveira. **Estudo de caso: durabilidade em estruturas de concreto armado na antiga sede administrativa do TRE-RN**. 2016. 60 f. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto - Estrutura, Propriedades e Materiais**. 5. ed. São Paulo: Editora Pini, 2008. 454 p.

PORTLAND, Associação Brasileira de Cimento. **GUIA BÁSICO DE UTILIZAÇÃO DO CIMENTO PORTLAND**. 6. ed. São Paulo: Ao Livro Técnico S. A, 2003. 28 p. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/cms/wp-content/uploads/2016/05/BT106_2003.pdf>. Acesso em: 10 maio 2017.

PFEIL, Walter. **Concreto Armado Dimensionamento**. 5. ed. Santa Maria: Ao Livro Técnico S. A, 2014. 500 p.

PIANCASTELLI, E.M. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado**. Minas Gerais: Ao Livro Técnico S. A, 2014. 49 p.

RELVAS, Fernando José. **Curso de estruturas de concreto: projeto, execução e reparo. Reforço de peças de concreto armado, com chapas de aço**. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico S. A, 2004. 159 p.

RIGAZZO, Alexandre de Oliveira. **Reforço em pilares de concreto armado por cintamento externo com mantas flexíveis de fibras de carbono**. 2002. 180 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003. Cap. 10.

SALIBA JÚNIOR, Clémenceau Chiabi. **Técnicas de recuperação de estruturas de concreto armado sob efeito da corrosão das armaduras**. 2010. 50 f. Monografia (Especialização) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica, Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, Universidade Federal de Minas Gerais, Betim, 2010.

SANTOS, Camila Freitas dos. **Patologia de estruturas de concreto armado**. 2014. 91 f. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014. VAZIOS DE CONCRETAGEM. 2008. Disponível em: <<http://arci53.blogspot.com.br/2008/08/vazios-de-concretagem.html>>. Acesso em: 4 out. 2018.

SHEHATA, I. A. M.. **Reparo e reforço de estruturas de concreto armado e protendido**. 6. ed. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico S. A, 1998. 129 p.

Silva, JOSÉ PEREIRA(2017), **Referência projeto estrutural do Hotel Escola Senac Barreira Roxa - NATALRN**

SOUZA, Vicente Custodio Moreira de; RIPPER, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 3. ed. São Paulo: Editora Pini, 1998. 255 p.

TULA, L. S. **Contribuição ao estudo da resistência à corrosão de armaduras de aço inoxidável**. 2001. 157 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, USP, São Paulo, 2002. Cap. 10.

VASCONCELOS, Augusto Carlos de. **A ESCOLA BRASILEIRA DO CONCRETO ARMADO**. Brasil: Axis Mundi, 1992. 326 p

VOTORAÇO. **Catálogo da VOTORAÇO**. 2. ed. São Paulo: Ao Livro Técnico S. A, 2015. 36 p. Disponível em: <<https://www.aecweb.com.br/cls/catalogos/votoraco/catalogovotorantimsiderurgia.pdf>>. Acesso em: 8 fev. 2018.