

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL

**"ANÁLISE DE DESEMPENHO DOS MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO DE  
ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO DIAGNOSTICADAS COM CORROSÃO  
DE ARMADURAS"**

Autora: Monique Coutinho Nunes  
Orientadora: Profa. Adriana Guerra Gumieri  
Co-Orientador: Prof. José Márcio Fonseca Calixto

Belo Horizonte  
Agosto/2015

Monique Coutinho Nunes

**"ANÁLISE DE DESEMPENHO DOS MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO DE  
ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO DIAGNOSTICADAS COM CORROSÃO  
DE ARMADURAS"**

Dissertação apresentada a Escola de Engenharia da  
Universidade Federal de Minas Gerais como parte dos  
requisitos para obtenção do título de Mestre em  
Construção Civil. Área de concentração: Materiais de  
Construção Civil. Linha de pesquisa: Materiais cimentícios.

Orientadora: Profa. Adriana Guerra Gumieri  
Co-Orientador: Prof. José Márcio Fonseca Calixto

Belo Horizonte  
Escola de Engenharia da UFMG  
2015

N973a

Nunes, Monique Coutinho.

Análise de desempenho dos métodos de recuperação de estruturas de concreto armado diagnosticadas com corrosão de armaduras [manuscrito] / Monique Coutinho Nunes. – 2015.  
xiv, 125 f., enc.: il.

Orientadora: Adriana Guerra Gumieri.

Coorientador: José Márcio Fonseca Calixto.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Anexos: f.118-125.

Bibliografia: f. 111-117.

1. Construção civil - Teses. 2. Materiais de construção - Teses.  
3. Concreto armado - Teses. 4. Patologia de construção - Teses.  
I. Gumieri, Adriana Guerra. II. Calixto, José Márcio Fonseca, 1957-  
III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia.  
IV. Título.


CDU: 691(043)

Monique Coutinho Nunes


**"ANÁLISE DE DESEMPENHO DOS MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO DE  
ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO DIAGNOSTICADAS COM CORROSÃO  
DE ARMADURAS"**

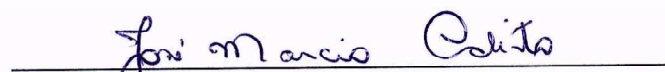
Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Construção Civil e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Construção Civil do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais

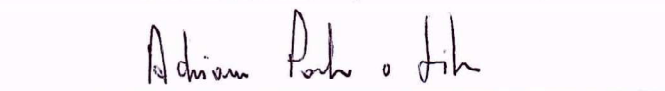
Belo Horizonte, 18 de agosto de 2015


  
Prof. Maria Teresa Paulino Aguilár  
Coordenador do Programa de Pós-graduação em Construção Civil

BANCA EXAMINADORA

  
Prof. Adriana Guerra Gumieri  
Orientadora - (UFMG/DEMC)

  
Prof. José Márcio Fonseca Calixto  
Co-Orientador - (UFMG/DEMC)

  
Prof. Adriano de Paula e Silva  
(UFMG/DEMC)

  
Prof. Sebastião Salvador Real Pereira  
(UFMG/DEES)

Dedico este trabalho à Melissa,  
minha flor.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos professores Adriana Guerra Gumieri e José Marcio Fonseca Calixto, pela orientação ao longo de todo o período do mestrado, nas etapas iniciais de disciplinas e tarefas acadêmicas, na definição do projeto e compreensão na mudança de tema, na contribuição na obtenção de boas referências, atenção e disponibilidade, mesmo que à distância.

À toda a equipe de professores do Programa de Pós-graduação em Construção Civil do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), pelas excelentes aulas ministradas durante a etapa inicial do mestrado, contribuindo imensamente para este trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro durante meu período de bolsista do PPGCC.

Aos meus pais, pela preocupação e esforço na minha educação.

Por fim, agradeço especialmente ao meu marido e à minha filha, pelo apoio incondicional, compreensão, incentivo e carinho, fazendo desta uma conquista nossa.

*“Aponta pra fé... e rema!”*

## RESUMO

A eficácia de uma recuperação em estruturas de concreto deterioradas por corrosão das armaduras depende, fundamentalmente, da escolha consciente e acertada do procedimento de reparo. Apesar de existir uma vasta bibliografia relacionada aos métodos de recuperação, a experiência acumulada sobre o desempenho de tais métodos é bastante limitada, assim como a durabilidade efetiva das intervenções. Diante desse contexto, este trabalho buscou, através de pesquisa bibliográfica e estudo de caso, contribuir com o estudo de desempenho dos métodos de recuperação correntes. Edificações foram vistoriadas aproximadamente 15 anos após a execução dos reparos, os quais foram feitos utilizando a técnica tradicional de remoção do material deteriorado e recomposição das peças estruturais. Concluiu-se que o método tradicional não encerrou definitivamente a patologia, mas promoveu um acréscimo de vida útil considerável.

Palavras-chaves: corrosão das armaduras, recuperação de estruturas de concreto, desempenho, patologia das construções.



## **ABSTRACT**

The effectiveness of repairs in concrete structures damaged by reinforcement corrosion depends, fundamentally, on the right choice of the repair procedure. Although there is a vast literature related to recovery methods, the experience on the performance of such methods is quite limited, as the effective durability of the interventions. In this context, this study aimed, through literature review and case study, to contribute to the performance study of current repair methods. Structures were inspected about 15 years after the repairs were executed, which were done by the traditional technique: removal of damaged materials and restoring the elements. It was concluded that the traditional method did not correct the pathology definitively, but promoted a considerable lifetime increase.

Keywords: reinforcement corrosion, structural repair, performance.

# SUMÁRIO

Sumário.....	ix
Lista de Figuras.....	xi
Lista de Tabelas.....	xiii
Lista de Notações, Abreviaturas.....	xiv
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 Considerações iniciais.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivo Geral.....	2
1.2.2 Objetivos Específicos.....	2
1.3 Justificativa.....	2
1.4 Organização do trabalho.....	3
<b>2 MECANISMOS DE DETERIORAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO.....</b>	<b>5</b>
2.1 Mecanismos de deterioração relativos ao concreto.....	5
2.2 Mecanismos de deterioração relativos à armadura.....	6
2.3 Corrosão de armaduras.....	6
2.3.1 Despassivação por Carbonatação.....	7
2.3.2 Despassivação por Cloretos.....	11
2.3.3 Corrosão das armaduras – Fase de propagação.....	13
<b>3 RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO.....</b>	<b>18</b>
3.1 Método Tradicional – Remoção e Substituição.....	19
3.1.1 Remoção.....	19
3.1.2 Limpeza.....	24
3.1.3 Proteção das Armaduras.....	26
3.1.4 Preparação do substrato para receber o material de reparo.....	31
3.1.5 Materiais e técnicas para recompor a peça.....	32
3.1.6 Proteção superficial do concreto.....	39
3.2 Métodos Eletroquímicos.....	43
3.2.1 Recalcalinização.....	44
3.2.2 Extração de Cloretos.....	46
3.2.3 Proteção catódica por corrente impressa.....	48
3.2.4 Ânodo de sacrifício – Proteção galvânica.....	49
<b>4 METODOLOGIA.....</b>	<b>53</b>
<b>5 ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>56</b>
5.1 Anamnese.....	56

5.2	Inspeção e análise feitas por empresa contratada .....	57
5.3	Projeto de Recuperação .....	65
5.3.1	Projeto de recuperação localizada .....	66
5.3.2	Projeto de recuperação generalizada .....	68
5.3.3	Projeto de tratamento de fissuras .....	70
5.3.4	Execução do projeto de recuperação .....	70
5.4	Situação atual dos edifícios.....	72
5.4.1	Análise crítica do projeto de recuperação e de sua execução.....	72
5.4.2	Inspeção detalhada dos edifícios .....	77
5.5	Considerações sobre a eficiência das soluções adotadas .....	91
5.5.1	Considerações sobre o reparo localizado .....	92
5.5.2	Considerações sobre o reparo generalizado .....	101
5.5.3	Considerações sobre as etapas de recuperação.....	104
6	CONCLUSÕES .....	108
6.1	Sugestões para trabalhos futuros.....	110
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	111
	ANEXO A – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE POTENCIAL DE CORROSÃO.....	118
	ANEXO B – MAPEAMENTO DAS VIGAS VIERENDEEL EM 2000 .....	120
	ANEXO C – MAPEAMENTO DAS VIGAS VIERENDEEL EM 2015. ....	123

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Diagrama simplificado de Pourbaix para o Fe a 25° C.....	7
Figura 2- Corpo de prova carbonatado após aspersão da fenolftaleína.....	10
Figura 3- Pilha de corrosão.....	14
Figura 4- Efeitos da Corrosão.....	15
Figura 5- Aspecto das corrosões generalizada (a) e localizada (b). ....	16
Figura 6- Delimitação da área a ser removida.....	20
Figura 7- Escarificação manual.....	21
Figura 8- Escarificação mecânica.....	22
Figura 9- Máquina de corte com disco diamantado.....	23
Figura 10- Métodos de proteção da corrosão em armaduras.....	26
Figura 11- Falhas no revestimento devido a dobra do aço.....	28
Figura 12- Colocação do concreto de forma convencional.....	33
Figura 13- Colocação do concreto por bombeamento na forma.....	34
Figura 14- Colocação manual de argamassa.....	35
Figura 15- “Dry-pack”.....	35
Figura 16- Procedimento com uso de agregado pré colocado.....	36
Figura 17- Mecanismos de ação dos materiais de proteção superficial: (a) formadores de película, (b) bloqueadores de poros e (c) hidrofugantes.....	40
Figura 18- Esquema de Realcalinização Química.....	44
Figura 19- Esquema da Realcalinização Eletroquímica.....	45
Figura 20- Esquema da extração eletroquímica de cloretos.....	47
Figura 21- Ânodos de sacrifício discretos.....	51
Figura 22- Capas metálicas aplicadas por spray.....	52
Figura 23 – Organograma do projeto.....	53
Figura 24- Vigas Vierendeel em 2000 - (a) infiltração e fungos, (b) e (c) destacamento do concreto e armadura exposta.....	58
Figura 25- Laje do prédio principal em 2000 – (a) cobertura quase nulo, (b) armadura exposta, (c) fissura, (d) comprometimento próximo à luminária e (e) junta de dilatação deteriorada com armadura exposta.....	59
Figura 26 - Mapeamento das Vigas Vierendeel - Eixo 1 – Ano 2000.....	59
Figura 27- Mapeamento das anomalias da face inferior das lajes do prédio principal – Ano 2000.....	60
Figura 28- Prédio de Apoio em 2000 – (a) Infiltração e estalactites, (b) Armaduras corroídas, (c) Corrosão de armaduras, manchas e infiltração abaixo da cozinha, (d) Cobrimento quase nulo.....	61
Figura 29- Mapeamento das anomalias do prédio de apoio.....	62
Figura 30- Projeto de corte da estrutura do prédio de apoio.....	68
Figura 31- Detalhe de projeto para reforço de armadura e colocação de tela.....	69
Figura 32- Detalhe de projeto da estrutura após o jateamento.....	70
Figura 33- Eixos de Vigas Vierendeel mapeadas.....	78
Figura 34- Mapeamento das Vigas do eixo 3 em 2015.....	79
Figura 35- Manifestações patológicas nas vigas Vierendeel de dano médio: (a, b, c) fissuras e deslocamentos parciais do concreto, (d) fissura longitudinal à armadura com manchas de infiltração, (e) detalhe do encontro entre a tubulação e a viga.....	80
Figura 36- Manifestações patológicas nas vigas Vierendeel de dano grave: (a, f) fissuras, (b, e) exposição da armadura, (c, d) deslocamento do concreto.....	81
Figura 37- Manifestações patológicas nas vigas Vierendeel de dano muito grave: (a, b) armadura corroída abaixo da tubulação e (c) adjacente à junta de dilatação.....	82

Figura 38- Medida da espessura de cobertura nas vigas Vierendeel.....	83
Figura 39- Mapeamento das anomalias das lajes do prédio principal.....	84
Figura 40- Manifestações patológicas nas lajes do prédio principal de dano leve: (a) mancha de corrosão, (b) detalhe da infiltração na luminária, (c) mancha de infiltração.....	86
Figura 41- Manifestações patológicas nas lajes do prédio principal de dano médio: (a) fissura com mancha de corrosão, (b) mancha de corrosão e infiltração acentuada próximo à luminária, (c) infiltração com fissura e mancha de corrosão.....	86
Figura 42- Manifestações patológicas nas lajes do prédio principal de dano grave: (a) armadura exposta adjacente à junta de dilatação e (b) à luminária.....	87
Figura 43- Mapeamento das anomalias das lajes do prédio de apoio.....	88
Figura 44- Manifestações patológicas nas lajes do prédio principal de dano (a, b) leve, (c, d) médio e (e) grave.....	90
Figura 45- Manifestações patológicas nas lajes do prédio principal de dano muito grave: (a) detalhe de infiltração na passagem da tubulação, (b) infiltração generalizada com manchas de corrosão, (c) infiltração generalizada e viga com armadura exposta e corroída.....	91
Figura 46- Comparação das Vigas Vierendeel antes e depois da recuperação: (a) Eixo 1 (b) Eixo 10.....	93
Figura 47- Comparação das Vigas Vierendeel antes e depois da recuperação: (a) Eixo 6 (b) Eixo 11, (c) Eixo 16.....	94
Figura 48- Comparação dos mapas das Vigas Vierendeel: eixo 8.....	95
Figura 49- Comparação das manifestações patológicas das Vigas Vierendeel: (a) viga em 2000, (b) viga em 2015, (c) área com deslocamento parcial, (d) mesma área após percussão.....	96
Figura 50- Comparação das manifestações patológicas das Vigas Vierendeel – detalhe da passagem de tubulação: (a) deterioração em 2000, (b) deslocamento em 2015, (c) infiltração em 2015.....	97
Figura 51- Comparação dos mapas das lajes do prédio principal.....	99
Figura 52- Comparação das manifestações patológicas das lajes do prédio principal: (a) armadura exposta em 2000, (b) fissura em 2000, (c) e (d) anomalias adjacentes à luminária em 2000, (e) fissura em 2015, (f) e (g) anomalias adjacentes à luminária em 2015, (h) anomalia adjacente à junta de dilatação em 2000, (i) anomalia adjacente à junta de dilatação em 2015.....	101
Figura 53- Comparação dos mapas das lajes do prédio de apoio.....	102
Figura 54- Lajes da parte superior do prédio principal.....	103
Figura 55- Comparação das manifestações patológicas das lajes do prédio principal: (a, b, c) fotos da estrutura em 2000, (d, e) fotos da estrutura em 2015.....	104
Figura 56- Desempenho de uma estrutura ao longo do tempo.....	106

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Concentrações médias de CO <sub>2</sub> no ar para tipo de ambiente.....	9
Tabela 2- Teor limite de íons cloreto.....	11
Tabela 3- Espessura de reparo para cada material.....	39
Tabela 4- Resultado dos ensaios de carbonatação realizado pela empresa em 2000. ....	63
Tabela 5- Resultado dos ensaios de teor de cloretos realizado pela empresa em 2000.....	64
Tabela 6- Nível de danos das estruturas. ....	77
Tabela 7- Percentual das anomalias nas vigas (2015). ....	79
Tabela 8- Percentual das anomalias na laje do prédio principal (2015). ....	85
Tabela 9- Percentual das anomalias na laje do prédio de apoio (2015). ....	89
Tabela 10- Comparativo dos percentuais de anomalias nas vigas do prédio principal nos anos de 2000 e 2015.....	92
Tabela 11- Comparativo dos percentuais de anomalias nas lajes do prédio principal nos anos de 2000 e 2015. ....	98
Tabela 12- Comparativo dos percentuais de anomalias nas lajes do prédio de apoio nos anos de 2000 e 2015. ....	104

## LISTA DE NOTAÇÕES, ABREVIATURAS

ABNT = Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACI = American Concrete Institute

a/c = água/cimento

ASTM = American Society for Testing and Materials

CA = Concreto Armado

CREA-RJ = Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio de Janeiro

CEB = Comité Euro-Internacional du Béton

ELU = Estado Limite Último

ELS = Estado Limite de Serviço

FIB = Fédération Internationale du Béton

ISO = International Organization for Standardization

LTVP = Laudo Técnico de Vistoria Predial

NBR = Norma Brasileira Registrada

pH = potencial Hidrogeniônico

RILEM = International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures

VU = Vida Útil

VUP = Vida Útil de Projeto

VUR = Vida Útil Residual

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Considerações iniciais

O concreto é reconhecidamente um material de construção durável, em especial em uma análise de custo-benefício (LIMA, 2011), e vem sendo utilizado em larga escala no mercado, sendo, atualmente, o material de construção mais utilizado do mundo. A demanda pelo estudo da durabilidade e métodos de degradação das estruturas é então uma tendência crescente e natural, dada a sua importância nos pontos de vista ambiental e econômico.

O estudo da durabilidade das estruturas de concreto tem evoluído consideravelmente ao longo dos anos, graças ao maior conhecimento dos mecanismos de transporte de líquidos e gases através dos poros (MEDEIROS *et al*, 2011), modo como atuam os agentes agressivos no concreto. Normas nacionais e internacionais trazem recomendações sobre o assunto, porém, ainda há muito a ser aprimorado, e, principalmente, nas fases de projeto, execução e uso das estruturas reais.

Ainda com vistas à durabilidade, fica cada vez mais claro a necessidade de fazer um acompanhamento da estrutura durante toda a sua vida útil, estabelecendo um plano de manutenção e prazos máximos para inspeções e vistorias nas mesmas. Além disso, inspeções são essenciais para a verificação das condições da estrutura, a fim de identificar possíveis danos e executar reparos quando necessário.

Um dos maiores e mais frequentes problemas na durabilidade de uma estrutura de concreto armado é a corrosão do aço das armaduras. Este é um fenômeno patológico que vem sendo investigado em larga escala no Brasil e no exterior, dado o risco que o mesmo oferece a essas estruturas.

O método mais comum de recuperação de estruturas de concreto com problemas relacionados à corrosão das armaduras envolve a remoção localizada da área deteriorada e substituição por materiais de reparo apropriados. Porém, não existem no Brasil normas que especifiquem ou controlem materiais e métodos de reparos, nem tampouco resultados a longo prazo que comprovem a eficácia da maioria desses métodos.



O êxito da recuperação de estruturas de concreto deterioradas por corrosão das armaduras depende fundamentalmente do correto diagnóstico da patologia, da avaliação da extensão dos danos e de uma acertada escolha do procedimento de reparo (QUESADA, 2003). Para isso, a cada dia surgem novos materiais de reparo, acompanhados de novas técnicas de execução, baseados principalmente na experiência dos fabricantes e técnicos.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar a eficácia dos métodos de reparo correntes em estruturas de concreto armado deterioradas por corrosão das armaduras, através de pesquisa bibliográfica e constatação de performances em campo.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Seguir correta trajetória para a avaliação do desempenho de métodos de recuperação, através de pesquisa bibliográfica, análise de manifestações patológicas, anamnese e diagnóstico das causas;
- Listar os métodos de reparo utilizados atualmente para o tratamento de estruturas deterioradas por corrosão de armaduras, com considerações sobre a eficácia reportadas na literatura;
- Contribuir com o estudo do desempenho de métodos de recuperação através de vistorias em estudo de caso;

## 1.3 Justificativa

O conhecimento da durabilidade das estruturas de concreto é fundamental para a previsão do comportamento do concreto a longo prazo, prevenir manifestações patológicas precoces e definir planos de reparo e manutenção, de forma a contribuir para a economia e sustentabilidade das estruturas (MEDEIROS *et al*, 2011). Em função da quantidade de danos que ocorrem nas estruturas devido à corrosão das armaduras, tal fenômeno é alvo de constantes estudos de uma boa parcela da comunidade técnico-científica mundial (ANDRADE, 2001).

De acordo com a NBR 5674 (ABNT, 1999), é inviável, sob o ponto de vista econômico, e inaceitável, sob o ponto de vista ambiental, considerar as edificações como produtos

descartáveis, ou seja, passíveis de simples substituição por novas construções quando seu desempenho atinge baixos níveis. Isto exige que se tenha em conta a manutenção e recuperação das edificações existentes.

Apesar dos métodos de recuperação de estruturas de concreto serem extremamente necessários, e a cada dia adquirirem maior importância, há muitas incertezas com relação à confiabilidade da efetividade dos métodos quando executados em campo (QUESADA, 2003). Existe grande bibliografia relacionada a métodos de reparos das estruturas, além de inúmeras estruturas que já foram recuperadas, porém, a experiência acumulada sobre o desempenho de tais métodos é bastante limitada, assim como a durabilidade das intervenções.

A falta de normalização e experiência científica acumulada registrada conduz ao uso de materiais de reparo com base apenas em recomendações fornecidas pelos fabricantes, mostrando a necessidade de um maior número de pesquisas acadêmicas sobre o assunto (GALLETTO, 2005). Em geral, os ensaios de desempenho dos materiais são executados em laboratório, necessitando ser complementados com a realização de ensaios ao longo da vida útil em campo (LOURENÇO E SOUZA, 2014).

Soma-se a isso o fato de que a recuperação de estruturas de concreto com armaduras corroídas é muitas vezes problemática e onerosa. Os materiais utilizados são, na maioria das vezes, mais caros que os da construção em si, além da necessidade de mão de obra especializada para determinados serviços. É economicamente irresponsável utilizar um material sem um indicativo de desempenho e durabilidade do mesmo em serviço.

É preciso que se tenham comprovações em campo para que se possa julgar a qualidade a longo prazo dos materiais e técnicas, de modo a obter subsídios na tomada de decisões (TINOCO e FIGUEIREDO, 2002) e evitar o retorno das manifestações patológicas em um intervalo de tempo menor do que o previsto.

#### 1.4 Organização do trabalho

Esta dissertação é composta de oito capítulos, sendo o primeiro esta introdução com objetivos e justificativa do trabalho.

O segundo capítulo traz uma breve revisão sobre os mecanismos de deterioração de estruturas de concreto, com maior detalhamento no mecanismo de corrosão das armaduras, patologia foco

deste trabalho. A fase de despassivação da armadura, assim como a fase de propagação da corrosão são abordadas, além das manifestações patológicas típicas associadas.

O terceiro capítulo trata dos aspectos de durabilidade das estruturas de concreto armado, com foco naquelas susceptíveis à corrosão de armaduras. Orientações de normas nacionais e internacionais são reproduzidas, assim como de outras fontes científicas. Estratégias de como inspecionar e avaliar uma estrutura são sugeridas, de forma a subsidiar o diagnóstico de patologias e a decisão de recuperar ou não a mesma.

O quarto capítulo lista os principais métodos de recuperação de estruturas de concreto armado diagnosticadas com corrosão de armaduras, dividindo-os em métodos tradicionais e eletroquímicos. Os materiais e técnicas são apresentados, com orientações sobre como e quando é aconselhado o seu uso, baseado em suas propriedades. Em cada caso, procurou-se relatos na literatura sobre o seu desempenho e durabilidade em serviço.

O quinto capítulo apresenta a metodologia utilizada no estudo de caso escolhido, com sua respectiva divisão em etapas.

O sexto capítulo é composto pelo desenvolvimento do estudo de caso em campo. Neste, é apresentada a caracterização da estrutura nos aspectos relevantes ao estudo, além do histórico de intervenções da mesma. São feitas considerações sobre os métodos de recuperação adotados pelos projetistas e, após relatos da vistoria da estrutura recuperada, sobre a eficiência das soluções.

O sétimo capítulo é destinado às conclusões do trabalho, assim como às sugestões para trabalhos futuros.

## 2 MECANISMOS DE DETERIORAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Os mecanismos de deterioração das estruturas de concreto são inúmeros, estando os mais importantes descritos nas normas NBR 6118 (ABNT, 2014) e NBR 12655 (ABNT, 2006). Esses serão aqui abordados de maneira geral. Maior ênfase será dada para o mecanismo de corrosão das armaduras, o qual será objeto de estudo deste trabalho.

Tais mecanismos podem ser divididos em mecanismos de deterioração da estrutura propriamente dita, de mecanismos de deterioração relativos à armadura (ativos e/ou passivos), e de mecanismos de deterioração relativos ao concreto (MEDEIROS *et al*, 2011). Os principais mecanismos que ocorrem no Brasil, amplamente abordados na literatura, estão listados a seguir.

### 2.1 Mecanismos de deterioração relativos ao concreto

#### a) Desgaste superficial:

O desgaste superficial do concreto pode ser causado por abrasão, erosão e cavitação. A abrasão é o efeito do atrito de veículos ou máquinas em movimento ou da incidência de partículas secas em alta velocidade; a erosão corresponde ao efeito causado por partículas em suspensão e em movimento em meio aquoso; e, a cavitação relaciona-se à formação de bolhas de vapor provocadas pelo abaixamento da pressão em regiões onde há um aumento elevado na velocidade de escoamento do líquido. Tais fenômenos provocam a perda gradual e continuada da argamassa superficial do concreto (PRISZKULNIK, 2011).

#### b) Lixiviação:

Águas puras, quando em contato com o concreto, possuem capacidade de dissolver a matriz de cimento, por hidrólise, principalmente os íons OH<sup>-</sup>. Os efeitos da lixiviação incluem o aumento da porosidade e diminuição da resistência mecânica do compósito, assim como a eflorescência, efeito estético observado na superfície do concreto na forma de crostas brancas de carbonato de cálcio, provenientes da reação dos produtos lixiviados com os componentes do ar atmosférico (PRISZKULNIK, 2011).

#### c) Ataque de sulfatos:

O ataque acontece quando os concretos, depois de endurecidos, são expostos a íons sulfato provenientes de fontes externas ou até mesmo internas. De modo geral, os íons sulfato reagem

com o monossulfoaluminato hidratado e a portlandita presentes na estrutura da pasta, formando a etringita tardia, produto extremamente expansivo (PRISZKULNIK, 2011). A expansão provoca fissuração na massa endurecida e degradação do material.

d) Reação álcali-agregado:

É a reação química que ocorre internamente no concreto envolvendo a sílica ou carbonatos presentes em alguns agregados reativos e os álcalis (derivados do sódio e potássio) presentes na solução dos poros do concreto. A reação ocorre na presença de umidade, formando produtos expansivos que causam tensões internas, fissurações e deslocamentos (HASPARYK, 2011).

## 2.2 Mecanismos de deterioração relativos à armadura

a) Corrosão:

É um fenômeno de natureza eletroquímica que ocorre na presença de água, oxigênio, e o estabelecimento de uma célula de corrosão, após a despassivação da armadura (HELENE, 1992). Esse fenômeno é foco deste trabalho, e será detalhadamente explicado em itens seguintes.

## 2.3 Corrosão de armaduras

O processo de corrosão ataca diretamente as armaduras, ainda que a expansão causada pelo fenômeno possa provocar fissurações, manchas e outras manifestações patológicas no concreto em si.

O diagrama de Pourbaix, apresentado na Figura 1, estabelece as condições de pH e potencial na qual o ferro se corroe, se passiva ou permanece imune. No estado de passividade, o metal se recobre de uma capa de óxidos, transparente, imperceptível e que atua como barreira impedindo a oxidação (ANDRADE, 1996).

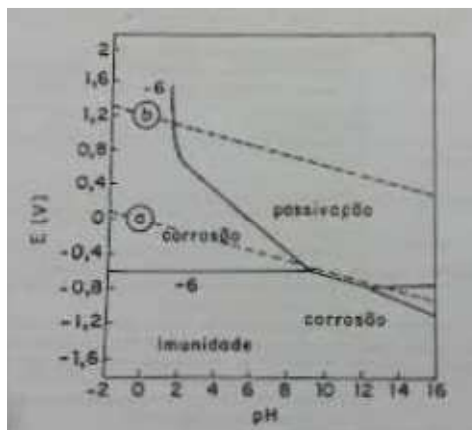


Figura 1- Diagrama simplificado de Pourbaix para o Fe a 25° C.

(FONTE: ANDRADE, 1996.)

Teoricamente, as armaduras das estruturas de concreto com adequado cobrimento não seriam susceptíveis à corrosão devido à alta alcalinidade do concreto ( $\text{pH} > 12$ ), a qual forma o filme que funciona como uma camada passivadora na superfície do aço. Porém, a carbonatação e a presença de íons cloretos podem destruir esse filme protetor (ACI 365.1R, 2000).

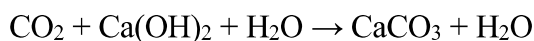
A corrosão, que convencionalmente ataca as armaduras de aço do concreto armado, é um processo eletroquímico, podendo ser tanto pontual como generalizada. Para que esse processo ocorra, faz-se necessária a presença de água e oxigênio (ACI 365.1R, 2000).

Diante do exposto, cabe reforçar que o processo de corrosão das armaduras nas estruturas de concreto armado acontece se, e somente se, houver a prévia despassivação por carbonatação ou cloretos, e a presença de água e oxigênio. Alguns estudiosos chamam essa etapa de fase de iniciação, em que nenhuma anomalia é observada, mas ocorre a destruição das barreiras que protegem o concreto. A corrosão propriamente dita é chamada de fase de propagação, em que o processo de deterioração realmente ocorre, e que provoca as manifestações patológicas observadas na estrutura (CALIXTO, 2012).

### 2.3.1 Despassivação por Carbonatação

A carbonatação consiste em transformar íons alcalinos, sobretudo os cátions de cálcio, em sais de carbonatos desses elementos, pela ação do dióxido de carbono presente no ar (CASCUDO e CASAREK, 2011). É

O mecanismo do processo tem sua reação básica simplificada como segue (HELENE, 1986):



Equação 1

Além do hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), o  $\text{CO}_2$  pode reagir também com os silicatos e aluminatos presentes nos poros, ou ainda com outros álcalis (sódio e potássio). Porém, a carbonatação mais relevante é a do hidróxido de cálcio, uma vez que esse é o produto de hidratação do cimento mais solúvel e que reage mais rapidamente com o  $\text{CO}_2$  (CASCUDO e CASAREK, 2011).

A alcalinidade da estrutura interna do concreto é proveniente do alto pH da solução de seus poros, normalmente entre 12,5 a 13,5 (CASCUDO e CASAREK, 2011). A medida que o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) penetra no concreto e a reação de carbonatação vai acontecendo, o pH vai sendo diminuído para valores abaixo de 9 (RIBEIRO e CUNHA, 2014). Desta forma, o concreto que está em processo de carbonatação apresenta uma “linha” que separa duas zonas com pH muito diferentes, uma com pH menor que 9 (carbonatado) e outra com pH maior que 12 (não carbonatada). Essa “linha” é chamada de frente de carbonatação, a qual deve sempre ser mensurada com relação à espessura de cobrimento da armadura (CASCUDO, 1997).

Outro efeito da carbonatação é a potencialização do ataque de cloretos. A redução do pH promove a quebra de ligações entre o  $\text{C}_3\text{A}$  da matriz do concreto e os cloretos, deixando-os disponíveis para acelerar o processo corrosivo (RIBEIRO e CUNHA, 2014). O risco de corrosão por ação de cloretos chega a ser 4 vezes maior em um concreto carbonatado (SOUZA E RIPPER, 1998).

A velocidade de penetração da frente de carbonatação depende de diversos fatores, e, felizmente, tende a diminuir com o tempo, pois, com o processo, há uma colmatação e preenchimento gradual dos poros decorrente da precipitação do  $\text{CaCO}_3$ . Em concreto de qualidade média, foi observado que a velocidade da carbonatação varia entre 1 e 3 mm por ano (SILVA, 1995 *apud* AGUIAR, 2006)

O avanço do gás carbônico para as camadas mais profundas do concreto dá-se pelo mecanismo de difusão, sendo fortemente influenciado por parâmetros que definem a permeabilidade do material, como a relação água/cimento, consumo de cimento, uso de adições, cura, compactação, etc. (CASCUDO e CARASEK, 2011).

Dada a sua influência na porosidade do concreto, é fácil concluir que quanto maior a relação a/c, maior será a velocidade da carbonatação. A profundidade de carbonatação de concretos

com relação água/cimento iguais a 0,80, 0,60 e 0,45, em média, está na relação 4:2:1 (RIBEIRO e CUNHA, 2014).

Da mesma forma, quanto maior o consumo de cimento, menor a velocidade de carbonatação. Acrescenta-se ao fator da permeabilidade, nesse caso, a reserva alcalina, que é tanto maior quanto maior for o teor de cimento (e conseqüentemente de hidróxido de cálcio). O  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  atua como uma reserva de alcalinidade, pelo menos temporariamente, à medida que se dissolve (CASCUDO e CARASEK, 2011).

Ainda sobre a reserva alcalina, há diversos estudos comprovando o avanço da profundidade de carbonatação com o uso de adições minerais, exatamente pela redução dessa reserva. Por outro lado, as adições apresentam um efeito filer e pozolânico, diminuindo a permeabilidade e, conseqüentemente, retardando a carbonatação. É necessário um estudo caso a caso para saber qual será o efeito preponderante (CASCUDO e CARASEK, 2011).

Um dos aspectos mais importantes a ser considerado é a espessura do cobrimento. Um aumento na espessura equivale a um aumento na barreira física que impede que a frente de carbonatação atinja a armadura, desde que essa camada seja bem dosada, com procedimentos corretos de cura e compactação (ACI 365.1R, 2000).

Além das características do concreto, a velocidade de penetração depende também das características do ambiente em que este se encontra, como a umidade e a concentração de  $\text{CO}_2$  (ACI 365.1R, 2000). Alguns autores concordam, com pequenas variações para mais ou para menos, que as maiores taxas de carbonatação acontecem com umidades entre 50 e 70% (AGUIAR, 2006; ACI 201.2R, 2008). É óbvio que a carbonatação é agravada quanto maior o teor de  $\text{CO}_2$  no ar. Neville (1997, *apud* CASCUDO e CARASEK, 2011) apresenta uma tabela com as concentrações médias de  $\text{CO}_2$  no ar para cada tipo de ambiente (Tabela 1), exposta a seguir.

Tabela 1- Concentrações médias de  $\text{CO}_2$  no ar para tipo de ambiente.

Concentração de $\text{CO}_2$ no ar (em volume)	Tipo de Ambiente
0,03%	Ambiente rural
0,1%	Ambiente de laboratório (não ventilado)
0,3%	Ambiente urbano
1,0%	Ambiente urbano-industrial

FONTE: CASCUDO E CARASEK, 2011.



Cabe salientar que as fissuras podem ter efeito determinante na carbonatação, nos casos em que a abertura seja significativa ( $> 0,4\text{mm}$ ), visto que estas abrem caminho para o avanço do  $\text{CO}_2$  (SOUZA e RIPPER, 1998).

A comprovação das áreas carbonatadas pode ser feita através de ensaios de campo e laboratório como a difração de Raios-X, análise térmica diferencial, termografia e observação microscópica. A comprovação mais corrente, porém, é através de indicadores de pH a base de fenolftaleína ou timolftaleína (AGUIAR, 2006)

O pH teórico de modificação da fenolftaleína é 9,3 (cor violeta), sendo incolor abaixo desse valor. Dessa forma, a cor do concreto após o ensaio indica a frente de carbonatação, sendo incolor a zona carbonatada, e violeta o concreto não, conforme Figura 2. Em geral, aplica-se uma solução de 1g de fenolftaleína dissolvida em 50g de álcool e 50g de água (HELENE, 1986). Alguns documentos orientam a determinação da profundidade de carbonatação como CPC 18 da RILEM, BRE Digest 405 ou DRAFT EN 14630. (RIBEIRO e CUNHA, 2014).



Figura 2- Corpo de prova carbonatado após aspersão da fenolftaleína.

(FONTE: WERLE *et al*, 2011.)

A carbonatação pode ainda ser estimada através de métodos acelerados como as câmaras de carbonatação, que visam reproduzir um ambiente favorável à ocorrência das reações de carbonatação no concreto. A falta de normalização nacional para esse ensaio faz com que os procedimentos utilizados sejam muito variados, com parâmetros característicos muito diferentes (CASCUDO e CARASEK, 2011), dificultando assim a comparação dos dados e avanço nas pesquisas.

### 2.3.2 Despassivação por Cloretos

Íons cloretos são comuns na natureza e pequenas quantidades podem ser incorporadas, sem intenção, nos componentes ainda na execução do concreto, como em agregados contaminados, água de amassamento e/ou aditivos. Além das fontes mais conhecidas, água do mar e atmosfera marinha, os sais de degelo (em países de clima frio) e o ácido muriático (usado na limpeza de pisos e fachadas) são potenciais fontes externas de cloretos (ACI 365.1R, 2000).

De acordo com Almeida e Sales (2014), o cloreto pode ser encontrado no concreto de 3 formas: ligado quimicamente ao aluminato tricálcico ( $C_3A$ ) formando cloroaluminato de cálcio, adsorvido fisicamente na superfície dos poros, e sobre a forma de íons livres na solução contida nos poros. Esses íons cloretos livres são os que efetivamente atuam na despassivação da armadura, mesmo em condições de pH extremamente elevado (ALMEIDA e SALES, 2014).

Há diversas teorias que explicam a quebra da película passivadora pela ação dos cloretos, como a teoria do filme de óxido, a teoria da adsorção e a teoria do complexo transitório, porém, não existe nenhuma efetivamente consolidada (ALMEIDA e SALES, 2014).

Mehta e Monteiro (2008, apud Almeida e Sales, 2014) afirmam que ao superarem, na solução de poros do concreto, o limite de 0,6 em relação as hidroxilas ( $Cl^-/OH^- > 0,6$ ), os íons cloreto despassivam a superfície do aço. Tal valor crítico (0,6) equivale a aproximadamente 0,2% de cloretos em relação à massa de cimento, ou de 0,05% relativa à massa de concreto. (RIBEIRO e CUNHA, 2014)

Normas nacionais e internacionais estabelecem valores de teores máximos de íons cloretos permitidos no concreto, como segue (Tabela 2).

Tabela 2- Teor limite de íons cloreto.

Norma	Ano	Teor limite de cloretos
NBR 12655	2006	0,15% da massa de cimento, em ambientes com cloretos
		0,40% da massa de cimento, em condições não severas
ACI 318S-05	2005	0,15% da massa de cimento, em ambiente com cloretos
		0,3% da massa de cimento, em ambiente normal
		1% da massa de cimento, em ambiente seco
NP EM 206-1	2007	0,4% da massa de cimento
CEB	1991	
BS 8110:1	1985	
JCSE-SP2	1986	
		0,6% da massa de concreto

(FONTE: FIGUEIREDO, 2011 adaptada)

A NBR 6118 (2014) não se reporta ao teor de cloretos, chamando somente a atenção quanto a proibição do uso de aditivos contendo cloretos em estruturas de concreto armado e protendido.

Na realidade, o ataque desses íons é bastante complexo, tendo sido identificado na literatura a ocorrência de corrosão para teores muito diferentes de cloreto, pois o mesmo depende de uma série de outros fatores. Pequenos teores concentrados podem ser mais perigosos que altos teores homogênea e uniformemente distribuídos (HELENE, 1997).

Os íons cloreto penetram no concreto através dos processos de absorção capilar e difusão, sempre na presença de água. Os fatores influentes no mecanismo de penetração desses íons são basicamente os mesmos da carbonatação, porém, nem sempre atuam da mesma maneira, além de fatores relacionados com o tipo de cátion associado ao cloreto, o tipo de acesso ao concreto e a presença de outro ânion como o sulfato (FIGUEIREDO, 2011).

Em questões de permeabilidade do material, em especial da camada de revestimento, o concreto deve ser dosado e executado de forma a diminuir essa propriedade, da mesma forma que a carbonatação. Nesse caso, ao contrário da difusão do  $\text{CO}_2$ , a utilização de adições reduz, na maioria das vezes, a difusão dos cloretos (FIGUEIREDO, 2011).

Um fato já consagrado é o de que cimentos com alto teor de aluminato tricálcico ( $\text{C}_3\text{A}$ ) são os mais indicados quando se está diante da presença inevitável de cloretos, pela sua capacidade de combinação com estes íons. A difusão dos cloretos na massa de concreto é retardada pela formação de cloroaluminato de cálcio, o que reduz a concentração de cloretos livres que atacariam as armaduras (HELENE, 1997).

Em relação às fissuras, o ingresso dos cloretos é acentuado quando da presença das mesmas, proporcionalmente a sua abertura. A NBR 6118 (ABNT, 2014) recomenda aberturas de fissura máximas de 0,2 a 0,4 mm, a depender da classe de agressividade do ambiente, para que essas não tenham importância significativa na corrosão das armaduras passivas.

Os efeitos da interação da carbonatação com os íons cloretos levam a uma aceleração da velocidade de despassivação por cloretos, conforme já comentado no item anterior.

Para a determinação do teor de cloretos no concreto são utilizados diferentes métodos, geralmente divididos em dois grupos: medição da relação cloretos totais/livres e medição da relação cloretos fixos/livres. (AGUIAR, 2006). A maioria mede o teor de cloretos totais no concreto, o que significa que os ligados ao  $\text{C}_3\text{A}$  e adsorvidos são também contabilizados, apesar

de não contribuírem para o processo de despassivação. Do ponto de vista prático, a medição do teor total é válida, pois os valores críticos em normas são quase sempre preconizados dessa forma (RIBEIRO e CUNHA, 2014).

As amostras podem ser obtidas por extração de testemunhos ou recolhimento de pó de concreto, a profundidades crescentes, e a análise quantitativa é feita por via química, através do método preconizado pela norma ASTM C 1152 (ASTM, 1992) ou por análise de fluorescência de Raios-X (AGUIAR, 2006).

### 2.3.3 Corrosão das armaduras – Fase de propagação

Inicialmente, deve-se diferenciar a oxidação da corrosão das armaduras de concreto armado. Por oxidação, entende-se a formação de uma película de óxido provocada por uma reação gás-metal. É considerado um tipo de corrosão, porém, é extremamente lento à temperatura ambiente e não provoca deterioração substancial das superfícies metálicas, ocorrendo, na maioria das vezes, na própria fabricação das armaduras (HELENE, 1986). Por não ser significativo na degradação das estruturas usuais, a oxidação não será aprofundada neste trabalho.

A corrosão propriamente dita das armaduras é um ataque eletroquímico, em presença de umidade, que ocorre quando é formada uma película de eletrólito sobre a superfície das barras, e é com essa que o engenheiro deve se preocupar (HELENE, 1986).

A formação de uma célula de corrosão ou pilha pode ocorrer como indicado na (Figura 3), que, como qualquer outra célula, contém um ânodo, um cátodo, um condutor metálico e um eletrólito. Qualquer diferença de potencial entre as zonas catódicas e anódicas acarreta o aparecimento de corrente elétrica, sendo que, dependendo da magnitude dessa corrente, e do acesso do oxigênio, pode ou não haver corrosão (HELENE, 1986).

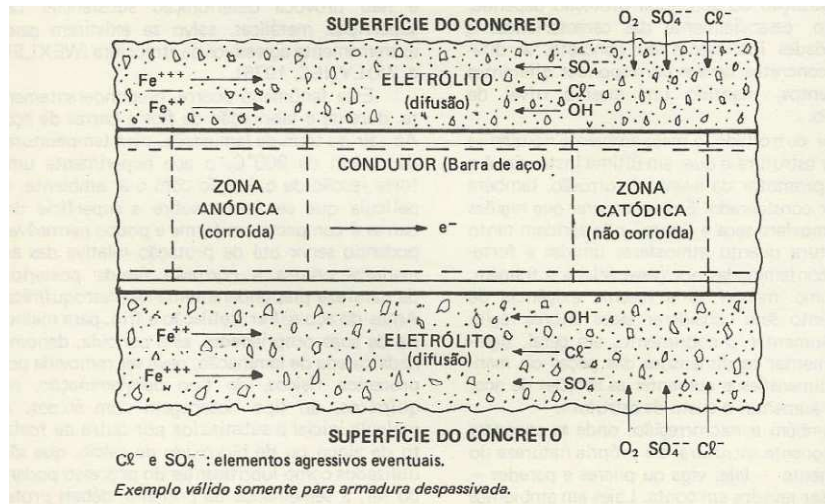


Figura 3- Pilha de corrosão.

(FONTE: HELENE, 1986)

Em resumo, a corrosão só ocorre nas condições listadas a seguir (HELENE, 1986), as quais podem ser facilmente encontradas na estrutura de concreto.

- Deve existir um eletrólito – O eletrólito é o meio que permite a dissolução e movimentação dos íons entre as regiões anódicas e catódicas na interface da superfície do aço com a matriz de concreto, papel que é desempenhado pela solução contida nos poros do concreto. No concreto, a água está sempre presente, e geralmente em quantidade suficiente para atuar como eletrólito. Além dessa, certos produtos de hidratação do cimento, como a portlandita, também formam nos poros e capilares uma solução saturada que constitui um bom eletrólito (RIBEIRO e CUNHA, 2014).
- Deve existir uma diferença de potencial – Qualquer diferença de potencial que se produza entre dois pontos da barra, por diferença de umidade, aeração, concentração salina, tensão no concreto e no aço, é capaz de desencadear as pilhas de corrosão.
- Deve existir oxigênio – A presença de oxigênio tem papel importante nas reações de redução (FIGUEIREDO e MEIRA, 2011), sendo necessário para a formação da ferrugem (óxido / hidróxido de ferro).

Os íons de ferro combinados com oxigênio ou íons hidroxila formam os produtos de corrosão (ACI 201.2R, 2008). Da combinação do cátion Fe<sup>++</sup> com os ânions (OH<sup>-</sup>) resulta o hidróxido ferroso, de cor amarelada, depositado no ânodo; no catodo deposita-se o hidróxido férrico, de cor avermelhada. Esses dois produtos constituem a ferrugem, evidência mais clara da corrosão

do aço (SOUZA e RIPPER, 1998). Helene (1986) caracteriza os produtos da corrosão (óxidos/hidróxidos de ferro) como produtos avermelhados, pulverulentos e porosos (ferrugem).

O FIB (2010) apresenta um esquema com todos os efeitos adversos que podem ocorrer devido à corrosão das armaduras nas estruturas de concreto armado (Figura 4), são eles: fissuras que acompanham o comprimento das armaduras, deslocamento e desagregação da camada de cobrimento, perda de aderência entre concreto e aço e até o colapso da estrutura.

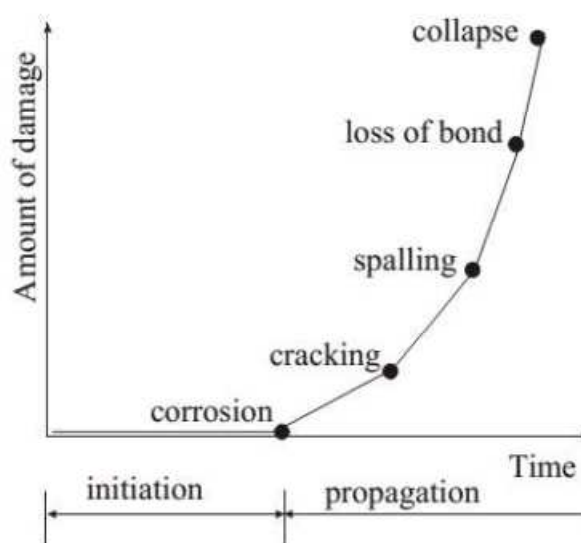


Figura 4- Efeitos da Corrosão.

(FONTE: FIB, 2010)

De acordo com Souza e Ripper (1998), o primeiro aspecto patológico da corrosão ocorre devido ao mecanismo em si, que é a troca de seção de aço resistente por ferrugem, diminuindo a capacidade resistente da armadura por diminuição da área de aço. Em geral, admite-se 15% o limite de redução da seção das armaduras para fins de estado limite útil da estrutura com corrosão (MEDEIROS *et al*, 2011).

Os demais mecanismos citados ocorrem, de maneira geral, porque os hidróxidos de ferro formados nas reações de corrosão ocupam um volume maior do que o aço original, exercendo ações expansivas no concreto que o envolve. Um segundo fator é o aumento de acidez das regiões anódicas, o qual pode levar à dissolução da pasta de cimento (ACI 222-R, 2001).

Destaca-se que, dependendo da porosidade do concreto, grande parte do produto inicial de corrosão ocupa os poros, assim como as microfissuras da estrutura interna da matriz, e, conseqüentemente, podem não gerar pressões iniciais de expansão significativas. Desta forma,

durante esse período, a armadura vai se corroendo e a seção de aço vai sendo reduzida, apesar de não haver manifestação patológica aparente (MEDEIROS *et al*, 2011).

Dependendo de seu mecanismo de despassivação, a corrosão no concreto armado pode ocorrer, principalmente, das seguintes formas (SOUZA e RIPPER, 1998):

- Corrosão generalizada: Pela redução do pH do concreto para valores menores do que 9, pela ação do CO<sub>2</sub>. Com a carbonatação, o aço se corrói como se estivesse simplesmente exposto à atmosfera sem qualquer proteção, porém com o agravante de que a umidade permanece no interior do concreto e, portanto, em contato com a armadura muito mais tempo do que se esta estivesse exposta ao ar (CASCUDO, 1997). É caracterizada pela perda de massa aproximadamente uniforme ao longo da superfície da armadura (SOUSA, 2014).
- Corrosão localizada (pite): Pela ação de íons agressivos (cloretos), sempre que haja umidade e oxigênio. Os cloretos agem de forma localizada, rompendo pontualmente o filme de passividade, que ocorre, em geral, por meio de uma aeração diferencial nas fissuras resultando em uma acidificação local. Esses íons agem tanto na fase de iniciação, com o rompimento pontual do filme passivador, como na aceleração da propagação do processo corrosivo (ALMEIDA e SALES, 2014). Esse tipo de corrosão é caracterizado pela perda de massa em regiões específicas, formando cavidades com elevada relação entre o comprimento e o diâmetro (SOUSA, 2014).

As imagens a seguir (Figura 5) apresentam o aspecto das corrosões generalizada (a) e localizada (b).

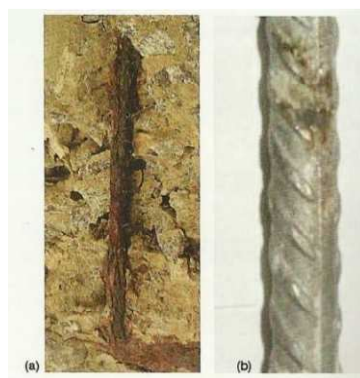


Figura 5- Aspecto das corrosões generalizada (a) e localizada (b).

(FONTE: FIGUEIREDO e MEIRA, 2011)

Os primeiros sintomas da corrosão só aparecem muito depois do processo se ter iniciado e propagado e, por isso, a sua identificação precoce é muito difícil. Além da análise visual, diversas técnicas podem ser empregadas para a avaliação e estudo da corrosão em concreto armado, e entre elas as técnicas eletroquímicas são as mais utilizadas como a técnica de potenciais de corrosão (RIBEIRO e CUNHA, 2014).



### 3 RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Para efeito de entendimento, diferencia-se os significados dos termos recuperação e reforço:

- Recuperação – Corrige e/ou substitui materiais, componentes e elementos de uma estrutura deteriorada reestabelecendo a capacidade portante original duma estrutura ou parte dela;
- Reforço – Incrementa a capacidade portante de uma estrutura ou parte dela (CASTRO *et al*, 2003).

O foco deste trabalho é a recuperação de estruturas de concreto armado sujeitas à corrosão de armaduras, sendo este o tema abordado neste capítulo. O reforço será citado, apenas, como recomendação no caso de armaduras em estado avançado de corrosão.

O objetivo de um processo de recuperação é reestabelecer as características previstas em projeto, conferindo atributos de durabilidade a uma estrutura que, por algum motivo, encontre-se deteriorada (QUESADA, 2003).

A escolha do método de reparo depende de uma série de variáveis que incluem fatores técnicos, econômicos e ambientais, e requer um estudo cuidadoso para cada situação em particular (ANDRADE, 1992). É fundamental que a estratégia de intervenção a adotar seja baseada em um diagnóstico preciso das causas e extensão das patologias, para que sejam definidas as soluções mais apropriadas (LOURENÇO, 2014). Uma vez que se estabelecem os critérios para uma recuperação compatível com o elemento a reparar, resta então escolher os materiais e sistemas com as propriedades necessárias para atender a esses critérios (RINCÓN *et al*, 2003).

Ressalta-se a importância de garantir a segurança da estrutura durante o procedimento de reparo com o uso de escoramentos, caso seja necessário. Os elementos de escoramento devem ser dimensionados em cada caso com o máximo rigor profissional, ajustando-os às soluções escolhidas (AGUADO *et al*, 2003).

O procedimento mais comum para a recuperação de estruturas de concreto armado sujeitas à corrosão envolve a remoção dos materiais das áreas deterioradas e a substituição por material novo, sendo essa metodologia largamente utilizada no mundo todo (LOURENÇO, 2014). Porém, para que esse reparo convencional tenha uma longa durabilidade, é necessário remover o material contaminado em sua totalidade, sendo mais indicada para reparos localizados. Na

maioria dos casos, mesmo que a estrutura não apresente manifestações patológicas visíveis, há trechos deteriorados internamente, em locais aparentemente sãos. A reparação de áreas com danos visíveis pode começar a atuar como cátodo frente àquelas regiões adjacentes que permanecerem sem reparo, acelerando o processo de deterioração dessas (ANDRADE, 1992). Moraes (2012) constatou que esse fenômeno, chamado de macrocélula, ocorre em áreas que sofrem reparos após a ocorrência da corrosão, havendo o retorno das manifestações patológicas em pouco tempo, principalmente nas regiões com presença de cloretos.

A alternativa à prática tradicional são os métodos eletroquímicos, considerados por muitos autores como soluções mais eficazes e, em alguns casos, até mais econômicas no controle da corrosão (LOURENÇO, 2014). Além desses, projetistas costumam adotar proteções extras à corrosão, na superfície do concreto, como películas e revestimentos. Todas as técnicas citadas encontram-se detalhadas nos itens a seguir.

### 3.1 Método Tradicional – Remoção e Substituição

O método tradicional de recuperação de estruturas de concreto armado diagnosticadas com corrosão de armaduras, em geral, segue os seguintes passos descritos nos itens a seguir, podendo variar de acordo com o nível de deterioração, objetivos do proprietário e capital disponível.

No Brasil, não existem normas com especificação de materiais, procedimentos executivos e de qualidade, ficando o processo baseado em experiências anteriores de empresas especializadas. Internacionalmente, há uma recente referência largamente utilizada que é a norma europeia EN 1504. A citada norma é dividida em 10 partes, publicadas entre 2003 e 2008, com orientações sobre proteções superficiais, reparos estruturais e não estruturais, aderência, injeção, ancoragem de barras de aço, proteção contra corrosão de armaduras, controle de qualidade e avaliação, princípios de uso de materiais e sistemas de recuperação e a aplicação em campo dos sistemas e controle de qualidade associados.

#### 3.1.1 Remoção

Todo o concreto fraco, danificado e facilmente removível deve ser retirado (ACI 546R, 1996), utilizando-se de técnicas manuais e/ou mecânicas. Na prática, a delimitação da área a ser removida requer muita atenção, pois a remoção insuficiente pode causar um efeito galvânico e acelerar a corrosão das áreas adjacentes (ANDRADE, 1992), e a remoção exagerada estará

ferindo indevidamente o elemento estrutural, o que seria contra a segurança e antieconômico (SOUZA e RIPPER, 1998). O ACI 546R (1996) recomenda que a remoção deva continuar até que as partículas de agregados sejam quebradas, ao invés de simplesmente removidas da matriz de cimento.

MUÑOZ *et al* (2003) sugerem que a delimitação da área a ser removida seja feita em forma de retângulos, como mostra a Figura 6, garantindo assim a completa remoção do material danificado e melhor aderência com o material de reparo.



Figura 6- Delimitação da área a ser removida.

(FONTE: MUÑOZ *et al*, 2003, modificada)

No caso de estruturas em que a corrosão do aço já esteja implantada, tenha armaduras expostas e/ou cobertura de concreto segregado, o concreto deverá ser removido até além das armaduras, de modo que, após a recuperação, essas encontrem-se totalmente imersas em meio alcalino novamente. A profundidade de remoção recomendada além das barras é de 2 cm ou o diâmetro das barras, adotando a situação mais desfavorável (SOUZA e RIPPER, 1998).

Além do concreto, a remoção do aço danificado também deverá ser realizada, até que a armadura se apresente livre de qualquer produto de corrosão. Para pequenas áreas de aço, técnicas manuais como escovas de aço são aceitáveis. Em geral, é recomendada a remoção dos produtos de corrosão com jato de areia (ANDRADE, 1992; ACI 546R, 1996).

Após a retirada dos produtos de corrosão aderidos à superfície das armaduras, haverá uma perda de parte da sua seção original, sendo que, nos casos em que a redução da seção tiver ultrapassado 15% (SOUZA e RIPPER, 1998), armaduras adicionais de reforço devem ser previstas para reestabelecer as condições de segurança e desempenho da estrutura. O reforço de estruturas deverá ser estudado por profissionais especialistas, e não será enfoque deste trabalho.

As principais técnicas de remoção de concreto e dos produtos de corrosão do aço encontram-se listadas a seguir.

#### 3.1.1.1 Escarificação manual

A escarificação manual é feita utilizando-se de martelo e ponteiro. É usual em pequenos reparos, ou em conjunto com a escarificação mecânica nas zonas de difícil acesso dos equipamentos (SOUZA e RIPPER, 1998).

Tem como vantagens a praticidade, ausência de ruídos e poeira excessiva, e o fato de que não necessita de equipamentos ou instalações de água e energia, porém, seu uso é limitado a pequenas intervenções, dado o seu baixo rendimento (MUÑOZ *et al*, 2003).



Figura 7- Escarificação manual.

(FONTE: SERCPINT, 2011)

Após esse processo, uma limpeza do pó remanescente deverá ser feita mediante lavagem ou, preferencialmente, com jato de ar comprimido (MUÑOZ *et al*, 2003).

#### 3.1.1.2 Escarificação mecânica

A escarificação mecânica é indicada para reparação de grandes superfícies. Para espessuras de até 1 cm, são utilizados martelos pneumáticos ou elétricos leves de no máximo 5 kg, enquanto para maiores espessuras os martelos demolidores ficam entre 6 e 10 kg (SOUZA e RIPPER, 1998).



Figura 8- Escarificação mecânica.

(FONTE: MUÑOZ *et al*, 2003)

A escarificação, tanto manual quanto mecânica, deve ser cuidadosa pois pode produzir uma microfissuração na superfície do concreto deixado no local, criando um plano mais fraco que causará problemas de aderência com o material de reparo (ACI 546R, 1996). Isso posto, autores recomendam que essa técnica seja procedida de um método auxiliar de remoção como jateamentos de água ou areia (ACI 546R, 1996; SOUZA e RIPPER, 1998).

Deve-se ter um cuidado especial para não encostar o equipamento na armadura, além de requerer limpeza da mesma forma que a técnica manual (MUÑOZ *et al*, 2003).

### 3.1.1.3 Corte com disco diamantado

Como exposto anteriormente, a remoção do concreto prevê um corte do perímetro da área degradada. O corte, além de delimitar a área a ser removida, deve garantir a espessura mínima requerida pelo material de reparo, de modo a contribuir para a perfeita aderência com o material de reparo (ACI 546R, 1996).

O corte é feito ortogonalmente à superfície com máquina de corte dotada de disco diamantado (MUÑOZ *et al*, 2003), como exposta na Figura 9.



Figura 9- Máquina de corte com disco diamantado.

(FONTE: MUÑOZ *et al*, 2003)

#### 3.1.1.4 Hidrodemolição

A aplicação de jatos de água sob altas pressões (40 a 120 N/mm<sup>2</sup>) ou muito altas (140 a 240 N/mm<sup>2</sup>) é utilizada tanto para a remoção do concreto deteriorado quanto para a obtenção da rugosidade necessária para receber o material de reparo, removendo também detritos e pinturas protetoras (SOUZA e RIPPER, 1998; DNIT 080, 2006).

O processo de hidro demolição remove o concreto de forma seletiva (apenas o deteriorado) e limpa, é rápido e não provoca fissuração no concreto, porém, como desvantagens, produz grande ruído e muita umidade, devendo materiais e equipamentos sensíveis à umidade ficarem afastados a uma distância segura (DNIT 080, 2006)

#### 3.1.1.5 Escovação manual

A escova manual com cerdas de aço é utilizada para retirar os produtos de corrosão incrustados nas barras de aço, no caso de pequenas extensões de armadura exposta. A aplicação deve ser enérgica e repetitiva até conseguir a completa remoção de partículas soltas (MUÑOZ *et al*, 2003). Após esse trabalho, deve-se passar à aplicação de jatos de ar comprimido para a limpeza da superfície (SOUZA e RIPPER, 1998).

#### 3.1.1.6 Lixamento

Utilizam-se lixas manuais ou elétricas para remover os produtos de corrosão das barras de aço. Principalmente no meio mecânico, produz grande quantidade de pó contaminante, devendo os trabalhadores utilizarem máscaras protetoras e requerendo procedimentos de limpeza após o serviço (MUÑOZ *et al*, 2003).

### 3.1.1.7 Jatos de areia

O jato de areia sob pressão, com ou sem a presença de água – sendo esse último o mais comum (SOUZA e RIPPER, 1998) – é considerado o método mais eficiente de remoção dos produtos de corrosão das armaduras, principalmente em estruturas que sofreram ataque de cloretos (ANDRADE, 1992). Pode ser utilizado em grandes reparos com alto rendimento, necessitando de um compressor de ar, máquina de jato de areia, mangueira para alta pressão, bico direcional e container para armazenar a areia, sendo que esta não é reutilizável (MUÑOZ *et al*, 2003).

Além de limpar os produtos de corrosão do aço, o jateamento abrasivo funciona como uma preparação da superfície do concreto, deixando-a rugosa para receber o material de reparo (SOUZA e RIPPER, 1998).

É um processo poluente, o qual produz grande ruído e grande volume de poeiras e detritos (DNIT 080, 2006), desvantagem essa que deve ser levada em consideração na escolha do método. A norma DNIT 080 (2006) recomenda que o jateamento de areia somente seja usado se a areia, após sua utilização puder ser recolhida ou se inserir no meio ambiente sem prejudicá-lo. Após o jateamento, faz-se necessária uma limpeza da superfície com jatos de ar comprimido (SOUZA e RIPPER, 1998).

Apesar do jateamento de areia ser altamente recomendável para a remoção dos produtos de corrosão e preparação de superfície, a Portaria 99/04 do Ministério do Trabalho e Emprego (BRASIL, 2004) proíbe o uso dessa técnica, considerando que o processo de trabalho do jateamento com areia gera uma elevada concentração de sílica, responsável por quadros graves de silicose nos trabalhadores envolvidos.

A areia, contudo, pode ser substituída por outro abrasivo granular, mantendo as mesmas vantagens da técnica (DNIT 080, 2006).

### 3.1.2 Limpeza

A limpeza da superfície deve ser realizada imediatamente antes da colocação do material de reparo, pois sempre há a possibilidade de se acumular pó ou quaisquer outras partículas indesejadas no intervalo de tempo entre a limpeza e a colocação do material (ACI 546R, 1996).

Os principais métodos de limpeza de superfície estão descritos a seguir:

### 3.1.2.1 Jatos de água

A aplicação de jatos de água sob pressões baixas, inferiores a 35 MPa, é adequada para a limpeza do concreto (DNIT 080, 2006). É eficaz na remoção de sujeiras, material solto e contaminantes solúveis em água, recomendada para uso após métodos agressivos de remoção (MUÑOZ *et al*, 2003).

Normalmente, os jatos são de água fria, e são utilizados simultaneamente com o jateamento de areia. Recomenda-se o uso de água quente na limpeza de superfícies gordurosas ou com manchas de impregnação química, podendo adicionar removedores biodegradáveis (SOUZA e RIPPER, 1998).

### 3.1.2.2 Jatos de ar comprimido

Os jatos de ar eliminam o material solto e pó depois dos procedimentos de remoção como escarificação e jatos de areia (MUÑOZ *et al*, 2003). Quando da utilização de jatos de areia em conjunto com jatos de água, os jatos de ar comprimido são necessários apenas em pontos de difícil acesso, ou nos casos em que for constatado que a limpeza por aqueles métodos não foi suficiente (SOUZA e RIPPER, 1998).

Um uso muito comum é a limpeza para anteceder a aplicação de resinas epóxi, as quais requerem um substrato seco e limpo (MUÑOZ *et al*, 2003). O equipamento (compressor, mangueira e bico) pode ser também utilizado para a aspiração de furos no concreto, como na limpeza de furos para ancoragem de barras. No caso da limpeza de fissuras antes do processo de injeção, os jatos de ar são utilizados em conjunto com o sistema de aspiração (SOUZA e RIPPER, 1998).

### 3.1.2.3 Aplicação de soluções ácidas

A aplicação de soluções ácidas é utilizada para a remoção de tintas, ferrugens, graxas, carbonatos, resíduos e manchas de cimento, sendo a solução de ácido muriático (ácido clorídrico comercial) a mais comum (SOUZA e RIPPER, 1998).

Por saber de todos os problemas que os cloretos causam à armadura (ver item 2.3.2), esses produtos não são recomendados para a limpeza de estruturas de concreto armado (ACI 546R, 1992).



### 3.1.3 Proteção das Armaduras

Após os processos de remoção e limpeza, normalmente é aplicado algum tipo de proteção para que a armadura recuperada não volte a corroer, antes de recompor a seção com os materiais de reparo. Os métodos de proteção das armaduras contra a corrosão podem ser diretos, sobre o próprio aço, ou indiretos, sobre o concreto de cobrimento, visando impedir a entrada de agentes externos (FRANCO *et al*, 2003).

Figueiredo e Meira (2011) apresentam um resumo das técnicas e materiais usados para a proteção de armaduras contra a corrosão, esquema reproduzido na Figura 10. Essas técnicas são descritas uma a uma neste item. As técnicas eletroquímicas são um dos métodos mais eficientes de controle proteção da estrutura contra a corrosão, e encontram-se detalhadas no item 3.1.6 deste trabalho, pois não fazem parte do método tradicional a qual trata este item.



Figura 10- Métodos de proteção da corrosão em armaduras.

(FONTE: FIGUEIREDO e MEIRA, 2011)

#### 3.1.3.1 Galvanização

A galvanização consiste no processo de submersão da barra de aço em um banho de zinco fundido, onde o aço reage com o zinco e recobre-se de uma capa de liga Fe-Zn, sendo a capa exterior de zinco puro (ANDRADE, 1992).

O aço galvanizado é particularmente apropriado para a proteção à corrosão de estruturas submetidas a carbonatação, já que o zinco permanece passivado em níveis mais baixos de pH do que o aço sem proteção (ACI 222.R, 2001). Diante do ataque de cloretos, apesar de mais resistentes que o aço comum – necessita de concentração de cloretos de 2,5 a 5 vezes mais altas para despassivar (GONÇALVES *et al*, 2003; LOURENÇO e SOUZA, 2011) – o aço

galvanizado também é atacado, tendo a vantagem de atuar um certo tempo como ânodo de sacrifício nesse caso (ANDRADE, 1992). Somado a esses aspectos, sabe-se que os produtos de corrosão do zinco são menos expansíveis e mais solúveis no concreto do que os óxidos de ferro, reduzindo assim a fissuração do concreto (GONÇALVES *et al*, 2003).

Essas características implicam em um maior tempo de vida útil da estrutura, com intervalos maiores para manutenção, o que, de acordo com Lourenço e Souza (2011), compensa o maior custo inicial da armadura galvanizada de 1,5 vezes o da armadura sem revestimento.

Há que se considerar que o uso de armaduras galvanizadas no processo de recuperação de uma estrutura exige que as mesmas se encontrem eletricamente isoladas (GONÇALVES *et al*, 2003).

O desempenho do uso desse revestimento em campo tem tido resultados conflitantes. O ACI 222R (2001) concluiu, após estudos de campo, que o desempenho do aço galvanizado em estruturas expostas a baixas concentrações de cloreto é satisfatório, enquanto que para altas concentrações, o revestimento apenas atrasa o processo de deslocamento do concreto, sem atuar como método preventivo.

Maldonado (2003) realizou uma análise em campo do uso do aço galvanizado em estruturas submetidas a ambientes marinhos agressivos, encontrando resultados satisfatórios. Em dois anos, o autor mediu uma taxa mínima de corrosão, valor este em que, nas mesmas condições ambientais e com uma capa de zinco de 100 $\mu\text{m}/\text{y}$ , a iniciação da corrosão só aconteceria em torno de 50 anos.

Uma outra opção disponível no mercado é revestir a armadura com zinco utilizando-se de tintas à base de zinco, chamado por algumas empresas de “galvanização a frio”, com o mesmo objetivo da galvanização, mas apropriado para a aplicação durante um processo de recuperação tradicional. Em alguns catálogos, informa-se que essa tinta funciona como proteção galvânica, pois o zinco é sacrificado para que o aço permaneça intacto, e, em outros, é tratado como um tipo de inibidor de corrosão.

### 3.1.3.2 Resina Epóxi

O revestimento de epóxi nas armaduras atua principalmente como uma barreira física aos agentes agressivos, além de apresentar elevada resistência elétrica, impedindo que o fluxo de elétrons possa contribuir para a corrosão eletroquímica (LOURENÇO e SOUZA, 2011).

Há estimativas que o revestimento de epóxi aumenta em 2 a 3 vezes a resistência à corrosão em relação à armadura não revestida. Em comparação com o revestimento de zinco, o epóxi mostra-se mais eficiente na proteção contra corrosão, principalmente em meios susceptíveis ao ataque de cloretos, porém, o aço galvanizado necessita de menor manutenção (LOURENÇO e SOUZA, 2011).

O principal motivo de resultados insatisfatórios utilizando essa técnica é a falha localizada no revestimento, como a mostrada na Figura 11, a qual promove a formação de células de corrosão (ACI 222.3R, 2003). Desse modo, são necessários cuidados especiais na aplicação e posterior manuseio da armadura revestida, além de manutenções periódicas. Cabe ressaltar que esse processo inviabiliza o posterior tratamento eletroquímico (GONÇALVES *et al*, 2003).



Figura 11- Falhas no revestimento devido a dobra do aço.

(FONTE: GONÇALVES *et al*, 2003)

Da mesma forma que as galvanizadas, se somente uma parte das armaduras for revestida com epóxi, cuidados devem ser tomados para que não fiquem ligadas eletricamente a outras não revestidas. Para longos períodos de vida útil em ambientes severos, deve-se considerar o revestimento em todas as armaduras da estrutura (ACI 222.R, 2001).

A utilização desse revestimento é frequente em diversos países como Estados Unidos e Canadá, principalmente em pontes, estruturas marinhas e estacionamentos, tendo inclusive normatização como as da ASTM (LOURENÇO e SOUZA, 2011).

De acordo com o ACI 222.3R (2003), em diversos estudos de campo realizados nos anos 90, examinou-se o desempenho de pontes em serviço por 15 anos ou mais, onde foram reportadas excelentes performances. Em elementos da subestrutura de pontes na Flórida, porém, foram

identificados danos relativos à corrosão, os quais foram associados a falhas localizadas devido ao mau desempenho na execução da obra (ACI 222.3R, 2003).

#### 3.1.3.3 Armaduras especiais

As principais armaduras em alternativa ao aço comum no uso em estruturas de concreto armado são os aços inoxidáveis, com resistência à corrosão significativamente superior, e o polímero reforçado com fibras (PRF), que não se corrói nem pela ação da carbonatação nem por cloretos (GONÇALVES *et al*, 2003).

O aço inoxidável apresenta inúmeras vantagens como sua resistência mecânica, elevada resistência a corrosão (estima-se que é necessária uma concentração de cloretos cerca de 10 vezes maior que a do aço comum para ocasionar a despassivação), boa aderência com o concreto, não está sujeito a falhas superficiais e possui baixo custo de manutenção. A grande desvantagem é o elevado custo dessa liga, limitando seu uso em situações especiais em ambientes extremamente severos (LOURENÇO e SOUZA, 2011).

As armaduras de PRF são mais utilizadas como reforço de estruturas, e, da mesma forma que o aço inox, apresenta um alto custo em detrimento das vantagens técnicas que possuem, sendo as de vidro mais baratas que as de carbono. Vem sendo utilizada na substituição de componentes deteriorados de pontes, pois reduz o gasto com as operações de reparo devido a facilidade de manuseio por ser leve e porque não há preocupação com a corrosão (LOURENÇO e SOUZA, 2011).

#### 3.1.3.4 Inibidores

O inibidor de corrosão é um composto químico que, quando introduzido no concreto em quantidades reduzidas, pode tanto estender o tempo de iniciação da corrosão quanto reduzir significativamente a taxa de corrosão da armadura, sem afetar as propriedades do concreto (ACI 222.R, 2001; GONÇALVES *et al*, 2003). Pode ser líquido ou em pó, e é usado como aditivo nas argamassas e concretos de reparo, ou aplicado diretamente na superfície do concreto endurecido, o qual deve apresentar capacidade de migração para o interior (GONÇALVES *et al*, 2003).

Outra forma comum de utilização dos inibidores, recomendada pela maioria dos fabricantes de produtos e adotada por grande parcela das empresas, é a aplicação dos mesmos diretamente nas armaduras com o auxílio de trinchas, como uma pintura, durante o processo de recuperação tradicional, logo após a remoção dos produtos de corrosão. Tratam-se, normalmente, de

produtos bicomponentes compostos por cimento, resina polimérica (normalmente acrílica) e inibidor de corrosão anódico, o qual tem seu funcionamento exposto a seguir.

Os inibidores podem ser de natureza orgânica e inorgânica, sendo geralmente classificados de acordo com a sua função, em:

- a) Inibidores anódicos: reduzem a velocidade da reação anódica, reagindo com os produtos de corrosão e formando um revestimento protetor a superfície do aço (GONÇALVES *et al*, 2003). É essencial que seja aplicado a quantidade correta do produto, pois dosagens insuficientes podem falhar na eliminação de todos os pontos anódicos e acelerar ainda mais a corrosão nos pontos anódicos remanescentes (RIBEIRO e MIRANDA, 2002);
- b) Inibidores catódicos: reduzem as reações catódicas e impedem o oxigênio de atingir o aço. Em geral são menos eficientes que os inibidores anódicos (RIBEIRO e MIRANDA, 2002);
- c) Inibidores mistos: possuem o efeito barreira, e atuam em ambas as reações (GONÇALVES *et al*, 2003).

É importante ressaltar que os inibidores podem ser muito eficientes nas etapas de iniciação da corrosão, oferecendo uma opção relativamente de baixo custo, porém, uma vez que os produtos de corrosão estejam instalados no aço, a estrutura deve ser reparada da maneira convencional (remoção e substituição do material) (JONES, 2001).

Existem inúmeros produtos no mercado com a função de inibidor, mas ainda há poucos estudos que avaliem a sua eficiência ao longo da vida útil da estrutura (GONÇALVES *et al*, 2003). O ACI 222.R (2001) recomenda que todo inibidor deve ser testado antes do seu uso pois alguns produtos avaliados em laboratório apresentaram resultados conflitantes, os quais possuíam boa resistência química mas modificaram as propriedades do concreto em que foram inseridos.

Ribeiro e Miranda (2002) realizaram diversas análises sobre o uso de um inibidor multifuncional de marca renomada em estruturas reais, e confirmaram a eficácia do produto, destacando que os inibidores não impedem totalmente a corrosão, mas “ganham tempo” retardando o início do processo de corrosão, assim como reduzem a velocidade deste. Os autores recomendam ainda o uso do inibidor na maioria dos casos, tanto parcialmente quanto como sistema completo de recuperação, inclusive antes de pinturas com películas protetoras ou hidrofóbicas. Estima-se um aumento da vida útil das estruturas em cerca de 15 a 20 anos com

a utilização de inibidores, assim como uma economia da ordem de 30% em relação aos sistemas convencionais, sendo a sua relação custo-benefício dependente das características específicas de cada obra (RIBEIRO e MIRANDA, 2002).

#### 3.1.4 Preparação do substrato para receber o material de reparo

A preparação do substrato envolve os passos tomados após a remoção e limpeza do concreto deteriorado, para melhor receber os materiais de reparo (ACI 546R, 1996). Andrade (1992) ressalta a importância de preparar a superfície do concreto original para assegurar a aderência com o material de reparo, sempre através da obtenção de uma superfície rugosa, combinada com a saturação da superfície ou utilização de resinas denominadas pontes de aderência.

A rugosidade da superfície é geralmente obtida através dos próprios processos de remoção e limpeza já mencionados. Nos casos em que estes não forem utilizados, o construtor poderá recorrer ao processo de apicoamento da superfície, que seria uma escarificação manual de pequenas profundidades (menores que 1cm) (SOUZA e RIPPER, 1998).

##### 3.1.4.1 Saturação

Trata-se de um processo de preparação de superfície para a aplicação de reparos a base de cimento. A aplicação de água deve ser feita por 12h, no mínimo, através de fluxo contínuo, membranas de cura, mangueiras furadas e sacos de materiais absorventes como estopas, e, antes da aplicação dos materiais, deve-se secar a superfície para obter a condição de saturado com superfície seca (MUÑOZ *et al*, 2003).

##### 3.1.4.2 Ponte de aderência

Em recuperações localizadas, é comum o uso de uma ponte de aderência entre o concreto velho e o material de reparação, com o objetivo de aumentar a capacidade de união entre os materiais. Os adesivos utilizados como ponte de aderência funcionam também como uma barreira física entre material velho e novo, auxiliando na proteção da estrutura contra agentes agressivos (BORGES *et al*, 2003).

Em geral, são utilizados adesivos de base epóxi ou resina acrílica, sendo os de base epóxi os de melhor desempenho, apenas com o inconveniente de requerer o substrato seco para a sua aplicação (RINCÓN *et al*, 2003). O desempenho desses adesivos, porém, tem sido muito discutido na literatura, onde há argumentações que a união dos materiais pode ser feita sem o uso dos mesmos (BORGES *et al*, 2003).

Em um estudo de reparos de corpos de prova submetidos ao ataque de cloretos, utilizando argamassas e concretos com inibidor de corrosão, Tinoco e Figueiredo (2002) não observaram diferenças significativas entre os sistemas com e sem utilização de ponte de aderência com adesivo base epóxi. Os autores ressaltam que outros estudos devem ser realizados no sentido de tomar decisões quanto aos materiais utilizados como ponte de aderência, como não usar por não incorporar melhora no sistema de reparo e representar custo adicional; ou usar com a certeza de que haverá uma significativa melhora no desempenho do sistema.

Galletto (2005) comparou o desempenho de dois diferentes sistemas adesivos usualmente utilizados nos reparos estruturais, um à base de epóxi e outro à base de resina acrílica. Os resultados mostraram que os adesivos à base de resina acrílica chegaram a prejudicar a resistência de aderência do sistema de reparo, enquanto o adesivo à base epóxi promoveu aderência até mesmo em situações onde o ângulo da junta era considerado crítico (GALLETTO, 2005)

Borges *et al* (2003) realizaram um estudo de reparações localizadas em pilaretes moldados em laboratório, com o objetivo de identificar uma possível formação de pilha galvânica entre a seção reparada e o restante da estrutura. Nesse estudo, usou-se ponte de aderência somente em metade dos corpos de prova. Como conclusões, os autores notaram que o efeito galvânico ocorreu em todos os casos (com e sem ponte de aderência), sendo que nos pilaretes recuperados com ponte de aderência este efeito tendia a desaparecer com o tempo, além de apresentarem uma redução na velocidade de corrosão.

### 3.1.5 Materiais e técnicas para recompor a peça

Imediatamente após o preparo do substrato, devem ser colocados os materiais de reparo para recompor a peça que está sendo tratada. Existem diversas técnicas e materiais para esse fim, as quais dependem principalmente das propriedades desejadas para o reparo e das facilidades de execução, podendo ser concretos, argamassas ou qualquer outro material que não seja um elastômero, que adquira resistência compatível com o concreto antigo e que torne monolítico o elemento estrutural (SOUZA e RIPPER, 1998).

Os materiais e métodos mais utilizados para recompor as peças em processo de recuperação estão listados a seguir.

### 3.1.5.1 Reparos com concreto convencional ou com aditivos

O concreto para uso em recuperações deve ter a resistência no mínimo igual ao do já existente na estrutura que está sendo recuperada, diâmetro máximo do agregado compatível com o serviço e trabalhabilidade conveniente, o que pode ser conseguida com o uso de aditivos (SOUZA e RIPPER, 1998). Os aditivos e adições devem ser usados também para obter outras propriedades desejáveis em um material de recuperação como altas resistências iniciais, baixa retração, aderência ao substrato, baixa permeabilidade, entre outras (RINCÓN *et al*, 2003).

A principal vantagem desse método é o uso já consagrado do material concreto, com propriedades e procedimentos executivos conhecidos por todos os profissionais da área (ACI 546R, 1996). Porém, na maioria dos casos, é necessário pessoal especializado e outros esforços para que as propriedades citadas para um bom material de recuperação sejam garantidas no concreto, restringindo o seu uso (RINCÓN *et al*, 2003). O concreto convencional é normalmente utilizado em recuperações de grandes volumes e seções de grande espessura – mínima de 4,5 cm para concretos convencionais e 3,0 cm para concretos com aditivos (RINCÓN *et al*, 2003) – quando a extensão dos danos atravessa a seção do elemento, ou, pelo menos, se estendem para além das armaduras. (SOUZA e RIPPER, 1998).

O concreto pode ser lançado e vibrado da maneira convencional, utilizando-se de formas que facilitem a sua colocação, como mostra a Figura 12. Esse método é empregado principalmente em reparos profundos de superfícies verticais como pilares e blocos (QUESADA, 2003).

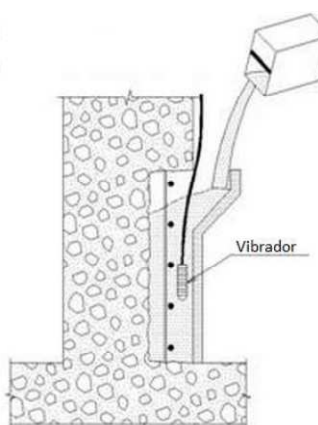


Figura 12- Colocação do concreto de forma convencional.

(FONTE: QUESADA, 2003, adaptada.)

Alternativa ao método tradicional é o bombeamento do material dentro de um volume de cavidade confinado por formas e o concreto existente, como mostra a Figura 13. Para isso, a



trabalhabilidade do concreto precisa ser compatível com o bombeamento, além de resistência à segregação e limitação do diâmetro máximo do agregado, entre outras propriedades. Além do uso em reparos profundos em superfícies verticais, pode também aplicar-se em superfícies horizontais desde que na parte superior (QUESADA, 2003).

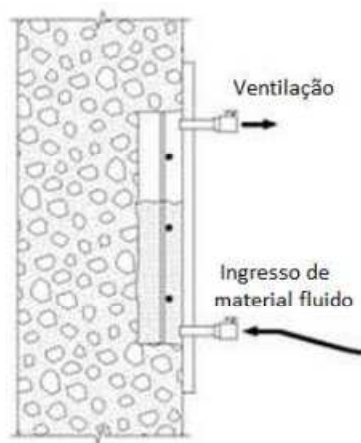


Figura 13- Colocação do concreto por bombeamento na forma.

(FONTE: QUESADA, 2003, adaptada.)

### 3.1.5.2 Reparos com argamassas de cimento

As vantagens de uso das argamassas de cimento são similares as do concreto convencional, mas são utilizadas em seções mais finas – 2,5 cm a 5,0 cm (RINCÓN *et al*, 2003), geralmente em reparos superficiais e localizados em que a armadura não foi comprometida (QUESADA, 2003). Além disso, são largamente comercializadas já prontas, facilitando o procedimento construtivo e logística na obra, principalmente em pequenos reparos, além de na maioria das vezes dispensarem o uso total ou parcial de formas, no caso das argamassas tixotrópicas (TULA *et al*, 2003). Porém, maiores cuidados com a retração do material devem ser tomados (ACI 546R, 1996).

A colocação da argamassa pode ser feita utilizando um dos métodos citados no item anterior (tradicional ou bombeado com formas), porém, o método mais comum de colocação destas é a aplicação manual em camadas de espessura máxima de 1 cm (SOUZA e RIPPER, 1998), como mostra a Figura 14. Esse método exige maior viscosidade do material, normalmente conseguido com o emprego de adições de finos, além de exigir, como a maioria dos materiais de reparo, baixa retração (QUESADA, 2003).



Figura 14- Colocação manual de argamassa.  
(FONTE: MUÑOZ et al, 2003)

Ainda na aplicação manual, existe o método chamado de “dry pack”, onde a colocação é feita também em camadas, mediante compactação (vide Figura 15). Nele, são utilizadas argamassas extremamente secas, com slump zero ou quase zero, que permitam ser moldadas como uma bola coesiva. (QUESADA, 2003). A principal vantagem desse método é a baixíssima retração desse tipo de argamassa, podendo ser utilizado para preencher cavidades grandes ou pequenas; porém, não é recomendada para preencher o espaço por detrás da armadura, por dificuldades óbvias de execução (ACI 546R, 1996).

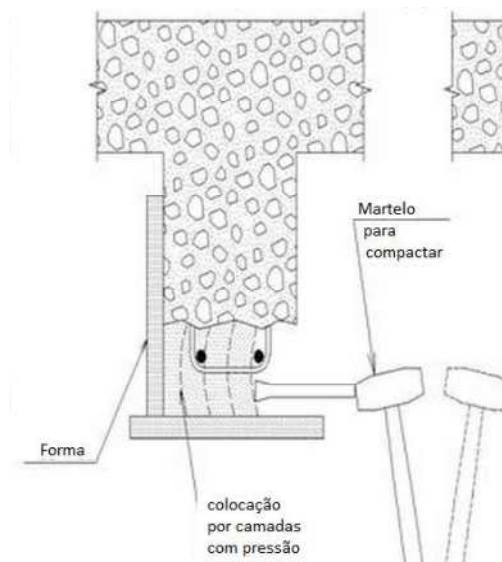


Figura 15- “Dry-pack”  
(FONTE: QUESADA, 2003, adaptada.)

### 3.1.5.3 Reparos com Grout

Grouts são tipos especiais de concretos ou argamassas que apresentam alta fluidez, boa aderência, baixa retração e alta impermeabilidade, propriedades que tornam seu uso

conveniente em serviços de recuperação, inclusive em locais de difícil acesso, reparos profundos e semiprofundos (SOUZA e RIPPER, 1998; RINCÓN *et al*, 2003).

Apresenta como vantagem necessitar somente de 24 horas para a retirada das formas (SOUZA e RIPPER, 1998), sendo eficaz em reparos de elementos em que a rapidez de desforma e de utilização é fundamental, além da sua compatibilidade com o concreto já existente (ACI 546R, 1996)

Os métodos de colocação são os mesmos dos concretos convencionais, tendo uma consistência adequada para o bombeamento. Faz-se necessária a preparação úmida do substrato antes da aplicação desse material (SOUZA e RIPPER, 1998).

Outro método de colocação possível, empregado principalmente em reparos profundos de superfícies verticais e estruturas submersas, é o bombeamento de grout com agregado pré colocado, que, como sugere o nome, é feito em duas etapas: a colocação do agregado lavado na cavidade e o posterior enchimento com o grout muito fluido, como mostra a Figura 16 (QUESADA, 2003).

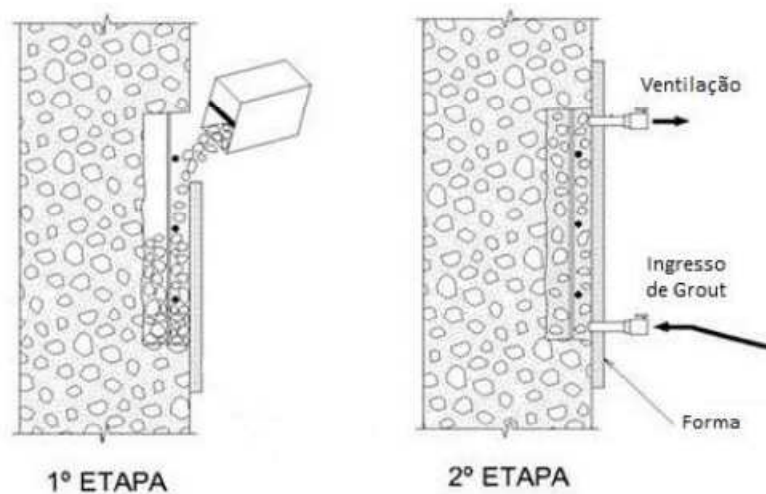


Figura 16- Procedimento com uso de agregado pré colocado.

(FONTE: QUESADA, 2003, adaptada.)

Esse método tem como vantagens a baixa retração devido ao contato entre os agregados, não apresenta problemas de segregação e preenche todos os espaços vazios com o grout. Consegue também expulsar água dentre as partículas de agregados durante a sua injeção, sendo adequado para reparos submersos. Porém, é necessário um maior esforço para impedir qualquer

vazamento quando da instalação das formas, e, por causa da necessidade de fluidez muito alta do grout, o teor de água relativamente alto pode causar um aumento da permeabilidade, propriedade indesejada em ambientes agressivos (ACI 546R, 1996)

#### 3.1.5.4 Concreto projetado

Em virtude do custo relativo à mobilização do equipamento de projeção, esse método é indicado apenas para reparos em grandes áreas, ou áreas de superfície irregular, onde a economia de custos com formas compense o custo dos equipamentos (ACI 546R, 1996; SOUZA e RIPPER, 1998).

A preparação da superfície é extremamente importante para garantir a aderência do concreto projetado, devendo ser aplicado jatos de areia seca ou úmida, seguidos da obtenção de um substrato saturado com superfície seca, utilizando jato de água e ar (SOUZA e RIPPER, 1998).

Além do concreto com aditivos que o torne bombeável, pode ser utilizado o concreto reforçado com fibras nessa técnica, o qual apresenta melhorias relativas ao comportamento na tração, fadiga e controle de fissuração (SOUZA e RIPPER, 1998).

O desempenho dessa técnica vem sendo, em geral, satisfatório. As maiores causas de falhas na performance são a preparação inadequada da superfície e falta de especialização da mão de obra (ACI 546.R, 1996).

#### 3.1.5.5 Argamassas modificadas com polímeros

A adição de polímeros dispersos em água (látex) na etapa de mistura das argamassas de cimento melhora a trabalhabilidade, reduz a permeabilidade à água e a sais e dá bom poder de aderência a esses materiais, além de exigir menores períodos de cura, tornando-o um bom material de reparo, apesar de, como todo material de base cimento, ser susceptível a fissuração por retração (ACI 546.R, 1996; SOUZA e RIPPER, 1998). A maioria das argamassas prontas indicadas para reparo estrutural encontradas em catálogos de fabricantes, atualmente, são argamassas modificadas com polímeros, e os polímeros podem ser SBR, PVA, acrílico, epóxi, entre outros.

Além de adicionar os polímeros à água de amassamento das argamassas, deve-se preparar uma solução de adesivo com água que será utilizada para a pintura da superfície a ser reparada (SOUZA e RIPPER, 1998), como já foi exposto no item 3.1.4.2, que trata de pontes de aderência.

A argamassa com polímeros tem o uso recomendado para reparos superficiais e semi profundos, ou profundos, no caso do uso de argamassas secas, e são colocadas das mesmas formas que as argamassas de cimento (SOUZA e RIPPER, 1998). Os adesivos epoxis são os que apresentam melhores desempenhos, porém são os de maior custo, além de apresentarem uma descoloração na superfície quando expostos ao sol, devendo ser substituídos por adesivos acrílicos caso a descoloração não seja aceitável (ACI 546.R, 1996). Os adesivos PVA não devem ser usados caso o elemento estrutural tenha contato com a água, sendo os adesivos acrílicos mais indicados para ambientes externos (SOUZA e RIPPER, 1998).

### 3.1.5.6 Argamassas poliméricas

As argamassas poliméricas são aquelas em que o aglomerante é um polímero, é normalmente um produto industrializado (SOUZA e RIPPER, 1998), fornecido em componentes separados que são apenas misturados na obra.

Esse material apresenta vantagens como elevadas resistências químicas e mecânicas, excepcional resistência ao concreto e ao aço, baixa permeabilidade à água e aos agentes agressivos, e cura rápida. Essas propriedades o fazem apropriado para a recuperação de estruturas de concreto armado, principalmente em ambientes agressivos em reparos de pequena extensão e volume, apesar do maior custo em relação aos materiais de base cimento (ACI 546.R, 1996; SOUZA e RIPPER, 1998; RINCÓN *et al*, 2003)

A cura rápida, apesar de ser uma vantagem em questões construtivas, significa também um menor tempo trabalhável para operações de colocação e acabamento, sendo esse tempo variável de 15 minutos a pouco mais de uma hora para a colocação manual da mesma. O módulo de elasticidade da argamassa polimérica pode ser significativamente menor que o do concreto que irá recebê-lo, devendo ser levado em consideração, principalmente em altas temperaturas. Deve-se também considerar sua fraca resistência ao fogo (ACI 546.R, 1996).

Uma variedade de resinas pode ser utilizada para esse fim, incluindo poliéster, acrílica e epóxi. As resinas epóxi são geralmente as de melhor desempenho e uso mais comum, oferecendo vantagens como menor retração e maior resistência química sobre as outras, porém apresentam um maior custo (ACI 546.R, 1996).

Aguado (2003) reúne alguns dos materiais citados nos itens anteriores e define a faixa de espessura de reparo em que cada um é indicado, como segue.

Tabela 3- Espessura de reparo para cada material.

<b>Tipo de material</b>	<b>Espessura do reparo (mm)</b>
<b>Concreto convencional</b>	> 25
<b>Concreto projetado</b>	12 - 25
<b>Argamassa de cimento</b>	12 - 25
<b>Argamassa modificada com polímeros</b>	12 - 25
<b>Argamassa de resina epóxi</b>	6 - 12

(Fonte: AGUADO, 2003, modificado)

### 3.1.5.7 Tratamento de fissuras

Cabe ressaltar, inicialmente, que no caso de corrosão das armaduras, de nada adianta tratar as fissuras sem antes haver eliminado as causas do problema, pois esta manifestação tornará a acontecer (ANDRADE, 1992). Após o tratamento das causas, recomenda-se tratar eventuais fissuras maiores que 0,1 mm para recuperar o monolitismo da estrutura, assim como impedir que a mesma facilite a entrada de agentes agressivos vindos do ambiente externo (SOUZA e RIPPER, 1998).

O tratamento pode ser feito através da injeção das fissuras com material adesivo de baixa viscosidade, na maioria das vezes resina epóxi, ou simplesmente a selagem das mesmas, em que apenas a borda é vedada de maneira a impedir a entrada de agentes externos (QUESADA, 2003).

O processo de injeção pode ser dividido em 6 etapas, são elas: a abertura dos furos ao longo do desenvolvimento das fissuras, os quais devem ser da ordem de 10 mm com espaçamento dependendo da abertura da fissura; a exaustiva limpeza da fissura e dos furos com jatos de ar comprimido e aspiração; a fixação de tubos plásticos nos furos com cola epoxídica, através dos quais será injetado o produto; a selagem superficial da fissura com a mesma cola; o teste com injeção de ar comprimido nos furos para comprovar a intercomunicação dos mesmos e a efetividade da selagem, devendo-se inserir outros furos no meio do caminho caso haja falha no teste; e, finalmente, a injeção tubo a tubo com a resina epóxi até que o material saia pelo furo subsequente (SOUZA e RIPPER, 1998).

### 3.1.6 Proteção superficial do concreto

A proteção contra a corrosão por aplicação de material apropriado na superfície do concreto tem como objetivo evitar ou minimizar o ingresso de agentes agressivos como a água, os íons

cloreto, o CO<sub>2</sub> e o oxigênio, através da camada de cobrimento do concreto (LOURENÇO e SOUZA, 2011). Trata-se de uma proteção indireta contra a corrosão das armaduras, já que atua no concreto para que os agressores não atinjam a armadura, despassivando-a. Dessa forma, de nada adianta aplicar proteções superficiais quando as armaduras já se encontram em estado de corrosão iniciada, podendo, nesse caso, até agravar e acelerar o processo (ANDRADE, 1992).

As proteções superficiais podem ser utilizadas na etapa de construção, como medida preventiva à corrosão, ou após os procedimentos de recuperação da estrutura (ACI 222.R, 2001). Exerce papel importante no desempenho do reparo, pois atuam como um cobrimento de alta qualidade, retardando a despassivação do aço e o processo de corrosão em si e aumentando a vida útil residual da estrutura. Porém, há que se considerar que a vida útil do sistema de proteção é menor que a da estrutura (MEDEIROS, 2008), exigindo manutenções rotineiras, em média a cada 10 a 20 anos (ACI 222.R, 2001).

Atualmente, existem diversos materiais utilizados como proteção superficial para concreto, como as pinturas, os revestimentos à base de cimento ou polímeros e os hidrofugantes. Segundo Medeiros (2008), os mecanismos de ação desses materiais podem ser classificados em grupos, são eles os formadores de películas, os bloqueadores de poros e os hidrofugantes de superfície, esquematizados na Figura 17 a, b e c, respectivamente.

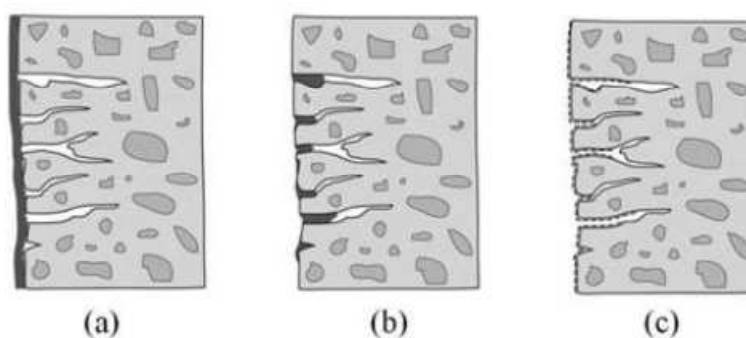


Figura 17- Mecanismos de ação dos materiais de proteção superficial: (a) formadores de película, (b) bloqueadores de poros e (c) hidrofugantes.

(FONTE: BENTUR, DIAMOND, BERKE, 1997 *apud* MEDEIROS, 2008.)

Medeiros (2008) estudou a eficiência de produtos das três categorias citadas, assim como um sistema de dupla proteção com hidrofugante e formador de película. Em todos os casos, os produtos que tem água como solvente apresentaram menor eficiência em barrar o ingresso de água para o interior do concreto. Da mesma forma, foram feitos ensaios em corpos de prova já contaminados por cloretos, onde os sistemas de proteção superficiais também se mostraram

eficiente no controle da velocidade de corrosão. Em ensaios de absorção de água e coeficiente de difusão de cloretos, conclui-se que os formadores de película a base de poliuretano e os sistemas de dupla proteção formados por hidrofugante e formador de película obtiveram os melhores desempenhos. (MEDEIROS, 2008).

#### 3.1.6.1 Pinturas

As pinturas mais comumente utilizadas como protetoras de superfície em concreto, isso é, que não são meramente decorativas, são as de base de resina acrílica, epóxi e poliuretano (LOURENÇO e SOUZA, 2011), as quais conferem uma proteção química à estrutura (RINCÓN *et al*, 2003).

Esse grupo de tratamento requer um substrato liso para aplicação, com poros de abertura máxima de 0,1 mm, e a maioria não é capaz de absorver fissurações da estrutura, rompendo com as movimentações (HELENE, 2000 *apud* MEDEIROS, 2008). No caso de rompimentos e falhas na pintura, haverá a penetração de umidade no concreto. Por isso, os materiais devem inibir a entrada de água no concreto e, ao mesmo tempo, permitir a saída do vapor de água presente no concreto, evitando a formação de bolhas e problemas de aderência à superfície (LOURENÇO e SOUZA, 2011).

As resinas de poliuretano, seguidas das resinas epóxi, apresentam maiores resistências químicas e de aderência, resultando em melhores desempenhos quando comparadas com as de resina acrílica, mas também impedem a saída do vapor de água, devendo-se tomar maior cuidado com possíveis falhas. A resina acrílica tem a capacidade de inibir a entrada da umidade, mas também permitem a saída do vapor de água, além de apresentar menor custo que as demais. Ressalta-se ainda que as resinas epóxi não devem ser utilizadas quando a estrutura é exposta diretamente à luz solar (LOURENÇO e SOUZA, 2011).

Em estudos de laboratório, Lourenço e Souza (2001) constataram que corpos de prova de concreto pintados com esses materiais apresentam permeabilidade em torno de um décimo da permeabilidade dos corpos de prova não revestidos, no qual o maior desempenho foi o revestido com resina poliuretano, seguido dos corpos de prova revestidos com epóxi, e resina acrílica (LOURENÇO e SOUZA, 2011).

#### 3.1.6.2 Revestimentos

São comumente denominados revestimentos (“*overlays*”) os materiais colocados na superfície da estrutura de concreto, em geral argamassas à base de cimento ou polímeros, com espessuras



de aproximadamente 2 a 5 cm. Esses sistemas formam uma superfície de alta resistência química e mecânica, que proporciona uma maior durabilidade frente a ambientes agressivos (ACI, 1996). Em geral, são utilizadas pontes de aderência entre a superfície e o revestimento (ACI 222.R, 2001).

As argamassas à base de cimento possuem uma baixa relação a/c, e normalmente são incorporados aditivos, adições e/ou fibras para melhorar seu desempenho, como por exemplo o concreto modificado com sílica ativa e o concreto modificado com látex, dois tipos frequentemente utilizados para esse fim. A principal deficiência encontrada em análises de desempenho é a retração, por tratar-se de material cimentício (ACI 222.R, 2001).

As argamassas poliméricas apresentam excelente resistência química e permitem menores espessuras (QUESADA, 2003), sendo os polímeros mais utilizados os poliésteres, acrílicos e epóxis. No Brasil, essas argamassas apresentam custo relativamente elevado, sendo mais utilizadas no reparo de estruturas, e não como revestimentos (LOURENÇO e SOUZA, 2011). A formação de bolhas, problemas citados no item de pinturas, também tem sido encontrada em revestimentos desses materiais (ACI 222.R, 2001).

### 3.1.6.3 Hidrofugantes de superfície

Hidrofugantes são materiais capazes de repelir e reduzir significativamente a passagem de água e vapor de água pelo concreto (ACI 222.R, 2001). Os hidrofugantes de superfície são impregnados na superfície do concreto, e adentram alguns milímetros pela camada de revestimento, impedindo a penetração de moléculas de água e substâncias agressivas que eventualmente estão dissolvidas nessa água, por repelência eletrostática (RINCÓN *et al*, 2003).

Apesar de não serem tão eficazes na barreira contra os agentes agressivos em relação aos formadores de película, esses produtos apresentam vantagens pois permitem a saída de vapor d'água, reduzindo riscos de condensação e formação de bolhas. Atualmente, existem no mercado sistemas de proteção que combinam os dois mecanismos de ação, com base silano/siloxano como primer e verniz de acabamento e proteção, combinando as vantagens de ambos (RINCÓN *et al*, 2003). Cabe ressaltar que nenhum dos sistemas de proteção impermeabiliza totalmente a superfície, apenas dificulta o ingresso da umidade, sendo inadmissível o uso desses em substituição de sistemas de impermeabilização (MEDEIROS, 2008).

Os hidrofugantes são muito utilizados em superfícies verticais e inclinadas expostas ao intemperismo, como fachadas de concreto. Estudos mostram que a durabilidade do sistema fica

em torno de 10 anos, devendo ser aplicado em concretos com idade mínima de 6 meses, pois o processo de hidratação deve estar concluído para o bom desempenho desse (JACOB e HERMANN, 1998 *apud* MEDEIROS, 2008).

### 3.2 Métodos Eletroquímicos

Uma alternativa ao método tradicional para a proteção de estruturas de concreto armado à corrosão de armaduras é a utilização dos métodos eletroquímicos, os quais apresentam, em muitos casos, melhor custo-benefício em relação ao primeiro, principalmente em recuperações de grandes áreas (BALL e WHITMORE, 2003).

Os métodos podem ser divididos em 4 categorias: a realcalinização, a extração de cloretos, a proteção catódica por corrente impressa e a proteção catódica por ânodo de sacrifício.

O princípio básico dessas técnicas é a proteção da armadura à corrosão através da criação de uma circulação de corrente entre um eletrodo (ânodo) exposto ao ambiente, e a armadura a proteger, que se torna um grande cátodo. No caso da proteção catódica, a corrente é mantida durante toda a vida da estrutura, enquanto que as outras duas aplica-se um campo elétrico temporário, só até que o agente agressor seja eliminado (LOURENÇO, 2011).

Diferente do método tradicional nos reparos localizados, não é necessário remover todo o concreto contaminado para a aplicação dos métodos eletroquímicos (LOURENÇO, 2011), sendo somente necessário assegurar que a estrutura não está danificada do ponto de vista estrutural, no que se refere à continuidade das armaduras e do concreto. Caso esteja, deve ser realizado um tratamento prévio retirando as camadas de concreto que estão deslocando, preenchendo fissuras e, se necessário, estabelecendo conexões adicionais nas armaduras (GONÇALVES *et al*, 2003).

Assim como o método tradicional, não existem normas brasileiras que orientem o uso dessas técnicas. O *European Committee for Standardization* (CEN) criou uma Especificação Técnica sobre o uso do método de realcalinização (CEN/TS 14038-1:2004), a qual foi transformada em norma (prEN 14038-1:2014), com previsão de aprovação em maio de 2015. A parte 2 dessa especificação técnica trata sobre a extração de cloretos, e foi publicada recentemente, em 2011 (CEN/TS 14038-2:2011). Sobre proteção catódica, a norma EN 12696, da mesma comissão, foi ajustada e publicada pela *International Organization for Standardization* – ISO, em 2012 (ISO

12696:2012). Como se observa, os esforços para a normatização dessas técnicas são muito recentes.

É óbvio que o custo de cada intervenção envolve uma grande quantidade de parâmetros, de forma que a definição de uma média de valor é bastante arriscada (GONÇALVES *et al*, 2003). Porém, Gonçalves *et al* (2003) apresentam os seguintes custos, apenas como uma indicação orientativa: realcalinização em média 100 €/m<sup>2</sup>, extração de cloretos por volta de 150 €/m<sup>2</sup>, proteção catódica por corrente impressa com malha de titânio entre 200 e 300 €/m<sup>2</sup>, proteção catódica por ânodo de sacrifício com pintura condutora 100 €/m<sup>2</sup>, e, por fim, a reparação convencional com grande variação entre 50 e 500 €/m<sup>2</sup>. Cabe ressaltar que esses valores foram estimados na Europa, e a mais de 10 anos, devendo ser analisado apenas a ordem de grandeza e de forma comparativa entre os métodos.

### 3.2.1 Realcalinização

A técnica de realcalinização deve ser empregada quando se deseja reestabelecer as condições de elevado pH do concreto, de modo que a camada passivadora da armadura seja formada novamente (ARAÚJO, 2009).

Há dois meios de se alcançar tal objetivo. O primeiro é a realcalinização química, em que soluções alcalinas aplicadas na superfície do concreto são absorvidas por ações capilares e forças hidráulicas, seguindo pelo interior do concreto por difusão, sem a necessidade de aplicação de corrente. A medida em que as soluções alcalinas penetram no concreto, essas reagem com os produtos contidos na água dos poros, formando novos produtos, os quais propiciam a elevação do pH (ARAÚJO, 2009). As soluções formam frentes de realcalinização que avançam do exterior para o interior do concreto, como mostra a Figura 18.

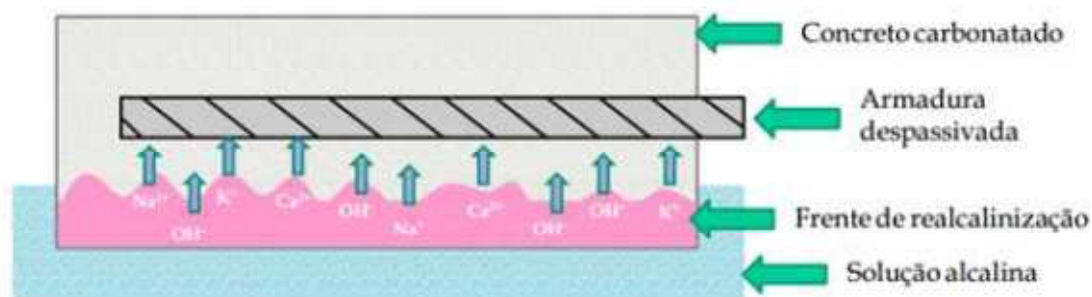


Figura 18- Esquema de Realcalinização Química.

(FONTE: ARAÚJO, 2009.)

Segundo Teixeira (2002, *apud* ARAÚJO, 2009), essa técnica pode ser tão eficiente quando a realcalinização eletroquímica, com a vantagem de não exigir equipamentos e profissionais especializados, e, apesar de ainda não ter sido consagrada no meio técnico, estimula a continuidade dos estudos para a futura aplicabilidade da mesma.

O segundo método possível é a realcalinização eletroquímica, com a aplicação de uma corrente elétrica – através de equipamento apropriado – e consequente formação de um campo elétrico entre a armadura do concreto (cátodo) e uma malha metálica externa (ânodo), normalmente uma malha de aço, encapsulada em um eletrólito. Nesse processo, ocorre a formação de íons hidróxido ( $\text{OH}^-$ ) na interface aço/concreto devido à eletrólise, originando um ambiente alcalino que conduz à repassivação das armaduras. A corrente fornecida faz com que a maioria desses íons se afaste da armadura, aumentando a zona realcalinizada de dentro para fora da camada de cobertura do concreto. Simultaneamente, os íons existentes na solução eletrolítica, sendo a mais recomendada a solução de carbonato de sódio, migram do exterior para o interior do concreto (LOURENÇO, 2011), como mostra a Figura 19.

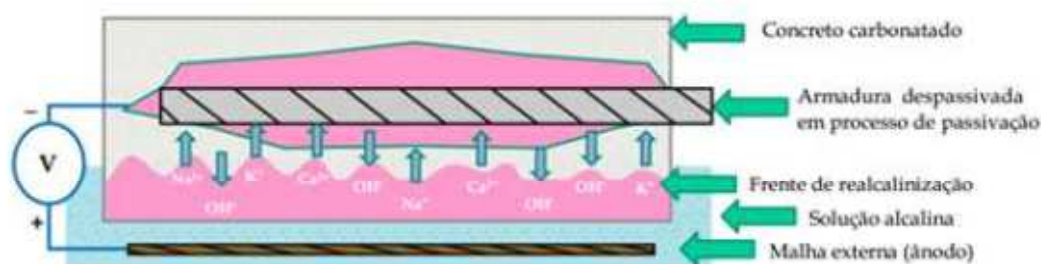


Figura 19- Esquema da Realcalinização Eletroquímica

(FONTE: ARAÚJO, 2009.)

Deve-se atentar para o fato de que nem sempre essa técnica é eficiente na repassivação das armaduras. Nos casos em que a corrosão já foi iniciada, essa poderá não ter a eficácia esperada, sendo mais indicada quando a carbonatação encontra-se apenas no revestimento, sem atingir a armadura. Além disso, nos concretos carbonatados contendo cloretos, a eficácia do método diminui, pois tem seu coeficiente de fluxo diminuído, assim como nos concretos protegidos superficialmente, em que a proteção dificulta a movimentação iônica (ARAÚJO, 2009).

Possíveis efeitos colaterais desse tratamento são a formação de reações álcali-agregado e a perda da aderência de revestimentos externos com o substrato realcalinizado, ocasionando

empolamento, fissuras, eflorescências e destacamento dos revestimentos de pintura (ARAÚJO, 2009).

A duração do procedimento executivo varia de 1 a 2 semanas, dependendo de fatores como o tipo de cimento, porosidade do concreto, entre outros (GONÇALVES *et al*, 2003). A avaliação da eficiência da técnica pode ser feita através de indicador químico de pH, critério mais comumente utilizado, e de medidas eletroquímicas de potencial e velocidade de corrosão (ARAÚJO, 2009).

Deve-se atentar para o pH obtido imediatamente ao término da realcalinização, pois, dada a uma reação natural de equilíbrio com áreas não realcalinizadas, o concreto tratado tende a estabilizar-se com um pH inferior ao obtido ao final do processo (MIETZ, 1998 apud ARAÚJO, 2009). Araújo (2009) recomenda ainda a utilização de um revestimento de proteção de alto desempenho sobre a superfície do concreto para que a proteção obtida na realcalinização seja mantida.

Dado que é uma técnica relativamente recente, a durabilidade das estruturas realcalinizadas ainda é pouco conhecida. Em pesquisa bibliográfica, Araújo (2009) verificou que não há ainda um consenso na literatura em relação à eficácia da técnica eletroquímica na reconstituição da película passivadora da armadura, porém, estudos em estruturas reais até 10 anos após o tratamento não registram insucessos, sendo esta uma técnica bastante promissora (ARAÚJO, 2009).

Araújo (2009) estudou a repassivação da armadura em concretos carbonatados através da realcalinização química (RAQ) em condições de carbonatação acelerada em laboratório, e realizou comparações entre a nova técnica e a atual técnica eletroquímica (RAE). Na situação onde a corrosão ainda se encontrava em fase de iniciação, a RAQ apresentou resultados satisfatórios na repassivação das armaduras, da mesma forma que a RAE. Porém, confirmando o recomendado na literatura, a eficácia das técnicas foi comprometida quando a corrosão da armadura já se encontrava na fase de propagação (ARAÚJO, 2009).

### 3.2.2 Extração de Cloretos

O método de extração eletroquímica de cloretos, também chamado de dessalinização, oferece uma alternativa atrativa ao método de recuperação tradicional nos casos em que os elementos

estruturais encontram-se muito contaminados, ou seja, em que não é viável a execução do reparo localizado (MONTEIRO, 2002).

Da mesma forma que a realcalinização, a extração de cloretos é um método eletroquímico aplicado temporariamente, e objetiva a diminuição do teor de cloretos a níveis insignificantes. A execução da técnica consiste, igualmente, na aplicação de uma corrente elétrica contínua entre a armadura (cátodo) e uma malha metálica externa (ânodo), encapsulada num eletrólito. Nesse método, a malha mais comumente utilizada é a de titânio, ânodo inerte e não consumível, enquanto que o eletrólito é normalmente a água, devido ao seu baixo custo e fácil acesso, podendo ser substituída por soluções de hidróxido de cálcio caso essa acidifique e atinja valores de pH menores que 6 (LOURENÇO, 2011).

Com a aplicação da corrente, durante o procedimento, ocorre a formação de íons  $\text{OH}^-$  na interface aço/concreto devido à eletrólise, o que aumenta a relação  $\text{Cl}^-/\text{OH}^-$  e proporciona um ambiente alcalino, favorecendo a repassivação da armadura. Simultaneamente, ocorre a eletromigração, onde os íons cloretos (carregados negativamente) são atraídos para o ânodo externo (carregado positivamente), e os íons sódio, potássio e cálcio (carregados positivamente) migram em direção à armadura, cátodo carregado negativamente (LOURENÇO, 2011), como mostra a Figura 20.

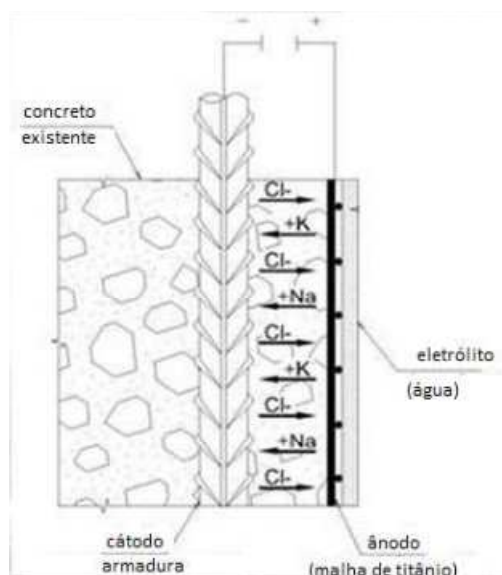


Figura 20- Esquema da extração eletroquímica de cloretos.

(FONTE: GONÇALVES et al, 2003.)

A duração do procedimento executivo varia de 4 a 10 semanas (GONÇALVES *et al*, 2003), dependendo da concentração inicial de cloretos, da qualidade do concreto, da geometria da

estrutura, entre outros (LOURENÇO, 2011). A avaliação da eficiência da técnica pode ser feita através de medidas de potencial ou, indiretamente, através do teor de íons cloreto, mas é necessário aguardar semanas para se obter potenciais representativos, devido à polarização que as armaduras sofrem durante o tratamento. Os possíveis efeitos colaterais do procedimento são basicamente os mesmos da realcalinização (MONTEIRO, 2002).

A durabilidade do tratamento depende da porcentagem remanescente de cloretos que ficaram na estrutura. Se o teor de cloretos for diminuído até abaixo do nível crítico, e se forem aplicadas posteriormente proteções superficiais ao concreto, estima-se uma durabilidade do método superior a 10 anos, já que esse é um método recente e não existem casos documentados superiores a esse tempo (GONÇALVES *et al*, 2003). O ACI 222.3R (2003) comenta que a durabilidade e definição da vida útil residual da estrutura após o processo é incerta, já que o mesmo está em uso a pouco tempo, e também ressalta a importância de aplicar-se uma proteção superficial ao concreto posteriormente ao tratamento.

Monteiro (2002) avaliou o método realizando ensaios de laboratório em corpos de prova. Nas conclusões, registrou que foram removidos 78% dos íons cloreto nas séries cuja penetração de cloretos se deu através de câmara de névoa salina e 91% nas séries onde a penetração foi por semiciclos de secagem e imersão parcial, mostrando elevada eficiência do processo, superando as expectativas do autor em relação ao indicado na literatura.

Miranda *et al* (2003) estudaram tanto o método de extração de cloretos quanto o de realcalinização, confirmando que os métodos eletroquímicos devem ser usados como prevenção da corrosão, porém, uma vez que a armadura já se encontra em processo corrosivo, tais métodos não apresentam os resultados desejados.

### 3.2.3 Proteção catódica por corrente impressa

O princípio básico da proteção catódica consiste em situar o aço na zona de imunidade do diagrama de Pourbaix (ver Figura 1), transformando toda a armadura em um grande cátodo (ANDRADE, 1992). Isso se consegue através do método de corrente impressa ou da utilização dos ânodos de sacrifício, sendo que esse último será detalhado no item a seguir.

Diz-se que a proteção catódica por corrente impressa pode ser economicamente vantajosa no tratamento e proteção de grandes áreas, em que os maiores custos iniciais são compensados ao

longo da vida útil, dada a alta durabilidade conferida. Porém, esse método é permanente e atua durante toda a vida da estrutura, requerendo inspeções periódicas e manutenção do sistemas, devendo-se optar por outro método caso isso não seja viável (BALL e WHITMORE, 2003). É particularmente indicada no reparo de estruturas contaminadas por cloretos e é considerada a única técnica capaz de eliminar a corrosão já iniciada (ANDRADE, 1992).

Essa técnica, assim como as duas já comentadas, usa uma fonte externa de energia para imprimir uma corrente do ânodo para o cátodo, sendo que, ao contrário das anteriores, é um processo permanente durante toda a vida da estrutura (COSTA E ETCHEVERRY, 2005). Da mesma forma que os anteriores, há a produção de íons (OH<sup>-</sup>) na interface aço/concreto, os quais junto com os íons cloreto (Cl<sup>-</sup>) migram para junto do ânodo, enquanto que os íons de carga positiva (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>) migram para junto da armadura. Dessa forma, a aplicação de proteção catódica também atua na realcalinização e dessalinização da camada junto à armadura, contribuindo para a reformação do filme de passivação da mesma. Além disso, a aplicação de corrente na armadura diminui o seu potencial de corrosão para um nível em que a velocidade de corrosão é zero ou quase zero, eliminando ou reduzindo suficientemente o processo de corrosão (LOURENÇO, 2011).

Os componentes básicos do sistema são: o ânodo, sendo o mais utilizado em estruturas de concreto as malhas de titânio; o cátodo, que é a armadura a proteger; o eletrólito (concreto) e a fonte externa de energia contínua, que pode ser solar, baterias, geradores ou transformadores retificadores, sendo esse último o mais utilizado (LOURENÇO, 2011).

O sucesso da aplicação da proteção catódica depende principalmente da acertada seleção do sistema anódico mais apropriado, da correta instalação e do monitoramento do sistema durante a vida útil da estrutura (LOURENÇO, 2011). De acordo com o ACI 222.3R, avaliações da “*Federal Highway Administration*” em pontes com sistema de proteção catódica por corrente impressa instalada, nos Estados Unidos e Canadá, mostram que o sistema continua a operar com sucesso depois de 16 a 18 anos, e os monitoramentos continuam.

#### 3.2.4 Ânodo de sacrifício – Proteção galvânica

Os ânodos de sacrifício são um tipo especial de ânodo utilizados para proteção catódica, sendo, quando do seu uso, muitas vezes chamada de proteção galvânica. Apresentam como vantagem a criação de corrente internamente através de uma reação natural, onde o ânodo corrói para



proteger galvanicamente a armadura, atuando como ânodo de sacrifício (ACI RAP BULLETIN 8, 2005).

O sistema funciona com o uso de metais mais eletronegativos do que o aço carbono, como alumínio, magnésio e zinco, formando uma célula galvânica com a armadura do concreto, a qual transforma-se num grande cátodo (WHITMORE, 2014). Com a formação da célula, os metais instalados corroem no lugar das armaduras, atuando como ânodos. Esses devem ser adicionados à estrutura em quantidade suficiente para atingir a vida útil desejada (COSTA e ETCHEVERRY, 2005).

A proteção galvânica opera naturalmente através das reações eletroquímicas entre os metais, sem a necessidade de uma fonte externa de energia como na proteção catódica tradicional, diminuindo o custo do sistema por menor necessidade de manutenção e eliminação dos custos de operação (WHITMORE e BALL, 2005). Esse método é vantajoso pela simplicidade do mesmo, tanto na instalação como na etapa de monitoramento e manutenção, que é mínima (WHITMORE, 2014). Só deverá ser utilizado, porém, em concretos com baixa resistividade, pois o mesmo não pode opor resistência à passagem da corrente, que não é tão alta quanto quando do uso de fontes externas de energia (COSTA e ETCHEVERRY, 2005; LOURENÇO, 2011).

São utilizados dois tipos de proteção galvânicas: os ânodos discretos para proteção localizada e os ânodos distribuídos, para a proteção global da estrutura.

Os ânodos discretos embebidos em argamassas são utilizados em conjunto com o sistema tradicional de reparo localizado, e são instalados junto às armaduras no perímetro da área que está sendo recuperada, protegendo sacrificialmente a armadura adjacente (BALL e WHITMORE, 2003; ACI, 2005), como mostra a Figura 21.



Figura 21- Ânodos de sacrifício discretos.

(FONTE: WHITMORE, 2014.)

Os ânodos distribuídos consistem em malhas ou tiras metálicas, normalmente de zinco, embebidas em uma camada protetora de material cimentício, ou capas metálicas aplicadas diretamente na superfície do concreto na forma de tintas ou sprays, também usualmente de zinco (BALL e WHITMORE, 2003). Esses sistemas são usados para a proteção global ou de grande parte da estrutura, sendo o ânodo distribuído por largas áreas.

As capas metálicas, quase sempre de zinco, são aplicadas através de sprays ou pinturas na superfície preparada do concreto, como mostra a Figura 22, normalmente em conjunto com proteções superficiais, e atuam ao mesmo tempo como barreira aos agentes externos e como proteção galvânica da estrutura. A qualidade da aplicação é extremamente importante, pois pequenos defeitos podem provocar o efeito contrário do desejado, ou seja, causar a aceleração do processo de corrosão (COSTA e ETCHEVERRY, 2005).



Figura 22- Capas metálicas aplicadas por spray.

(FONTE: COSTA e ETCHEVERRY, 2005.)

De acordo com Costa e Etcheverry (2005), as capas metálicas são muito eficientes em ambientes quentes e úmidos, como estruturas construídas em ambientes marinhos, e essas vem sendo utilizadas com sucesso na proteção de estruturas em diversos ambientes. Fabricantes recomendam a sua utilização em qualquer nível de dano, não sendo necessário o corte do concreto deteriorado, e dão prazo mínimo de garantia de 20 a 25 anos.

## 4 METODOLOGIA

O presente trabalho apresenta considerações sobre a eficiência dos métodos de recuperação de estruturas de concreto armado deterioradas por corrosão das armaduras, através de pesquisa bibliográfica e estudos de caso, e foi conduzido conforme metodologia esquematizada no fluxograma da Figura 23.

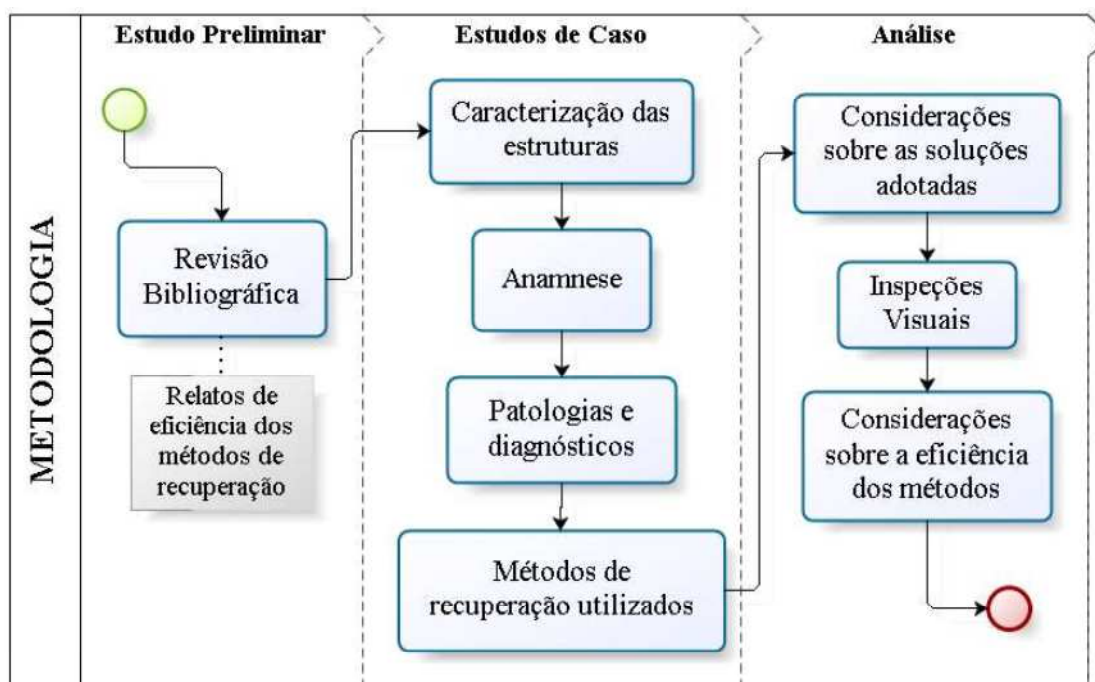


Figura 23 – Organograma do projeto.

Como estudo preliminar, foi elaborada uma revisão bibliográfica a partir de livros, teses, dissertações e artigos técnicos sobre o tema. Informações consideradas pertinentes foram agrupadas para o perfeito entendimento do problema e de modo a embasar a análise dos resultados que foram obtidos neste trabalho. Além disso, no capítulo sobre recuperação das estruturas, buscou-se apresentar resultados de trabalhos que avaliaram a eficiência de cada método, quando encontrados na literatura.

Para o estudo de caso, buscou-se selecionar estruturas que sofreram procedimentos de recuperação a no mínimo 5 anos, após terem sido diagnosticadas com problemas de corrosão de armaduras. Outro critério de seleção foi a disponibilidade de documentação suficiente e detalhada sobre os procedimentos de recuperação, de modo a possibilitar a análise do desempenho dos métodos.

Inicialmente, buscou-se caracterizar as estruturas, a fim de que o leitor visualize com clareza o objeto de estudo. Materiais, tipologias construtivas e disposição dos elementos existentes foram descritos, assim como o histórico das edificações e relatos de intervenções.

Em seguida, foram relatadas as manifestações patológicas encontradas anteriormente à recuperação, baseado em relatórios técnicos de inspeções e no projeto de recuperação. Em conjunto, expõe-se os diagnósticos apresentados pela empresa responsável pelo projeto de recuperação.

Finalizando a etapa de estudo do organograma da Figura 23, as soluções adotadas no projeto de recuperação foram apresentadas, detalhando-se todo o processo executivo proposto e os materiais utilizados.

Passou-se então para a etapa de análise, terceira etapa do organograma. Procurou-se identificar as decisões técnicas que nortearam a escolha dos métodos adotados, e avaliar a sua adequabilidade à situação específica das edificações em estudo. Para a avaliação do plano de recuperação, foi utilizado o que sugere a norma ACI 222.3R (2003), envolvendo a análise de informações da estrutura e do ambiente, identificação de opções de recuperação viáveis, e análise técnica da alternativa em comparação com as demais.

Dando continuidade, inspeções visuais criteriosas das estruturas foram realizadas, englobando todas as áreas recuperadas. Como exposto no capítulo 2 deste trabalho, a corrosão das armaduras geralmente apresenta manifestações patológicas típicas, passíveis de identificação por inspeção visual; são elas: manchas de óxidos/hidróxidos na superfície da peça (ferrugem), desagregação e deslocamento do concreto e fissuras paralelas às armaduras. Importante também é a localização de manchas de umidade, por este ser um fator determinante e acelerador das reações de corrosão. Cabe ressaltar que em níveis não tão avançados do processo, a corrosão pode estar instalada sem nenhum sinal visível.

A sistemática adotada neste trabalho foi a realização de inspeções na estrutura em estudo, que consistiram em exames visuais pormenorizados, com o objetivo de identificar e caracterizar as manifestações patológicas associadas à corrosão de armaduras, para posterior avaliação.

Durante as inspeções, focou-se nos seguintes aspectos:

- a) Identificação de agressividade dos ambientes;

- b) Identificação e mapeamento das manifestações patológicas, com registro fotográfico, através de vistoria elemento por elemento;
- c) Anotações de espessuras de revestimento, zonas de infiltração, estimativa de perda de seção de armaduras expostas, entre outros aspectos relevantes à análise.

Por fim, baseada nas observações em campo, mapeamentos e fotos resultantes da inspeção, foram feitas considerações sobre a eficiência dos métodos adotados. Além disso, de acordo com a metodologia de avaliação de um plano de recuperação apresentada pela norma americana ACI 222.3R (2003), após a análise da estrutura deve-se buscar as diversas opções de recuperação viáveis, analisando tecnicamente a alternativa adotada em comparação com as demais, procedimento esse que foi seguido para a análise proposta.

## 5 ESTUDO DE CASO

Foram selecionadas para estudo edificações na cidade do Rio de Janeiro, localizadas na Ilha do Governador, às margens da Baía de Guanabara. As estruturas das edificações foram vistoriadas por empresa contratada em 2000, a qual emitiu relatório técnico detalhado com os resultados da inspeção, ensaios, diagnóstico, e o projeto de recuperação dessas. Uma segunda empresa foi contratada para a execução dos serviços de reparo, que tiveram início e término no ano 2001.

Em 2015, foi feita uma nova vistoria no complexo de edificações para a identificação da atual situação da estrutura. Os resultados foram comparados com os apresentados em 2000, anteriores à recuperação, avaliando-se o desempenho do método adotado.

### 5.1 Anamnese

Os dados coletados de caracterização e histórico das estruturas foram retirados do relatório técnico feito pela empresa contratada para a elaboração do projeto de recuperação, o qual foi baseado em desenhos da época de construção e em informações cedidas por trabalhadores do local. Em vistoria feita por esta autora, a qual será descrita em item posterior, foram comprovadas as características expostas no relatório, isso é, aquelas em que isso foi possível apenas com a inspeção visual.

O edifício foi construído em 1980, sendo inaugurado para uso em janeiro de 1981. É composto por um conjunto de edificações, das quais duas serão objeto de estudo neste trabalho, o prédio principal e um dos prédios de apoio, que serão tratados separadamente.

O prédio principal trata-se de uma edificação em concreto armado, com vigamento reticulado do tipo Vierendeel, com peças de altura total de 115cm, com banzos superior e inferior, respectivamente, com 30 e 50cm, aberturas de 35cm, e espessura constante de 13cm. Além do vigamento, a cobertura apresenta, em alguns trechos, laje maciça superior apoiada nas vigas, e, em outros, laje inferior ao vigamento, suspensa no mesmo por pilaretes também de concreto armado, que funcionam como tirantes.

O segundo prédio, de atividades de apoio, foi construído em estrutura absolutamente convencional de concreto armado, em dois pavimentos. Uma cozinha fica localizada no

pavimento superior, e vem causando problemas de infiltração na laje do pavimento inferior durante toda a vida da estrutura.

Em 1999, aproximadamente 10 anos após a colocação dos tirantes de reforço na estrutura do prédio principal, e 20 anos de vida útil da estrutura, foi realizada uma vistoria, com o objetivo principal de verificar as condições de conservação e comportamento dos reforços. A vistoria estendeu-se a todos os prédios do complexo, relatando-se as condições de conservação das estruturas, tendo sido identificadas manifestações patológicas relacionadas à corrosão de armaduras no prédio principal e de apoio em estudo. Na época, algumas áreas no prédio de apoio já se encontravam desativadas em função da grande umidade e bolor existente, causadas por infiltrações no piso da cozinha, localizada no piso superior.

Com base nas recomendações contidas no relatório de 1999, no ano de 2000, foi contratada uma empresa especializada em recuperação de estruturas de concreto para avaliar as estruturas e elaborar projeto de recuperação. O relatório da empresa contratada é bastante completo, apresentando caracterização da estrutura, resultados de inspeção visual detalhada e de ensaios químicos, mapeamento das manifestações patológicas, diagnóstico das patologias, e projeto de recuperação, acompanhada de planilha orçamentária para a execução dos serviços.

## 5.2 Inspeção e análise feitas por empresa contratada

Diante da indisponibilidade dos projetos da época de construção das edificações, a empresa realizou um levantamento de campo para a reconstrução das plantas e obtenção de dados necessários. Coletou também o histórico até aqui apresentado, dos problemas relatados e soluções adotadas.

Em vistoria no prédio principal, a empresa relatou a existência de anomalias relacionadas ao processo de corrosão em pontos localizados nas vigas Vierendeel e na face inferior das lajes. A Figura 24 mostra alguns dos pontos com manifestações patológicas nas vigas, em fotos tiradas pela empresa, com impregnação de fungos e manchas de infiltrações (Figura 24a), e deslocamento do concreto de cobertura e exposição da armadura (Figura 24b e c).



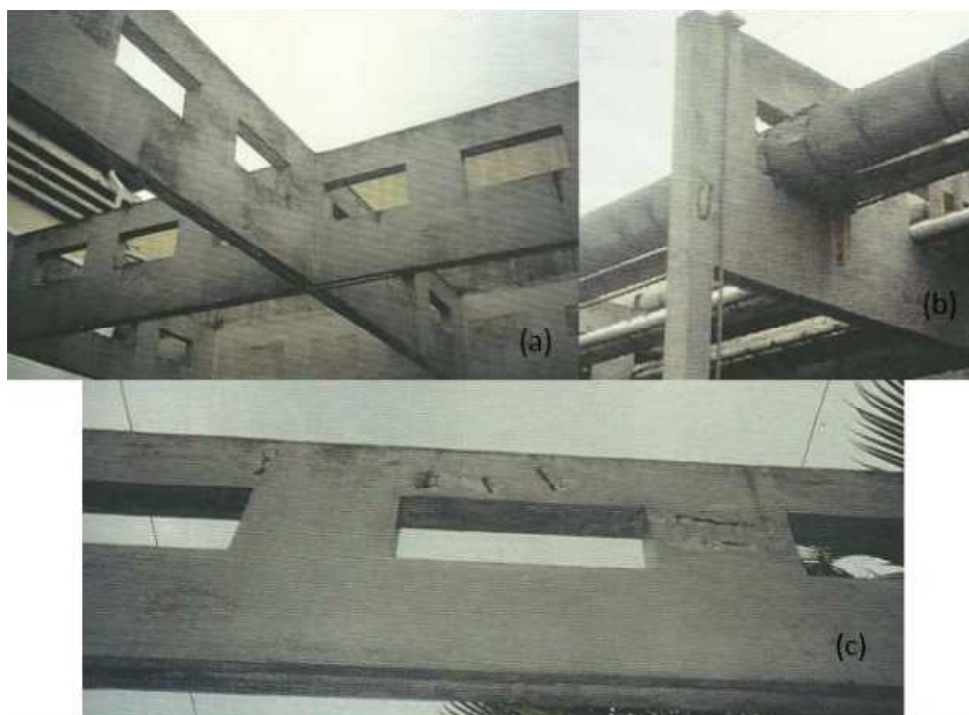


Figura 24- Vigas Vierendeel em 2000 - (a) infiltração e fungos, (b) e (c) destacamento do concreto e armadura exposta.

Nas lajes foram identificadas na época, além dessas patologias, espessuras de cobrimento praticamente nulas e infiltrações provenientes do acúmulo de água proporcionado por telhas quebradas, condensação de tubulações e vencimento da vida útil dos sistemas de impermeabilização. A Figura 25 apresenta anomalias em pontos localizados na face inferior das lajes, em fotos também tiradas pela empresa, apresentando o cobrimento praticamente nulo (Figura 25a), armadura exposta (Figura 25b), fissura com mancha de carbonatos (Figura 25c), o comprometimento próximo à luminária decorrente de percolação de água no local com consequente corrosão das armaduras (Figura 25d), e, por último, junta de dilatação deteriorada com vida útil vencida, e corrosão de armadura adjacente (Figura 25e).

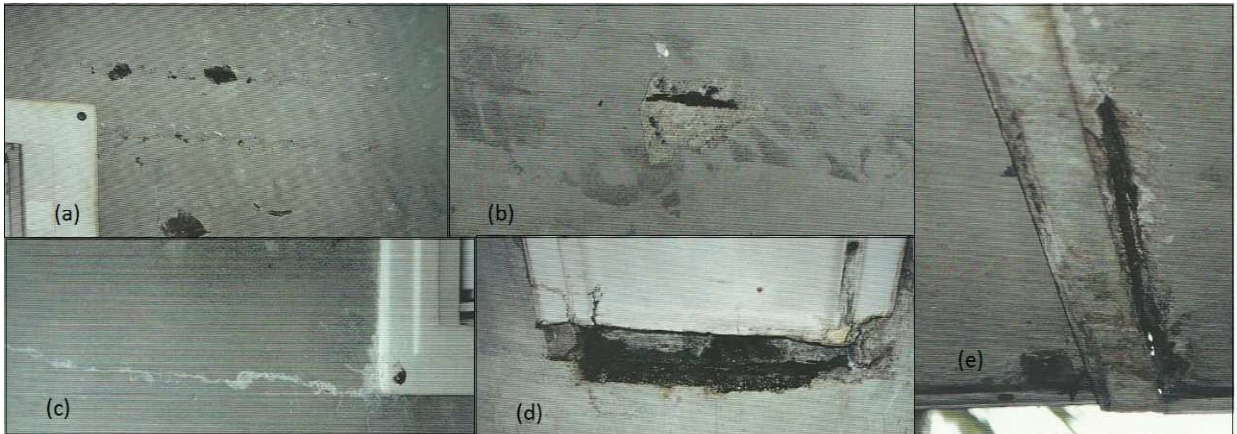


Figura 25- Laje do prédio principal em 2000 – (a) cobertura quase nula, (b) armadura exposta, (c) fissura, (d) comprometimento próximo à luminária e (e) junta de dilatação deteriorada com armadura exposta.

Durante a inspeção, foi realizado um mapeamento das manifestações patológicas identificadas. Códigos numéricos e traços foram utilizados para a identificação das mesmas, sendo:

- 1- Armadura exposta e corroída;
  - 2- Deslocamento do concreto;
  - 3- Infiltração, e
- Traço para o desenho das fissuras.

O mapeamento das vigas foi feito elemento por elemento, e apresentado em caderno anexo ao relatório. Exemplo desse mapeamento está apresentado na Figura 26, a qual mostra o eixo 1 do vigamento, nas suas duas faces. Como pode ser visto, esse trecho contém armaduras expostas, deslocamento de concreto e fissuras em pontos localizados do elemento.

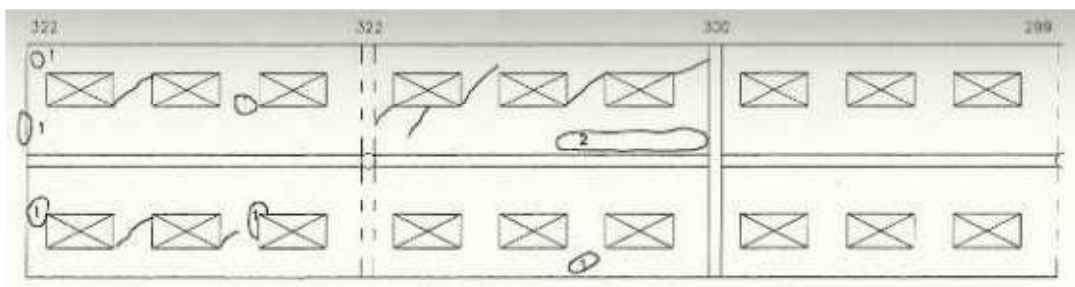


Figura 26 - Mapeamento das Vigas Vierendeel - Eixo 1 – Ano 2000.

Já o mapa das anomalias encontradas na face inferior das lajes foi apresentado em planta, e exposto na Figura 27, com manifestações também em pontos localizados.

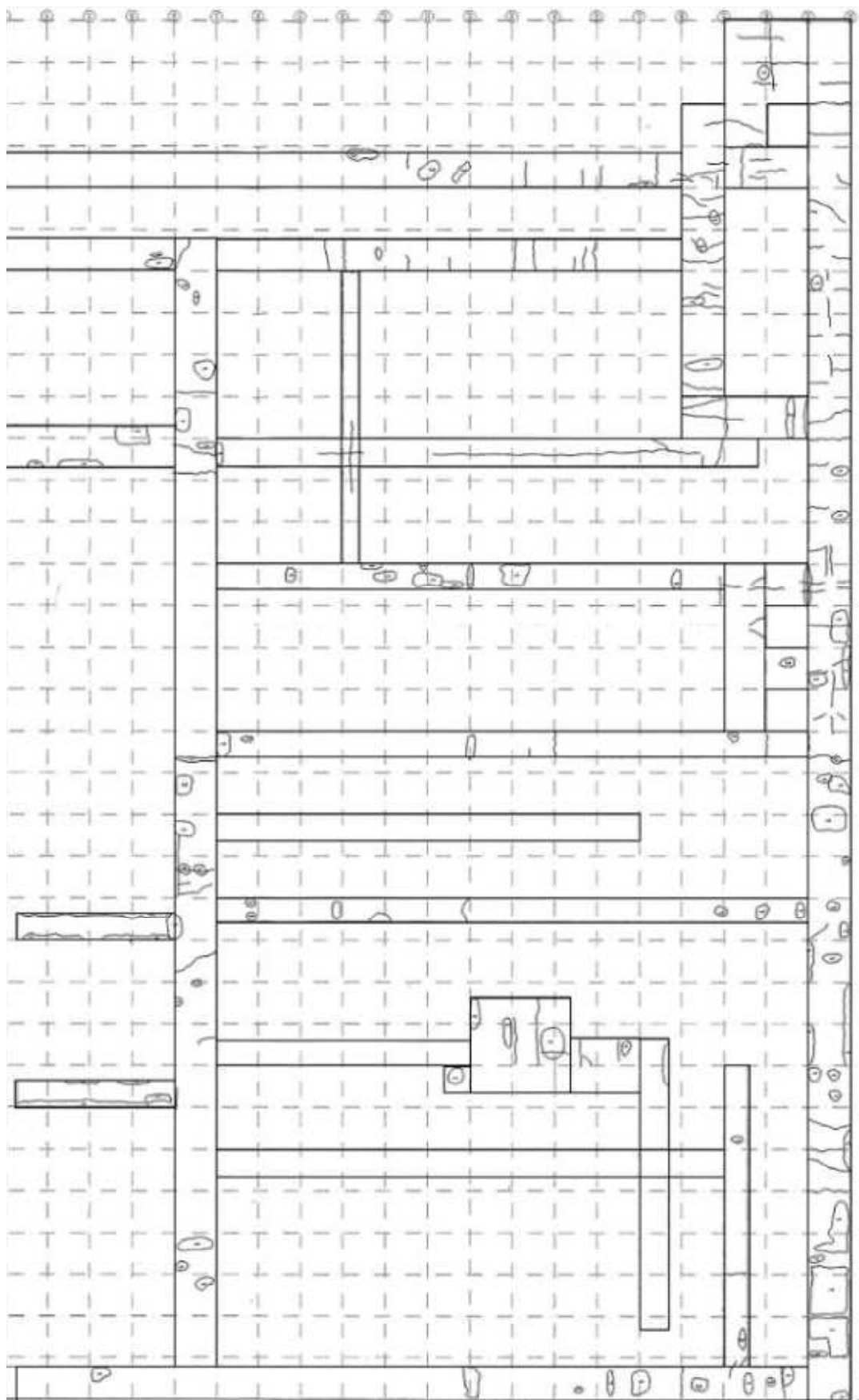


Figura 27- Mapeamento das anomalias da face inferior das lajes do prédio principal  
- Ano 2000.

No prédio de apoio, a situação de degradação foi considerada bem mais crítica, como pode ser visto na Figura 28, principalmente na área abaixo da cozinha, a qual já havia sido interdita na época. Foram identificadas fissuras, armaduras expostas em adiantado processo de corrosão (Figura 28b, c), infiltrações generalizadas (Figura 28a, c), inclusive com a formação de estalactites (Figura 28a). Além da baixa espessura de cobrimento nas vigas e lajes (Figura 28d), a deterioração foi acentuada pela intensa atividade de lavagem do piso superior, utilizando-se de produtos químicos à base de cloro, assim como de vapores de água desprendidos por equipamentos de cozinha.



Figura 28- Prédio de Apoio em 2000 – (a) Infiltração e estalactites, (b) Armaduras corroídas, (c) Corrosão de armaduras, manchas e infiltração abaixo da cozinha, (d) Cobrimento quase nulo.

Da mesma forma que no prédio principal, foi realizado o mapeamento do prédio de apoio, apresentado na Figura 29. A área abaixo da cozinha, que se encontrava interdita, é a metade inferior do mapa.

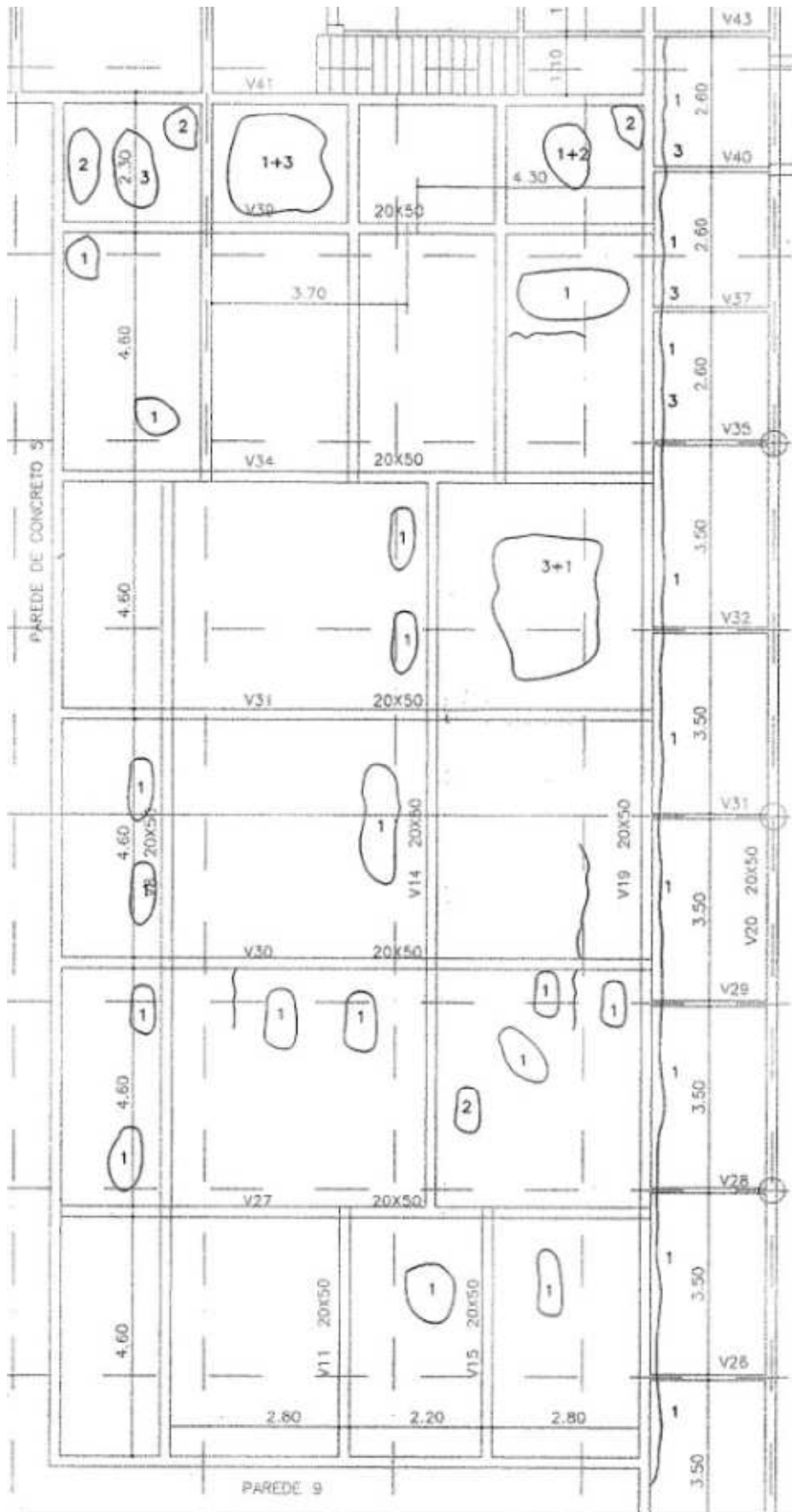


Figura 29- Mapeamento das anomalias do prédio de apoio.

Além da inspeção visual e mapeamento das manifestações, a empresa contratada realizou ensaios de carbonatação e teor de cloretos nas vigas e lajes, cujos procedimentos foram apresentados no capítulo 2 deste trabalho. Foram também realizados ensaios de potencial de corrosão, método auxiliar no diagnóstico de corrosão de armaduras, o qual fornece referência sobre as zonas eletroquimicamente mais ativas, ou seja, com maior disposição à corrosão.

O ensaio de carbonatação foi realizado em “janelas” de 15x15cm abertas no concreto com talhadeira, a uma profundidade maior ou igual à espessura de cobrimento. Os resultados encontram-se na Tabela 4, e, de acordo com relatório técnico da empresa, indicam que a corrosão por carbonatação está relacionada com as baixas espessuras verificadas em determinadas peças estruturais. Os primeiros corpos de prova, de 1 a 5, foram retirados das vigas vierendeel, enquanto que os demais foram extraídos do prédio de apoio.

Tabela 4- Resultado dos ensaios de carbonatação realizado pela empresa em 2000.

Ensaio n	Peça	Localização	Espessura de Carbonatação		Espessura de cobrimento (cm)	Espessura do corte (cm)
			máxima	mínima		
1	Viga	Principal	0	0	3,00	2,36
2	Viga	Principal	1,20	0	0,90	2,80
3	Viga	Principal	0,30	0	2,90	4,60
4	Viga	Principal	1,00	0,50	3,00	4,00
5	Viga	Principal	0,50	0,40	3,00	3,50
6	Viga	Apoio	1,80	1,80	1,10	1,80
7	Laje	Apoio	2,50	2,50	0,50	2,50
8	Viga	Apoio	3,00	3,00	1,20	3,00
9	Viga	Apoio	2,50	2,50	0,50	2,50
10	Laje	Apoio	1,80	1,80	0,30	1,80
11	Laje	Apoio	2,00	2,00	0,50	2,00

O ensaio de teor de cloretos foi realizado em amostras de pó do concreto retirado com o emprego de furadeiras nas profundidades de 1,5 e 3,0 cm, utilizando-se o método especificado pelo ACI 318. Os resultados estão apresentados na Tabela 5. Quando comparados com o valor crítico sugerido pela norma americana, de 0,3%, a empresa considerou que os valores maiores deveriam estar associados com a utilização de produtos com cloro na limpeza do piso da cozinha.

Tabela 5- Resultado dos ensaios de teor de cloretos realizado pela empresa em 2000.

Ensaio n	Peça	Localização	Profundidade (cm)	Teor de Cloretos (%)
1	Laje	Apoio	1,50	0,14
2	Laje	Apoio	3,00	0,12
3	Viga	Apoio	1,50	0,47
4	Viga	Apoio	3,00	0,34
5	Laje	Apoio	1,50	0,34
6	Laje	Apoio	3,00	0,30
7	Viga	Apoio	1,50	0,22
8	Viga	Apoio	3,00	0,22
9	Viga	Principal	1,50	0,22
10	Viga	Principal	3,00	0,11
11	Viga	Principal	1,50	0,07
12	Viga	Principal	3,00	0,10
13	Viga	Principal	1,50	0,23
14	Viga	Principal	3,00	0,10
15	Viga	Principal	1,50	0,23
16	Viga	Principal	3,00	0,11

Os ensaios de potencial de corrosão foram realizados nas regiões aparentemente sãs, com o objetivo de identificar uma predisposição para a corrosão generalizada, dada a ausência de problemas localizados. Os resultados dos ensaios estão expostos no Anexo A, tendo apresentado somente valores mais positivos do que -200 mV, o que, de acordo com análise da empresa, baseada na norma americana ASTM C-876/87, correspondem a uma probabilidade de existência de corrosão menor do que 10%.

Paralelamente à análise de durabilidade dos prédios, a empresa realizou análise estrutural das vigas Vierendeel e tirantes de suporte às lajes no prédio principal. Especial atenção foi dada à área em ocorreu o desabamento parcial da laje inferior de uma das alas do prédio devido à problemas de corrosão de armaduras, como já citado anteriormente. Também foi considerado o acréscimo de peso próprio das lajes em relação ao projeto, devido ao enchimento das lajes proveniente de camadas de massa utilizadas como medidas paliativas para conter infiltrações durante o decorrer da sua vida útil.

Finalmente, depois de todo o estudo exposto, a empresa chegou ao diagnóstico das patologias dos dois prédios estudados.

No prédio principal, apesar do comportamento estrutural quanto ao estado limite último das vigas Vierendeel ter sido considerado satisfatório, as condições de serviço foram consideradas críticas. Essa conclusão foi função do elevado nível de tensão das armaduras, com implicações no que tange ao estado limite de fissuração, além da elevada esbelteza das peças, implicando em alta densidade de armadura e baixo cobrimento das mesmas. Esses fatores, juntando-se ao fato de que as vigas estão diretamente expostas ao ambiente, tornaram as barras susceptíveis a processos de corrosão. Nas lajes, nenhum problema especial foi encontrado, havendo deficiências localizadas caracterizadas também por baixas espessuras de cobrimento e agravadas por infiltrações provenientes do acúmulo de água sobre as lajes, proporcionado por telhas quebradas da cobertura e condensação das tubulações de ar refrigerado, causando fissuras, desagregação do concreto e armaduras expostas, associadas à corrosão das armaduras.

No prédio de apoio, a situação foi considerada mais crítica, dado o avançado grau de deterioração das estruturas em questão, notadamente no teto do primeiro pavimento, na região localizada abaixo de onde funciona a cozinha. A avançado quadro de corrosão e infiltração generalizada foi creditado a questões de qualidade dos métodos executivos na época de construção, identificadas pelo reduzido cobrimento das armaduras e a própria qualidade do concreto, além dos vazios, corroboradas pela intensa atividade de lavagem do piso superior, provavelmente com produtos químicos à base de cloro, assim como de vapores de água despendidos pelos equipamentos de cozinha.

### 5.3 Projeto de Recuperação

No prédio principal, foram previstos em projeto a retirada de camada de enchimento das lajes para aliviar as tensões das vigas vierendeel, reforços na laje inferior no trecho em que foi feito um acréscimo de cobertura com a construção de vigas invertidas no local, e a pré-compressão dos tirantes de reforço existentes. Tais ações atuam como reforços estruturais, e não serão detalhadas, pois fogem do escopo deste trabalho.

Em projeto de recuperação, foram previstos, nas vigas e lajes do prédio principal, serviços de reparo localizados, os quais serão detalhados mais adiante, além de impermeabilização da laje com manta asfáltica. Após o término dos serviços de recuperação, foi prevista uma proteção superficial dos elementos através de lixamento mecânico para abrir a porosidade e remover impurezas e pinturas existentes, lavagens da superfície com jato de água à alta pressão para a remoção de fungos e detritos ainda remanescentes, obturação dos poros do concreto de



superfície através de estucagem para homogeneização da textura, e, finalmente, a aplicação de sistema protetor a base de verniz acrílico disperso em solvente em uma demão de primer hidrofugante à base de silano-siloxano e duas demãos de acabamento.

No prédio de apoio, identificou-se a necessidade de intervenção total da área abaixo da cozinha, além de problemas localizados no restante do prédio. Em toda a laje e face inferior das vigas desse prédio foi feita uma recuperação generalizada, diferenciando-se dos serviços de recuperação localizados adotados no prédio principal. Previu-se também uma impermeabilização com manta asfáltica e proteção mecânica argamassada no piso do pavimento superior.

Os processos executivos e materiais a serem utilizados, previstos no projeto de recuperação, serão apresentados em duas etapas. Primeiramente, será descrito o procedimento de recuperação localizada a ser aplicado nas vigas e lajes do prédio principal e nas áreas menos afetadas do prédio de apoio. Em seguida, apresenta-se o procedimento de recuperação generalizada a ser utilizado nas lajes e vigas do pavimento inferior localizado abaixo da cozinha, no prédio de apoio.

Cabe ressaltar que a empresa responsável pelo projeto evidenciou a necessidade de contratar empresa especializada em serviços de recuperação estrutural para executar os procedimentos descritos.

### 5.3.1 Projeto de recuperação localizada

O projeto de recuperação previu, inicialmente, a delimitação das áreas de corte da estrutura, após criteriosa inspeção e localização das regiões que apresentavam anomalias, como desagregação do concreto, armaduras expostas e fissuração típica do processo. Exigiu-se técnico especializado e acompanhamento de engenheiro patologista para a execução dessa etapa.

O corte do perímetro da área a ser recuperada deveria ser feito através de máquinas dotadas de disco de corte, ou manualmente, com o auxílio de marretas e talhadeiras. O corte deveria ser perpendicular à superfície, e a profundidade ficando, via de regra, em aproximadamente 1 cm, dependendo das condições locais de reparo.

Em seguida, o corte deveria ser procedido por escarificação do concreto da área interna no perímetro delimitado, com a utilização de rebarbadores ou martelotes de baixa potência, ou

manualmente, com talhadeiras e marretas, estendendo-se além do último sintoma de corrosão de armaduras e garantindo faces planas com cantos arredondados. No caso de identificação de armaduras corroídas, a escarificação deveria ter profundidade suficiente para permitir o tratamento das mesmas em todo o perímetro da barra.

Ressaltou-se que a superfície para o tratamento deveria ser regular e medianamente rugosa, indicando a possível necessidade de apicoamento após o corte, novamente com equipamentos manuais ou pneumáticos.

Foi prevista a limpeza das armaduras corroídas através de jateamento abrasivo ou manualmente, por com escovas de cerdas de aço e lixas, dependendo das condições locais. A complementação de armaduras foi recomendada nos casos em que as perdas de seção superassem 10% do valor original, com emendas por simples traspasse em trecho íntegro da armadura existente.

A reconstituição da seção nos reparos localizados foi definida por dois processos distintos, um para reparos rasos de até 3cm de profundidade, e um para reparos profundos nos demais casos.

O material recomendado para a recomposição da peça foi o concreto ou argamassa modificada com látex (polímero). Tratam-se de concretos e argamassas com a adição de SBR (*Styrene-Butadiene Rubber*) diluídos na água de amassamento. A empresa responsável pelo projeto afirmou que, na prática, a adição de látex SBR na mistura resulta numa aderência superior até mesmo àquela conseguida com adesivo epoxídico, e justificou a escolha de tal material pois, além da melhoria da aderência, essa apresenta maior fluidez, menor retração e permeabilidade bastante reduzida se compara a concretos e argamassas convencionais. A empresa exigiu ainda que as misturas deveriam atender um  $f_{ck}$  mínimo de 25 MPa e uma relação a/c máxima de 0,5.

No caso de reparos rasos, deveriam ser utilizadas as argamassas modificadas com látex, aplicadas em substrato saturado com superfície seca, adensadas em camadas com espessura de cerca de 1 cm, e acabadas com desempenadeira. A cura úmida com sacos de aniagem deveria ser realizada durante 24 horas, e, em seguida, permitir a cura seca por 2 a 4 dias, período em que a argamassa modificada com látex atinge suas propriedades.

Os reparos profundos deveriam ser executados com microconcreto modificado com látex, com diferenças básicas para o processo anterior pela eventual necessidade de uso de formas de madeira, do tipo tradicional ou cachimbo. Deveriam ser tomados todos os cuidados necessários inerentes ao uso de formas no processo executivo de concretagem e as formas poderiam ser

retiradas com 24 h, dadas as características do material, permanecendo válidas as recomendações de cura do reparo raso.

### 5.3.2 Projeto de recuperação generalizada

Para a recuperação generalizada, foi proposto o uso de concreto projetado, e, para isso, a preparação da superfície foi apontada como fator essencial para o bom desempenho do reparo.

Nesse cenário, toda a superfície das vigas e lajes deveria ser apicoada. Nos locais em que houvesse desagregação do concreto e/ou armadura corroída, a escarificação para remover todo o concreto deteriorado e expor as armaduras seria necessária, deixando arestas com 45° de inclinação no perímetro das cavidades. Tanto o apicoamento quanto a escarificação poderiam ser realizados por meio mecânico ou manual, conforme descrito no item anterior. A Figura 30 apresenta a indicação de projeto de como deveria ser feito o corte do concreto da viga e da laje adjacente.

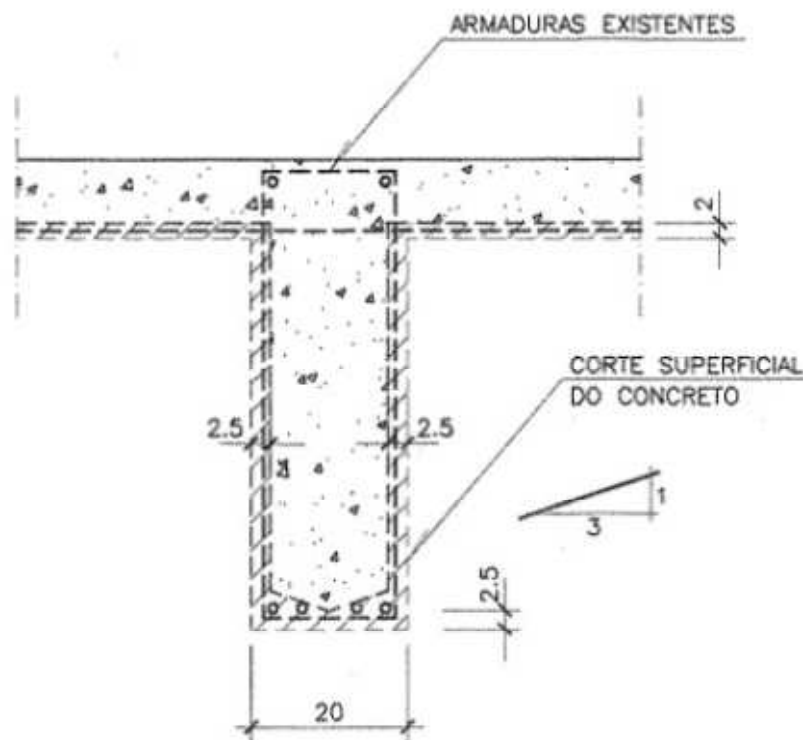


Figura 30- Projeto de corte da estrutura do prédio de apoio.

Para concluir a preparação da superfície, recomendou-se o jateamento abrasivo com areia à alta pressão, seguindo-se de hidrojateamento a baixa pressão, com o objetivo de tratar as armaduras eliminando os produtos de corrosão, além de preparar e limpar a superfície.

Cabe ressaltar que, da mesma forma do item anterior, a necessidade de armaduras complementares deveria ser analisada caso a caso e aplicada conforme indica a Figura 31. Nas lajes, sugeriu-se a utilização de malha eletrosoldada, também mostrada na nessa Figura.

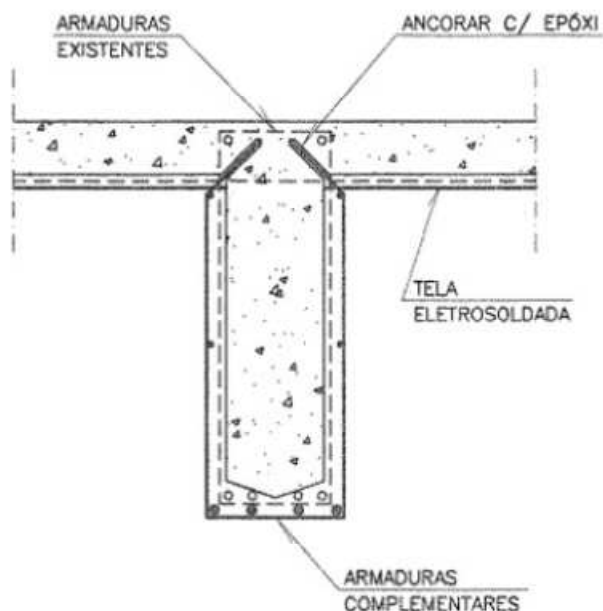


Figura 31- Detalhe de projeto para reforço de armadura e colocação de tela.

Com as armaduras tratadas e complementadas, o substrato preparado e saturado com superfície seca, sugeriu-se proceder com a projeção do concreto por via seca. O concreto a ser utilizado deveria ser também aditivado com látex SBR, com relação água cimento de aproximadamente 0,4 (inerente ao processo de via seca), e agregados com dimensão máxima característica limitada a 9,5 mm. A camada de concreto projetado deveria ser de 5 cm nas vigas e 4 cm nas lajes, resultando num cobrimento de no mínimo 2,5 cm e 2 cm, respectivamente, a partir das novas armaduras, como mostra a Figura 32.

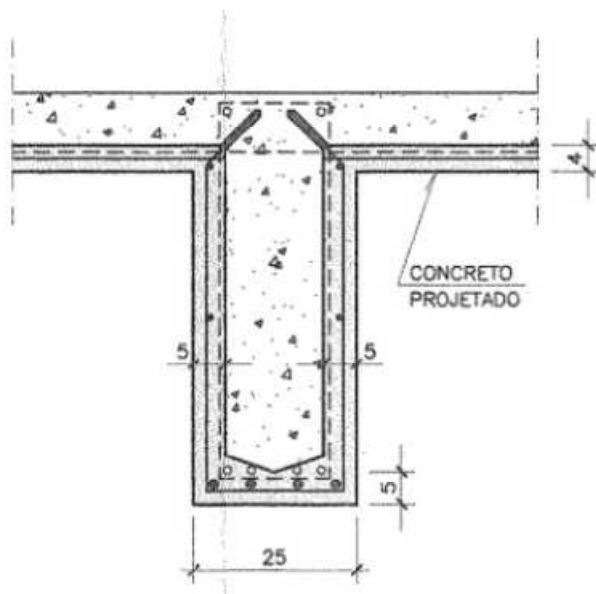


Figura 32- Detalhe de projeto da estrutura após o jateamento.

A empresa recomendou diversos cuidados a serem tomados e procedimentos necessários para a correta projeção do concreto. Por fim, sugeriu a aplicação de camada de regularização desempenada, para manter as características locais da área recuperada, e processo de cura por aplicação de película com pulverizador de baixa pressão, dadas as condições físicas das superfícies projetadas (paredes e laje de teto).

### 5.3.3 Projeto de tratamento de fissuras

Foi também recomendado o fechamento das fissuras existentes com resina epóxi, com o intuito de reestabelecer o monolitismo da estrutura. Em fissuras com aberturas iguais ou inferiores a 0,3 mm, foi sugerida apenas a colmatação das mesmas, enquanto que nas fissuras de maior abertura, foi sugerido o processo de injeção das fissuras.

### 5.3.4 Execução do projeto de recuperação

A empresa contratada para a execução do projeto realizou a recuperação das edificações em 2001, de acordo com o recomendado, com apenas algumas modificações do projeto, conforme constatado em documentos da fiscalização da obra.

Entre os documentos analisados estão: o contrato entre a empresa contratada e a administração, o qual estabelece o objeto da obra e os serviços a serem executados; planilhas orçamentárias da empresa contratada, contendo os serviços com seus custos unitários e respectivos quantitativos; pedidos de troca justificadas; planilhas de medição da fiscalização, as quais constituem-se de

cópias da planilha orçamentária da contratada com a porcentagem de execução, na data da medição, em relação ao quantitativo total previsto; as notas fiscais de pagamento; e o diário de obra, documento composto de 9 cadernos com o registro da execução dos serviços, condições climáticas, contatos com a contratante, entre outras informações.

Entre esses documentos, foram encontrados pedidos de troca encaminhados pela contratada para apreciação da administração. O primeiro foi o sistema de impermeabilização da laje do prédio principal, em que seria utilizada manta asfáltica e camada de proteção mecânica em argamassa, por manta em alumínio, alegando-se que as mantas possuíam as mesmas características técnicas e durabilidade, e que essa última apresentava como vantagem o fato de que não era necessária uma camada de proteção mecânica. Tal troca contribuiria para o alívio de carga recomendado em projeto de reforço estrutural das vigas de sustentação dessa laje. A impermeabilização utilizada na laje do prédio de apoio continuou sendo com manta asfáltica e camada de proteção mecânica.

O segundo pedido foi a substituição do sistema protetor a base de verniz e primer hidrofugante, que seria utilizado nos elementos do prédio principal, por tinta acrílica. A empresa executora alegou que, para que pudesse ter um bom desempenho, o verniz só deveria ser aplicado em superfície de concreto em bom estado, sem remendos, e que nela não houvesse sido anteriormente aplicado qualquer tipo de tinta ao invés de verniz, o que não é o caso das estruturas em questão. Apontou também que a durabilidade da tinta acrílica em elementos externos era de até 10 anos, enquanto que a do verniz era em torno de 3 anos. Por fim, julgou que o emassamento e posterior aplicação da tinta acrílica seria o procedimento mais recomendável, mantendo assim o mesmo esquema já existente.

Além desses, foi constatado em diário de obra que, nos reparos localizados, foi utilizado inibidor de corrosão (produto bi componente composto por mistura cimentícia polimérica e inibidor de corrosão) aplicado diretamente na armadura após a remoção dos produtos de corrosão, e, resina epóxi como ponte de aderência antes da aplicação do material de reparo em substituição à saturação das peças, medidas essas que não foram explicitamente previstas no projeto.

As modificações citadas foram aprovadas pela administração, e executadas, sendo o restante executado conforme previsto em projeto, como constatado em registro em diário de obra e planilhas orçamentárias de medição.

## 5.4 Situação atual dos edifícios

O estudo da situação atual dos edifícios será apresentado em duas etapas. Primeiramente faz-se uma análise crítica do projeto de recuperação e de sua execução. Em seguida descreve os resultados da inspeção realizada em abril de 2015 dos dois edifícios.

### 5.4.1 Análise crítica do projeto de recuperação e de sua execução

Para a elaboração do projeto de recuperação, a empresa contratada realizou estudo prévio de caracterização e histórico das estruturas em questão. Realizou vistorias, nas quais foram apresentados desenhos com o posicionamento e caracterização das anomalias constatadas, e ensaios de carbonatação, cloretos e potencial de corrosão, de maneira a auxiliar no diagnóstico, além do registro fotográfico durante toda a inspeção. Desta forma, pode-se dizer que os procedimentos necessários para fundamentar a escolha dos métodos de recuperação foram realizados conforme orientado na literatura na época.

As manifestações patológicas encontradas durante a vistoria apresentaram um quadro bastante claro de corrosão de armaduras, com armaduras expostas em processo de corrosão visível, fissuras longitudinais e manchas típicas da patologia. De forma agravante, a estrutura apresentava ainda pontos de infiltração nas lajes e elementos diretamente expostos à agressividade do ambiente. Visivelmente, as manifestações apresentavam-se de forma generalizada apenas na área abaixo da cozinha no prédio de apoio, enquanto que no restante do prédio e no prédio principal somente eram visíveis em pontos localizados.

O ambiente em que a estrutura está inserida pode ser atualmente classificado quanto a sua agressividade ambiental, conforme indica a norma NBR 6118 (ABNT, 2014). Conforme já comentado, as edificações localizam-se próximas à orla marítima, às margens da Baía de Guanabara, sendo o ambiente, então, classificado como marinho, de classe de agressividade ambiental III (forte), e grande risco de deterioração da estrutura.

Isso significa que, de acordo com a norma NBR 6118 (ABNT, 2014), uma construção em concreto armado no referido ambiente deveria ter no mínimo 35 mm de cobrimento nas lajes, e 40 mm nas vigas e pilares. Na época do projeto, a mesma norma já apresentava valores de cobrimento, recomendando um mínimo de 25 mm para qualquer peça de concreto aparente ao ar livre, e 40 mm para peças em ambientes fortemente agressivos (ABNT, 1980).

Nos pontos em que foram realizados os ensaios de carbonatação, mediu-se a espessura dos cobrimentos das peças, conforme registrados na Tabela 4 já apresentada. Os resultados indicaram valores de cobrimento bem abaixo dos indicados, principalmente nas lajes, facilitando o acesso dos agentes internos causadores da despassivação das armaduras. Os valores de cobrimento também não apresentavam uniformidade, contribuindo para a formação de pontos de corrosão localizada onde a espessura do cobrimento era muito pequena.

Os resultados dos ensaios de carbonatação nas vigas vierendeel do prédio principal mostraram que a frente de carbonatação ainda não tinha atingido as armaduras de maneira geral, com exceção de alguns pontos localizados como o ensaio número 2 da Tabela 4, dado o seu pequeno cobrimento local. Já para o prédio de apoio, nos ensaios realizados nas lajes abaixo da cozinha, a frente de carbonatação parece ter atingido toda a estrutura, resultando em valores maiores do que a espessura de cobrimento em todos os ensaios localizados, caracterizando uma corrosão generalizada com despassivação por carbonatação.

Na análise dos resultados dos ensaios de teores de cloreto, a empresa utilizou o valor crítico sugerido por norma americana ACI 318/31 BR 36, de 0,3% de cloretos em relação à massa de cimento, pois as normas brasileiras ainda não continham considerações sobre o assunto. Atualmente, o valor adotado pela maioria dos estudiosos no assunto é de 0,2% (MEHTA e MONTEIRO, 2008; RIBEIRO e CUNHA, 2014), sendo a norma brasileira NBR 12655 (ABNT, 2015) ainda mais conservadora quando o ambiente é susceptível ao ataque de cloretos, como é o caso do ambiente marinho, adotando um valor crítico de 0,15%.

Dessa forma, em praticamente todos os ensaios realizados no prédio de apoio, os valores encontrados superaram os valores críticos, até nos furos de maior profundidade, demonstrando que os íons cloretos também influenciaram na despassivação das armaduras de maneira geral, em conjunto com a carbonatação, contribuindo para a maior rapidez de desencadeamento do processo. Já em alguns pontos das vigas Vierendeel do prédio principal, os resultados apresentaram teores de cloreto um pouco além do crítico, reforçando o diagnóstico de que haveria apenas pontos de corrosão localizada naqueles elementos.

Por último, os resultados dos ensaios de potencial de corrosão, realizados nas áreas aparentemente sãs das vigas vierendeel do prédio principal, mostraram uma probabilidade de corrosão menor do que 10%, reforçando o parecer de que aqueles elementos apresentavam somente pontos localizados de corrosão.



A partir da análise dos ensaios e do que foi exposto em relatório da inspeção visual realizada na época pela empresa, considera-se adequada a solução proposta pela mesma de tratar o prédio de apoio como corrosão generalizada, enquanto que no prédio principal proceder-se somente com a recuperação localizada das peças.

Apesar de utilizar técnicas distintas, as duas soluções foram baseadas no método tradicional de recuperação, tratada no item 4.1 deste trabalho, que envolve a retirada dos materiais deteriorados e posterior reconstituição das peças.

Os projetos previram toda a etapa inicial de remoção dos materiais deteriorados e limpeza dos elementos conforme o recomendado na literatura, apresentando o procedimento a ser feito, detalhadamente, incluindo as etapas de inspeção, delimitação da área de intervenção, corte do perímetro, escarificação e/ou apicoamento do concreto, retirada dos produtos de corrosão e limpeza da superfície.

Vale ressaltar que o jateamento de areia, previsto antes da aplicação do concreto projetado, é altamente recomendado para a preparação do substrato que receberá a projeção, assim como para a retirada de produtos de corrosão no caso de ambientes contaminados por cloretos.

Após as etapas citadas, o projeto previu uma preparação do substrato, antes da aplicação do material de reparo, utilizando a saturação com secagem da superfície, sem a utilização de inibidor de corrosão ou ponte de aderência. Essas medidas, porém, foram utilizadas por empresa contratada para a execução do projeto, com a aplicação de inibidor diretamente na armadura e uso de resina epóxi como ponte de aderência, em substituição à saturação, conforme já comentado no item anterior.

Com base em estudo bibliográfico apresentado no capítulo 3, não há, atualmente, um consenso na literatura a respeito da necessidade de uso dessas medidas durante o processo de recuperação. Alguns autores afirmam que uma preparação de superfície adequada, conforme prevista no projeto em questão, é suficiente para o bom desempenho do sistema, além de que algumas argamassas de reparo dispensam o uso dessas medidas, ou contém materiais dentro de sua composição que já exercem essas funções, conforme verificado em ficha técnica de diversos produtos. A maioria dos fabricantes, porém, ainda recomendam o uso dessas etapas em seu processo de recuperação.

Considera-se que a escolha do material sugerido para a reconstituição das peças foi adequada, dada as propriedades do concreto/argamassa modificado com polímero já comentadas, nesse caso a de base de SBR, e as opções do mercado em 2001. O material é adequado tanto para a aplicação manual, com uso de formas, ou projetado, podendo apresentar as consistências desejadas para cada método.

Sob o aspecto construtivo, atualmente diversos fabricantes fornecem argamassas já prontas, bi componentes, para o reparo localizado de estruturas e para a projeção, ao invés da incorporação do látex durante a produção do material, como foi previsto na época para esse caso, o que pode eliminar possíveis erros durante o processo.

Atenção deve ser dada aos critérios de durabilidade mínimos exigidos nas normas atuais, estando a relação água/cimento de acordo com a norma NBR 6118 (ABNT, 2014), sendo que a resistência requerida deveria ser de 30 MPa, e não 25 MPa, de modo a atender os requisitos para o ambiente em questão. Considera-se ainda que o cobrimento adotado de 25 mm para as vigas (no caso das que tiverem reforço) e 20 mm para as lajes é também inferior ao da referida norma, que é de 40 mm e 35 mm, respectivamente. Cabe ressaltar que o projeto foi feito em 2000 e as exigências de resistência do concreto com vistas à durabilidade só foram incorporadas à norma brasileira em 2003. Já o cobrimento, já havia a recomendação na NBR 6118 (ABNT, 1980) de utilizar um mínimo de 40 mm em ambientes agressivos, valor esse que também não foi atendido.

Por fim, a troca da proteção superficial da peça do sistema duplo de proteção à base de verniz acrílico disperso em solvente com uma demão de primer hidrofugante a base de silano-siloxano por pintura com tinta acrílica não foi considerada adequada. A tinta acrílica comum não é considerada uma proteção superficial contra a corrosão, ao contrário do sistema de revestimento proposto. Além disso, resultados de estudos de Medeiros (2008) indicam que o sistema duplo de proteção com hidrofugante apresenta melhores desempenhos na proteção contra a corrosão do que tintas de base acrílica. Ressalta-se aqui a importância dos estudos de desempenho comparativos entre as diversas técnicas e materiais disponíveis, para o auxílio na tomada de decisões. Além disso, de acordo com manuais de fabricantes, o sistema duplo pode ser aplicado sobre superfícies de concretos “velhos”, contanto que a correta preparação com lixamento, estucagem e polimento seja realizada, conforme havia sido previsto em projeto.

De maneira geral, o método tradicional é, de fato, o método mais indicado para tratar de problemas localizados, estando a solução para recuperação localizada totalmente de acordo com o que recomenda a literatura.

Conforme discutido no capítulo 3 deste trabalho, porém, o método tradicional de remoção e recomposição não é a melhor opção no caso de recuperação de estruturas com corrosão generalizada, ou onde o processo corrosivo já se encontra em estado avançado e atacando áreas maiores. A maioria dos estudos apresenta esse método como incapaz de reverter um processo de corrosão já iniciado, e que, na maioria dos casos, é inviável técnica e economicamente a retirada de todo o material deteriorado, apresentando alta probabilidade de retorno dos problemas pouco tempo após a recuperação (ANDRADE, 1992; MORAES, 2012).

Dessa forma, a recuperação pelo método tradicional parece não ser a mais indicada para as áreas com deterioração generalizada nas lajes do prédio de apoio. As alternativas ao método tradicional, porém, seriam os métodos eletroquímicos. Na época do projeto (no ano 2000), esses não eram amplamente difundidos no meio técnico, com exceção da proteção catódica, a qual provavelmente não se apresentaria economicamente vantajosa nesse caso, pois a área da estrutura diagnosticada com corrosão generalizada e em estado avançado de deterioração era pequena para compensar o custo dos métodos eletroquímicos.

Ressalta-se que o uso do jateamento de areia, adotado para a remoção do material deteriorado e preparação da superfície, é um procedimento fortemente recomendável em casos de corrosão em áreas maiores (que não podem ser consideradas localizadas), pois este alcança e remove toda a área fraca e contaminada, eliminando o fator humano da decisão da extensão da área a ser removida.

Algumas medidas adicionais de proteção durante e após o reparo poderiam ter sido tomadas, as quais também serão discutidas nos itens seguintes deste trabalho, porém há uma dificuldade de estabelecer quais medidas seriam suficientes para o estudo em questão, ou seja, qual o custo-benefício de utilizá-las, já que, na época da construção, assim como atualmente, os diversos produtos existentes no mercado apresentam pouca ou nenhuma comprovação de eficácia ao longo da vida útil da estrutura.

## 5.4.2 Inspeção detalhada dos edifícios

Em abril de 2015, realizou-se uma vistoria nos dois prédios em estudo, onde verificou-se a atual condição das estruturas através de inspeção visual e registro fotográfico. Foram realizados mapeamentos das manifestações patológicas de elemento por elemento, para posterior comparação com os mapeamentos feitos 15 anos atrás (no ano 2000) pela empresa responsável pelo projeto de recuperação. Na data de inspeção, a estrutura tinha 35 anos de vida, e 14 anos de recuperada. Para a análise do nível de danos, estabeleceu-se a classificação exposta na Tabela 6. As cores dos títulos foram reproduzidas nos mapas das anomalias, conforme a gravidade dos danos encontrados.

Tabela 6- Nível de danos das estruturas.

-	NÍVEL DE DANOS			
	MANIF. PATOLÓGICAS	LEVE	MÉDIO	GRAVE
a- Armadura exposta	Não	Não	Sim	Perda de Seção >15%
b- Deslocamento do Concreto	Não	Parcial	Total	-
c- Fissura	Não	Superficial	Profunda	-
d- Mancha de Corrosão	Pequena	Sim	Sim	-
e- Infiltração	Pequena	Sim	Sim	Generalizada

O dano foi considerado leve (cor cinza) onde ocorreram somente manchas de infiltrações e/ou de corrosão, de pequena extensão. O dano médio (cor azul) corresponde à um quadro mais avançado de infiltração e manchas de corrosão em extensão maiores, ou quando houve a presença de fissuras superficiais longitudinalmente à armadura, caracterizando uma pequena expansão já devido à corrosão da barra, e/ou ainda quando houve deslocamento parcial do concreto de cobertura, mas ainda não expondo a armadura. O dano grave (cor roxa) foi considerado quando houve a exposição da armadura ao ambiente, tendo, portanto, o completo destacamento da camada de cobertura e/ou ainda fissuras profundas. Por fim, o dano muito grave (cor preta) corresponde à situação em que algum estado limite foi ultrapassado, seja o ELU, com a perda da seção da armadura maior do que 15% e consequente comprometimento em sua função estrutural, ou o ELS, em que a infiltração foi generalizada, inviabilizando o uso do ambiente.

A inspeção da estrutura foi dividida em três partes: vigas vierendeel, lajes do prédio principal e prédio de apoio, da mesma forma que foi realizado pela empresa que fez o mapeamento em 2000.

### Vigas Vierendeel

Iniciou-se pela inspeção das vigas Vierendeel. De modo geral, as vigas apresentam-se em bom estado, com apenas algumas anomalias localizadas. Novamente, as patologias surgem principalmente pela pequena espessura do cobrimento em um ambiente de alta agressividade. Outro problema visível é a condensação e vazamento das tubulações que passam pelas aberturas das vigas, causando a degradação localizada na parte inferior das aberturas.

Uma amostra representativa das vigas foi mapeada, composta pelas que ficavam expostas ao ambiente, dado o maior risco de deterioração dessas e o aparente bom estado das vigas internas, com laje superior. As vigas foram vistoriadas e anotadas entre os eixos verticais de 0 ao 16, e entre os 4 eixos horizontais em que as mesmas se encontravam expostas ao ambiente, conforme mostra a Figura 33, em que as vigas marcadas em negrito foram as efetivamente vistoriadas. O mapeamento das anomalias encontra-se no anexo deste trabalho, e será discutido a seguir.

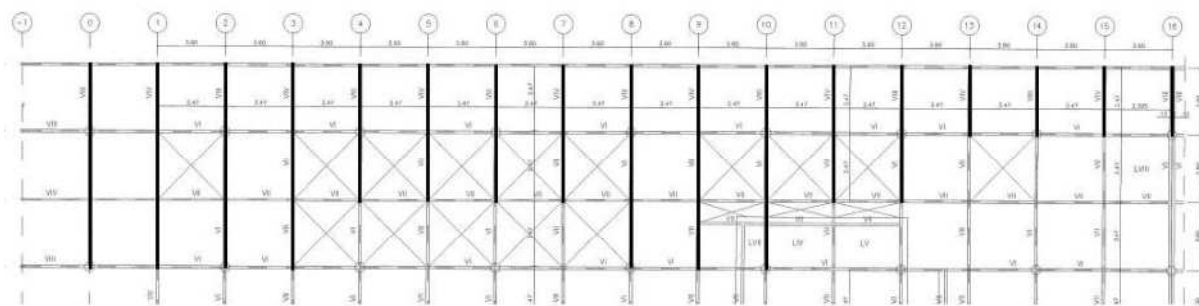


Figura 33- Eixos de Vigas Vierendeel mapeadas.

A título de exemplo, o mapeamento do eixo vertical 3 foi apresentado na Figura 34. Observe-se que o desenho possui 3 trechos de viga, sendo que ambas as faces do trecho foram vistoriadas, resultando em 6 faces no total. O corte em forma de “x”, presente na face inferior direita desta figura, indica que a face não pôde ser vistoriada por motivos de visibilidade ruim, ou tratava-se de viga interna. As formas ovais representam as anomalias encontradas, onde as letras indicam quais anomalias e as cores o seu nível de gravidade, conforme exposto na Tabela 6. No exemplo da Figura 34, há três anomalias de dano considerado médio (azul) e uma grave (roxo).

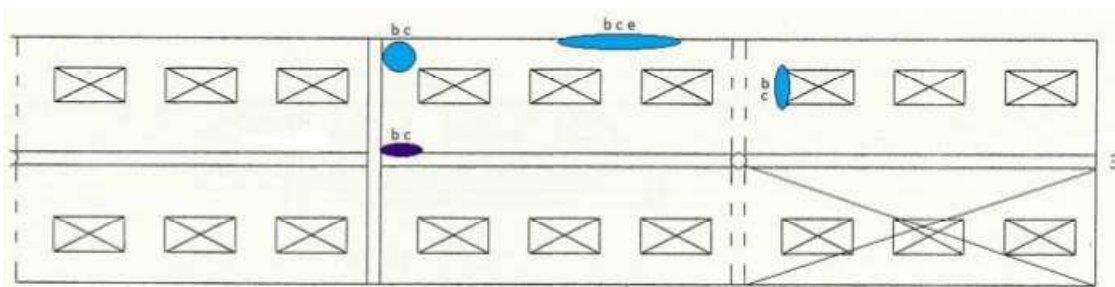


Figura 34- Mapeamento das Vigas do eixo 3 em 2015.

No total, foram 69 faces mapeadas, das quais a maior parte delas apresentava-se visivelmente sem qualquer anomalia. Em algumas faces foram encontradas manifestações patológicas, apenas em pontos localizados, e, na maioria, de pequena extensão. Foram identificadas armaduras expostas, deslocamento do concreto, fissuras, manchas de corrosão e infiltração.

Para a melhor visualização do estado real da estrutura, em termos de proporção, foi criada a Tabela 7. Nessa, as anomalias foram quantificadas por nível de dano, e calculou-se o percentual das mesmas em relação à área total das faces das vigas vistoriadas. A menor área quantificada foi de 1/3 da face, mesmo que a manifestação visível tenha se apresentado menor do que essa fração. No caso de superposição de danos de diferentes níveis no mesmo terço da face, considerou-se o mais grave.

Tabela 7- Percentual das anomalias nas vigas (2015).

	Un (1/3 face)	(%)
<b>Sem manifestações</b>	145	<b>70,05</b>
<b>Manifestações leves</b>	3	<b>1,45</b>
<b>Manifestações médias</b>	30	<b>14,49</b>
<b>Manifestações graves</b>	25	<b>12,08</b>
<b>Manifestações muito graves</b>	4	<b>1,93</b>
<b>Total</b>	207	100,00

Nota-se que 70% da área vistoriada das vigas apresentou-se visivelmente sã, enquanto que nos outros 30% foram identificadas anomalias localizadas, com níveis de danos predominantemente médios e graves. Ressalta-se que as referidas anomalias se apresentaram em pequenas extensões, bem menores do que as áreas consideradas (de 1/3 da face). Essa aproximação foi feita levando em consideração que a patologia normalmente afeta uma área maior do que a visível a olho nu, e como forma de facilitar os cálculos, mas, provavelmente, esses valores estão majorados em relação à realidade da estrutura, a favor da segurança.

A Figura 35 apresenta algumas das manifestações encontradas nas vigas Vierendeel que foram classificadas como de dano médio, como fissuras leves com manchas de infiltração (a, b, d, e) e deslocamentos parciais do concreto (a, b, c). A Figura 35e mostra ainda a infiltração proveniente da tubulação, fato atestado em diversos encontros entre as tubulações e as vigas.

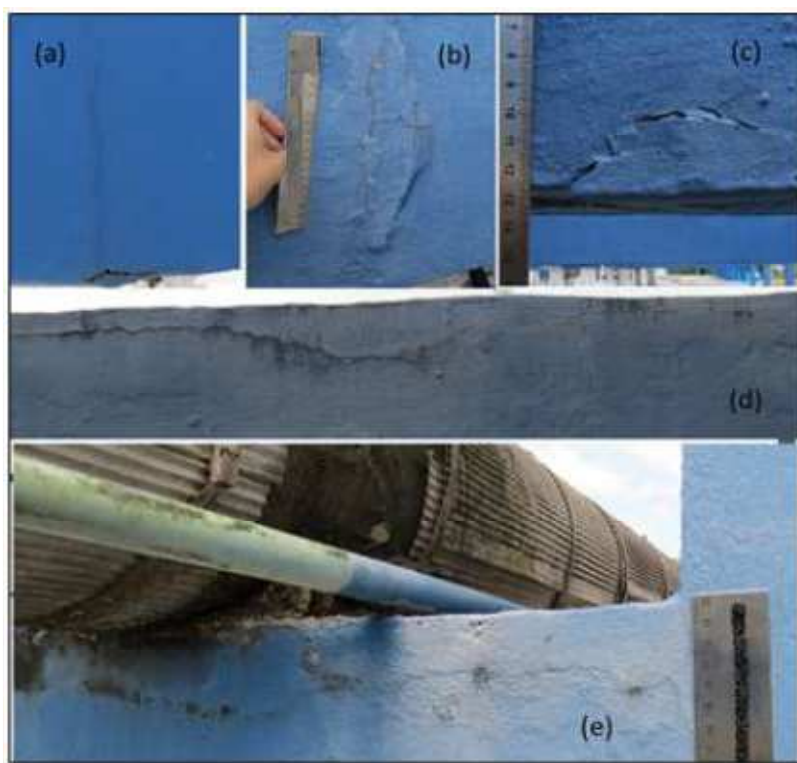


Figura 35- Manifestações patológicas nas vigas Vierendeel de dano médio: (a, b, c) fissuras e deslocamentos parciais do concreto, (d) fissura longitudinal à armadura com manchas de infiltração, (e) detalhe do encontro entre a tubulação e a viga.

A Figura 36 retrata anomalias localizadas consideradas de dano grave, apresentando maiores aberturas de fissuras (a, f), deslocamentos acentuados com manchas de corrosão (c, d), e a completa exposição das armaduras em processo de corrosão (b, e).

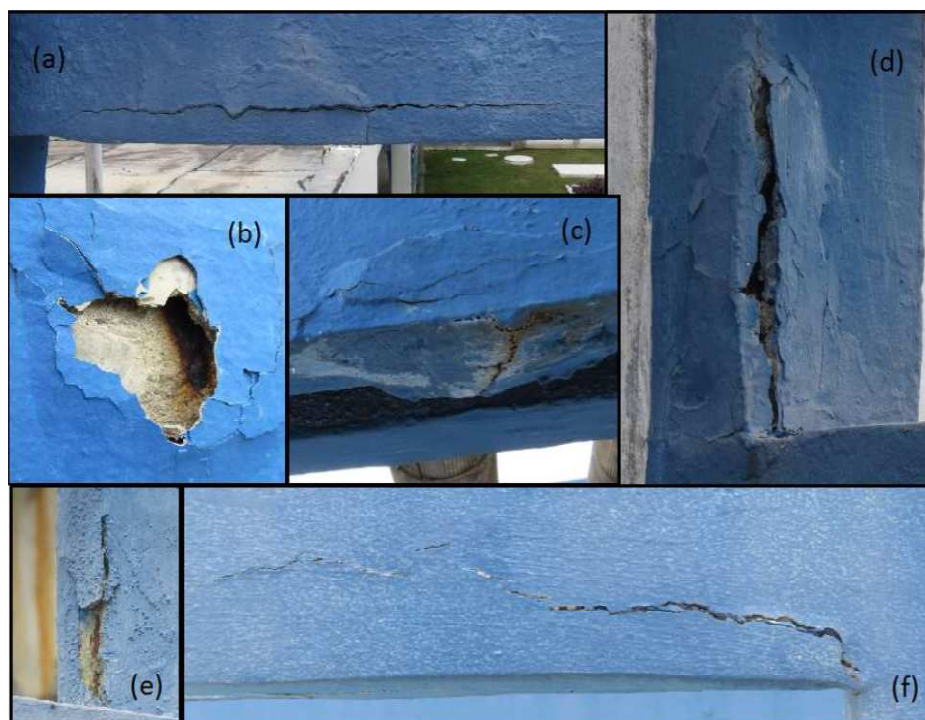


Figura 36- Manifestações patológicas nas vigas Vierendeel de dano grave: (a, f) fissuras, (b, e) exposição da armadura, (c, d) deslocamento do concreto.

Os danos considerados muito graves estão mostrados na Figura 37, onde a armadura apresentou-se em estado avançado de corrosão, tendo uma perda visível de mais do que 15% da sua seção. Essas anomalias aconteceram de forma localizada, justamente abaixo da tubulação passante (a, b), área que apresentou grande umidade, vegetação, deslocamento total da camada de cobertura do concreto e a conseqüente corrosão das armaduras. Da mesma forma, as anomalias adjacentes à junta de dilatação (c), apresentando as mesmas características já citadas.





Figura 37- Manifestações patológicas nas vigas Vierendeel de dano muito grave: (a, b) armadura corroída abaixo da tubulação e (c) adjacente à junta de dilatação.

Além das infiltrações localizadas, as patologias parecem ter sido causadas, de forma geral, pela baixa espessura de cobrimento que a estrutura apresenta, sendo barreira insuficiente para o ambiente em que se encontra. A Figura 38 apresenta a medição da espessura do cobrimento em pontos de corrosão localizada, sendo de aproximadamente 10 mm, enquanto que, para esse tipo de ambiente, deveria ser de 40 mm, segundo a norma atual NBR 6118 (ABNT, 2014), assim como a norma vigente na época do projeto NBR 6118 (ABNT, 1980).



Figura 38- Medida da espessura de cobrimento nas vigas Vierendeel.

### Lajes do prédio principal

Ainda no prédio principal, foram também vistoriadas as lajes de todo o prédio, em sua face inferior. Da mesma forma que nas vigas, foram encontradas apenas anomalias localizadas e de pequena extensão, estando as lajes também em bom estado, com danos menos graves. Os principais problemas identificados foram a infiltração advinda da cobertura, principalmente adjacente às luminárias, e a espessura de cobrimento quase nula.

Da vistoria, resultou o mapeamento mostrado na Figura 39. Nesse, percebe-se que a grande maioria das anomalias foram classificadas como danos leves ou médios, com apenas dois danos graves localizados na laje da extremidade sul do prédio, confirmando o bom estado geral da estrutura. Em relação ao tipo de manifestação, foram encontrados principalmente fissuras, infiltrações e manchas de corrosão, e apenas dois pontos de armadura exposta em toda a sua extensão.



Foi realizado também a quantificação das anomalias por dano e obtenção de percentuais em relação à área total da laje vistoriada, apresentados na Tabela 8. Nesse caso, as áreas mínimas afetadas consideradas foram os quadrados entre eixos, os quais podem ser visualizados na planta já apresentada (Figura 39).

Tabela 8- Percentual das anomalias na laje do prédio principal (2015).

	<b>Un (entre eixos)</b>	<b>(%)</b>
<b>Sem manifestações</b>	176	<b>78,22</b>
<b>Manifestações leves</b>	22	<b>9,78</b>
<b>Manifestações médias</b>	24	<b>10,67</b>
<b>Manifestações graves</b>	3	<b>1,33</b>
<b>Manifestações muito graves</b>	0	<b>0,00</b>
<b>Total</b>	225	100,00

A Tabela 8 confirma o bom estado da laje, estando quase que 80% da sua área sem qualquer anomalia, e o restante com manifestações de níveis leve e médio.

A Figura 40 mostra as anomalias de dano leve encontradas na estrutura em questão, sendo (a) manchas de corrosão e (c) de infiltração leves, assim como o detalhe da infiltração próximo à luminária (b).

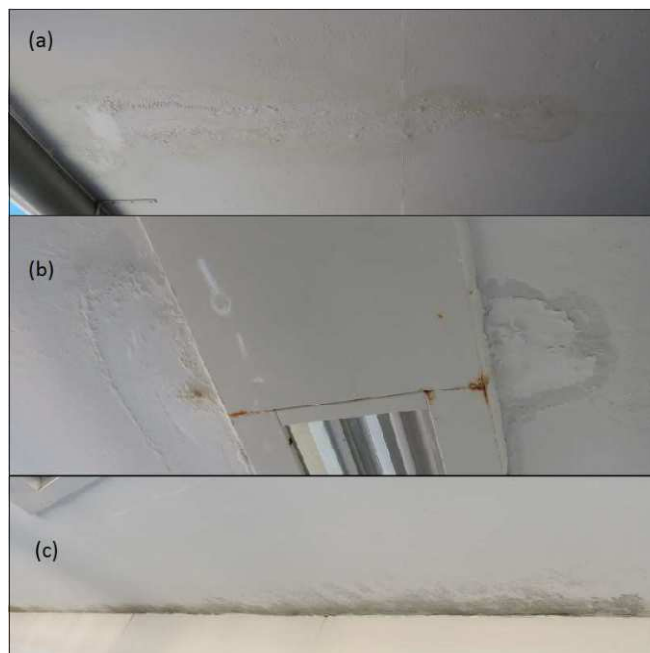


Figura 40- Manifestações patológicas nas lajes do prédio principal de dano leve: (a) mancha de corrosão, (b) detalhe da infiltração na luminária, (c) mancha de infiltração

A Figura 41 apresenta manifestações consideradas de dano médio, como (a) fissuras com manchas de corrosão, (b) manchas de corrosão e infiltração mais acentuadas que as da figura anterior, detalhe para a proximidade da luminária, e (c) infiltração em linha reta com fissura e manchas de corrosão, provavelmente causada por alguma tubulação na parte superior da laje.



Figura 41- Manifestações patológicas nas lajes do prédio principal de dano médio: (a) fissura com mancha de corrosão, (b) mancha de corrosão e infiltração acentuada próximo à luminária, (c) infiltração com fissura e mancha de corrosão.

As anomalias consideradas como grave são apresentadas na Figura 42, em que se identificam armaduras expostas adjacentes à junta de dilatação, visivelmente com sua vida útil já encerrada

apresentando-se dura e quebradiça, e (b) próximas à luminária, ponto sensível de infiltração. É possível observar também o cobrimento praticamente nulo dessas armaduras, contribuindo para a corrosão das mesmas.



Figura 42- Manifestações patológicas nas lajes do prédio principal de dano grave: (a) armadura exposta adjacente à junta de dilatação e (b) à luminária.

### Lajes do prédio de apoio

Por fim, foram vistoriadas as lajes do primeiro pavimento do prédio de apoio. A situação nesse prédio é bem mais crítica devido a infiltrações generalizadas, sendo que a origem principal das infiltrações continua sendo a cozinha, localizada no piso superior, e abrangendo a parte inferior da planta apresentada na Figura 43.

Na parte superior da Figura 43, a recuperação parece ter tido bom desempenho, onde foram encontradas apenas anomalias localizadas de dano leve e médio, como infiltrações e fissuras de pequena abertura. Esta área contém forro de PVC abaixo da laje, sendo algumas das placas retiradas para que fosse possível realizar a inspeção.

Pode-se observar, na mesma figura, a situação crítica da parte inferior da planta. As anomalias predominantes são infiltrações generalizadas, as quais foram classificadas como de dano muito grave (cor preta) pois se atingiu o estado limite último de serviço. Todos os ambientes que apresentam os círculos pretos encontram-se interditados para uso.



Da mesma forma que nos itens anteriores, foi feita a quantificação das anomalias para a obtenção dos percentuais em relação à área total (Tabela 9). Nesse caso, a área total foi dividida em quadrados de aproximadamente 2,5 x 2,5 m.

Tabela 9- Percentual das anomalias na laje do prédio de apoio (2015).

	<b>Un (2,5 x 2,5 m)</b>	<b>(%)</b>
<b>Sem manifestações</b>	25	42,37
<b>Manifestações leves</b>	3	5,08
<b>Manifestações médias</b>	14	23,73
<b>Manifestações graves</b>	2	3,39
<b>Manifestações muito graves</b>	15	25,42
<b>Total</b>	59	100,00

A Tabela 9 mostra um cenário bem mais crítico do que as anteriores. Observa-se que o percentual de aproximadamente 40% da área da laje sem anomalias corresponde a parte superior da planta, área que se encontra em funcionamento normal. As manifestações de danos muito graves ocupam 25% da área total da laje, e correspondem às infiltrações na parte inferior da planta, a qual encontra-se interditada.

A Figura 44 ilustra as manifestações patológicas identificadas na parte superior da planta apresentada, em que (a) e (b) mostram pontos com infiltrações, caracterizados como danos leves, (c) e (d) áreas com infiltração, manchas de corrosão e fissuras, caracterizados como danos médios, e (e) uma área com armadura exposta em processo de corrosão.



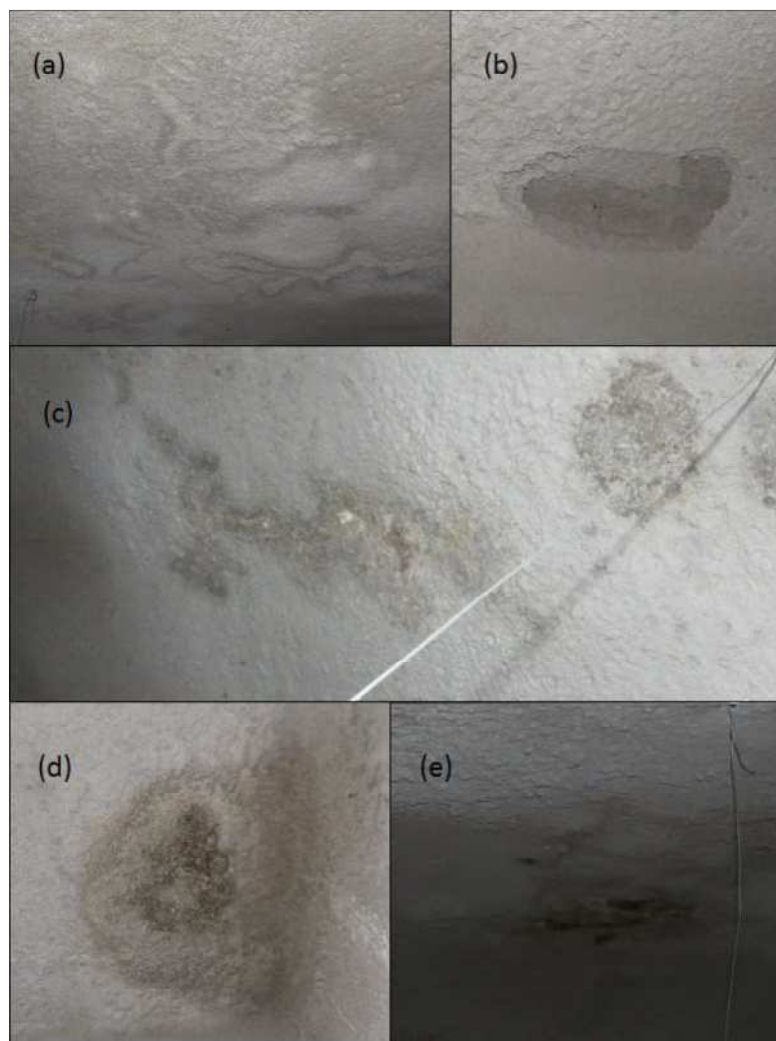


Figura 44- Manifestações patológicas nas lajes do prédio principal de dano (a, b) leve, (c, d) médio e (e) grave.

A Figura 45 mostra a situação encontrada na parte inferior da planta, a qual fica embaixo da cozinha, mostrando a infiltração generalizada nas lajes. A Figura 45 (a) mostra um detalhe da passagem de tubulação, área em que a infiltração é acentuada, e (b) e (c) mostram a infiltração generalizada nas lajes, com grandes manchas de corrosão, sendo que em (c) é possível ver também a viga com armadura exposta e em processo de corrosão em toda a sua extensão. Cabe ressaltar que essa área está desocupada, dada a alta umidade e infiltrações.



Figura 45- Manifestações patológicas nas lajes do prédio principal de dano muito grave: (a) detalhe de infiltração na passagem da tubulação, (b) infiltração generalizada com manchas de corrosão, (c) infiltração generalizada e viga com armadura exposta e corroída

O pavimento superior, em que fica a cozinha, é um ambiente extremamente úmido devido as lavagens e vapores constantes, sendo o piso revestido com cerâmica, e dotado de sistema de impermeabilização e drenagem por grelhas e ralos. A drenagem e impermeabilização foram refeitas juntamente com os serviços de recuperação, utilizando manta asfáltica e camada de proteção mecânica argamassada, porém, esses sistemas parecem não estar funcionando da maneira adequada.

### 5.5 Considerações sobre a eficiência das soluções adotadas

De um modo geral, passados aproximadamente 15 anos desde a recuperação (e 35 anos de vida útil total), a estrutura apresenta-se visivelmente em melhores condições do que o relatado antes da recuperação, indicando um bom desempenho da recuperação. Em alguns pontos, porém, as manifestações patológicas tornaram a aparecer, as quais foram analisadas adiante, separadas pelo método de recuperação utilizado, ou seja, recuperação localizada para o prédio principal e generalizada para o prédio de apoio.

Para a comparação entre a situação das estruturas antes da recuperação e atualmente, o resultado da inspeção detalhada no item anterior foi sobreposto nos mapas das anomalias anterior à recuperação. Neles, foram identificadas as manifestações que tornaram a aparecer nos mesmos locais ou próximas às antigas, utilizando círculos das mesmas cores usadas para diferenciar o nível de dano. Além disso, foram mapeados os novos pontos com manifestações, marcados em círculos vermelhos.

### 5.5.1 Considerações sobre o reparo localizado

O reparo localizado, tanto das vigas quanto das lajes, apresentou um bom desempenho, considerando a melhora do nível de dano das estruturas entre a primeira vistoria em 2000, anterior à recuperação, e a segunda, feita em abril de 2015, apesar do retorno de alguns pontos de degradação. Considera-se também o tempo considerável de 15 anos entre uma e outra, em que parecem ter surgido novos pontos de deterioração localizada, além daqueles identificados e recuperados.

Comparando-se a situação das vigas vierendeel no ano de 2000 e 2015, é possível perceber o bom desempenho das recuperações pela porcentagem de áreas deterioradas encontradas. A Tabela 10 foi elaborada dividindo-se a área total das vigas em áreas menores (1/3 das faces), da mesma forma que foi feito no item anterior (Tabela 7), porém, a divisão dos níveis de dano não foram levadas em consideração já que a empresa que realizou a vistoria em 2000 não classificou as anomalias dessa forma. Foram quantificadas as áreas visivelmente sãs, ou seja, que não apresentaram qualquer manifestação patológica; as áreas com anomalias relacionadas à corrosão, como armadura exposta corroída, deslocamento do concreto e fissuras com manchas de corrosão; e, por fim, áreas com anomalias que não estão diretamente ligadas com a corrosão mas comportam-se como agravantes do processo, como fissuras estruturais e infiltrações. No caso do cenário de 2015, as anomalias de dano médio, grave e muito grave foram classificadas como manifestações de corrosão, enquanto que as de dano leve foram consideradas como agravantes.

Tabela 10- Comparativo dos percentuais de anomalias nas vigas do prédio principal nos anos de 2000 e 2015.

	Un (2000)	Un (2015)	% (2000)	% (2015)
Sem manifestações	77	145	<b>37,20</b>	<b>70,05</b>
Manifestações da corrosão	97	59	<b>46,86</b>	<b>28,50</b>
Com agravantes	33	3	<b>15,94</b>	<b>1,45</b>
Total	207	207	100,00	100,00

Observa-se que, mesmo após 15 anos de recuperação, as vigas apresentam um percentual de área sem manifestações de 70%, bem maior do que o encontrado em 2000 (37%), confirmando que houve uma melhora significativa nas condições da estrutura. Ressalta-se que as áreas detectadas com agravantes em 2000 (de 15,9%), caso não tivessem sido tratadas, muito provavelmente transformariam-se em novos pontos de corrosão, agravando ainda mais a situação geral das vigas.

A maioria das peças apresenta-se como os trechos mostrados na Figura 46, com a recuperação bem sucedida da maior parte dos pontos deteriorados, e com apenas algumas reincidências das anomalias, representados na Figura 46b com os círculos na cor do respectivo nível de dano, ou novos pontos de degradação, representado pela marcação em vermelho em na Figura 46a.

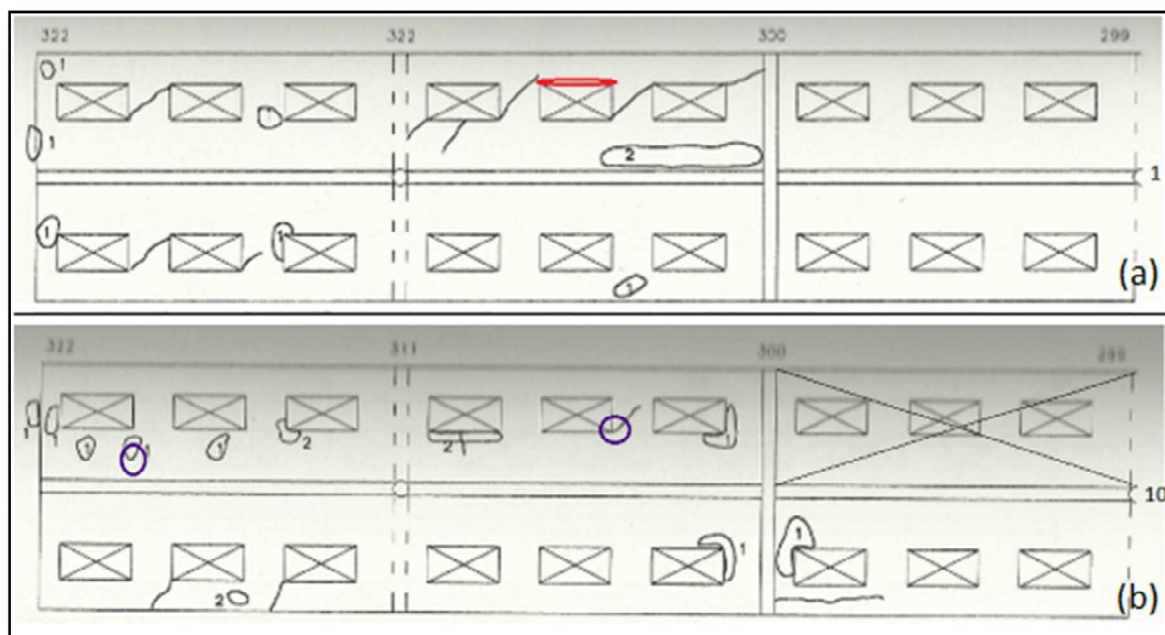


Figura 46- Comparação das Vigas Vierendeel antes e depois da recuperação: (a) Eixo 1 (b) Eixo 10.

Em alguns trechos das vigas, a reincidência das manifestações patológicas foi mais frequente, nos mesmos pontos ou próximos a eles, como mostra a Figura 47 dos eixos 6, 11 e 16 (imagens a, b e c, respectivamente). A reincidência ocorreu nas áreas circuladas em cores, com exceção do vermelho, principalmente nas áreas de maior extensão de armadura exposta, representadas pelo número 1 no mapa anterior à recuperação. Isso pode ter acontecido pela maior dificuldade de fazer a completa retirada dos materiais contaminados, na primeira etapa da recuperação,

quando o processo de corrosão já está plenamente instalado e ocorre em maiores áreas, simplesmente porque é contra a economia e segurança remover áreas muito grandes e não se sabe ao certo até onde se deve cortar. Conforme exposto na revisão bibliográfica, uma vez que não se retire todo o material contaminado, as áreas recuperadas começam a atuar como um cátodo frente àquelas que permaneceram sem reparo, formando a pilha de corrosão, e havendo o retorno das manifestações patológicas, principalmente nas regiões sujeitas ao ataque de cloretos. Ressalta-se que o no eixo 16 (c) passa uma junta de dilatação que parece já ter ultrapassado sua vida útil, permitindo infiltrações e agravando o processo já instalado de corrosão.

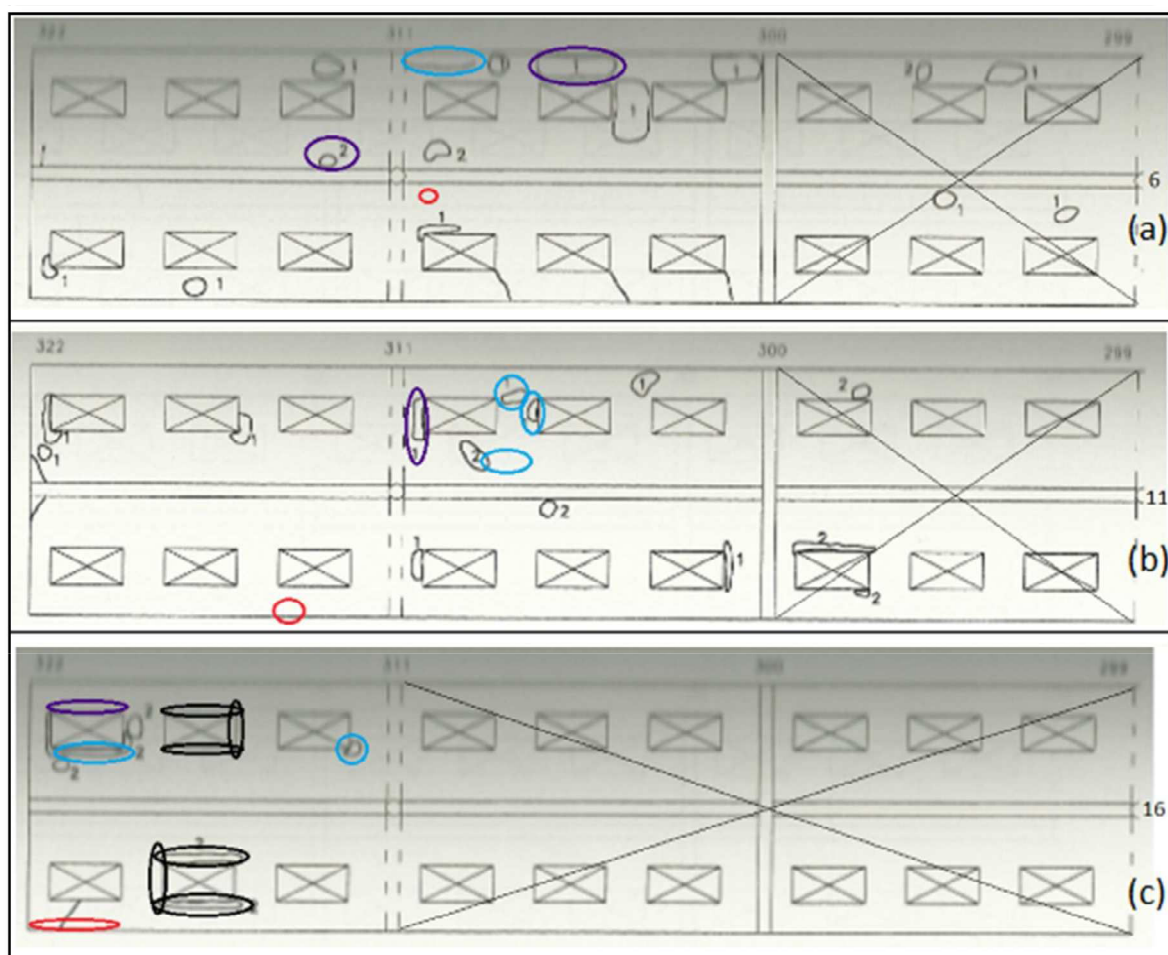


Figura 47- Comparação das Vigas Vierendeel antes e depois da recuperação: (a) Eixo 6 (b) Eixo 11, (c) Eixo 16.

Além das manifestações que parecem ter retornado, foram identificadas novas áreas com degradação localizada, as quais foram associadas às causas da patologia, e não a um baixo desempenho da recuperação. A Figura 48 mostra o eixo 8 como exemplo, em que foram identificadas diversas anomalias em novos pontos, enquanto que as áreas recuperadas

encontram-se aparentemente sãs atualmente, caracterizando um bom desempenho da recuperação, porém a existência de fatores atuais causadores de corrosão.

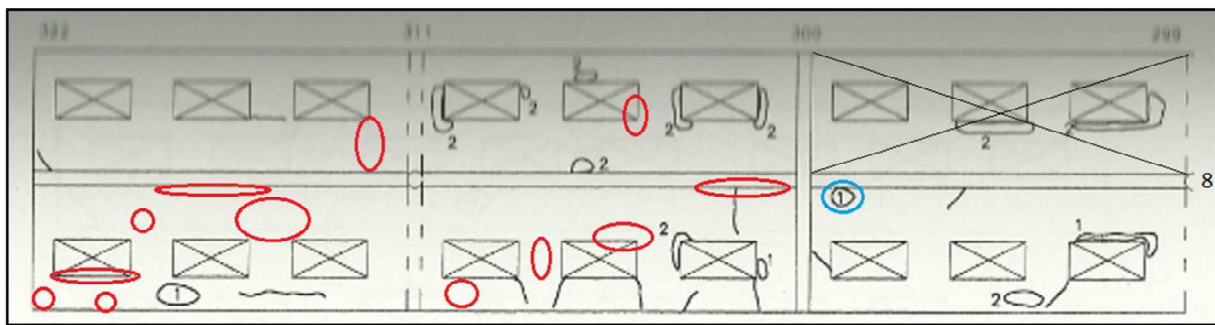


Figura 48- Comparação dos mapas das Vigas Vierendeel: eixo 8.

As manifestações que surgiram em novos locais indicam que as causas da patologia continuam presentes, apresentando as mesmas manifestações patológicas. Como já discutido no item anterior, o ambiente é agressivo e propício à corrosão, principalmente por cloretos, mas podem ser tomadas atitudes na tentativa de desacelerar o início e a propagação das reações de corrosão, provendo uma vida útil considerável a estrutura. Entre essas atitudes está o aumento da espessura de cobertura, entre outras que serão sugeridas adiante na discussão das etapas da recuperação.

A Figura 49 mostra a situação de uma viga anteriormente à recuperação (a), com vários pontos de armaduras expostas e corroídas, e a situação de uma viga atualmente (b), a qual representa a real situação da maioria das vigas vistoriadas, ou seja, visivelmente são com algumas anomalias localizadas. As fotos mostram que as vigas, conforme já comentado, encontram-se em melhores condições atualmente quando comparadas com as mesmas em 2000, apresentando algumas fissuras por expansão da armadura e deslocamentos parciais, e raros pontos de armadura exposta.

A mesma figura apresenta ainda um ponto de deslocamento parcial do concreto, anomalia mais comum entre as levantadas, onde a Figura 49 (c) mostra a manifestação como foi encontrada, e (d) mostra a mesma área após a percussão, revelando uma espessura de concreto de cobertura contaminada e fraca e armadura corroída. Nesse aspecto, observou-se uma boa atuação da pintura com tinta acrílica, quando comparado com o concreto aparente. Além de atuar na prevenção da patologia constituindo barreira física contra os agentes agressivos, observou-se que a película de pintura parece conter o deslocamento por um tempo, retardando o destacamento total da camada de cobertura e a consequente exposição da armadura.

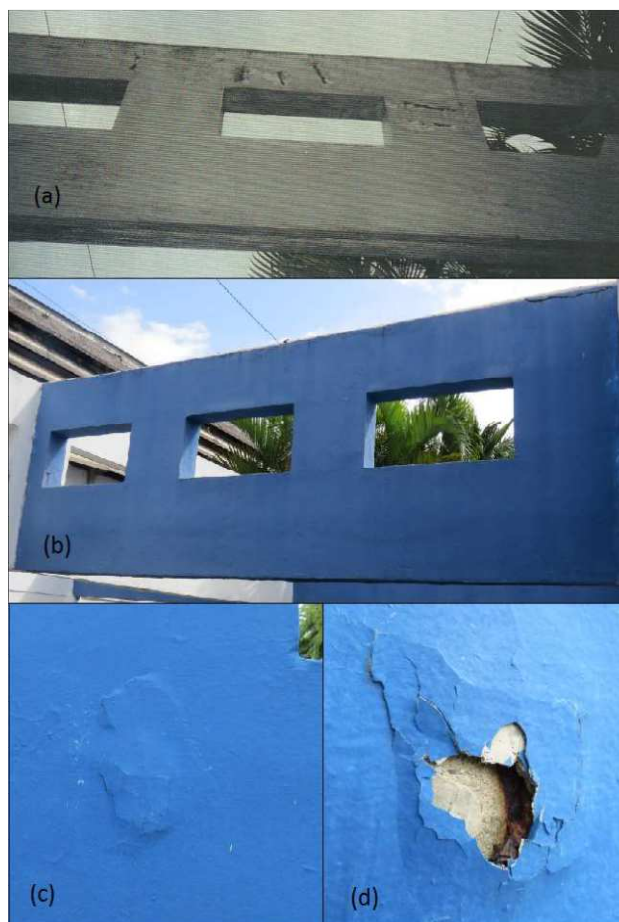


Figura 49- Comparação das manifestações patológicas das Vigas Vierendeel: (a) viga em 2000, (b) viga em 2015, (c) área com deslocamento parcial, (d) mesma área após percussão.

Um outro aspecto observado foi que boa parte das manifestações, inclusive as de maior dano, encontram-se na parte inferior das aberturas por onde passam tubulações, devido à infiltração causada pelas mesmas, fator esse acelerador do processo de corrosão. Esse problema acontece desde antes da recuperação, e continua contribuindo para a formação de pontos de corrosão localizada logo abaixo da passagem da tubulação. A Figura 50 (a) mostra um exemplo de degradação abaixo da tubulação antes da recuperação, em 2000, e as fotos (b) e (c) da figura apresentam a mesma situação atualmente, em 2015.

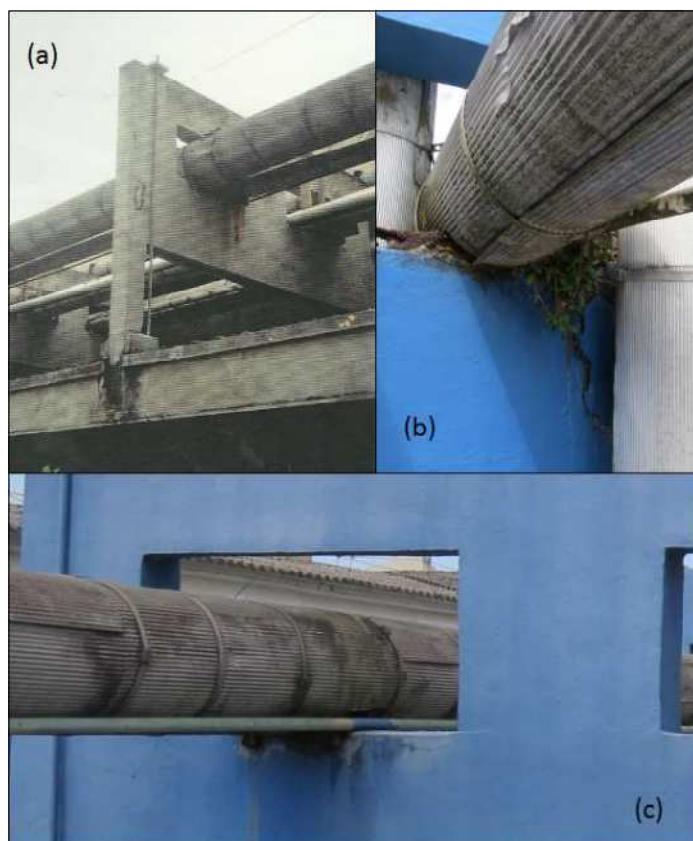


Figura 50- Comparação das manifestações patológicas das Vigas Vierendeel – detalhe da passagem de tubulação: (a) deterioração em 2000, (b) deslocamento em 2015, (c) infiltração em 2015.

É aconselhável, para manter a integridade das vigas, resolver esse problema com a colocação de um elemento para apoiar a tubulação, de forma que esta não fique em contato direto com a viga. Além disso, é importante considerar que a vida útil das tubulações é, via de regra, menor do que a da estrutura, necessitando de manutenção e, por vezes, a substituição dessas. A mesma observação vale para as juntas de dilatação, que estão visivelmente com a vida útil ultrapassada, também causando infiltrações e agravando o processo de corrosão nas áreas adjacentes a elas.

Seguindo para a comparação das lajes do prédio principal, também tratadas de maneira localizada pelo método tradicional, percebe-se uma significativa melhora na situação da estrutura devido ao processo de recuperação. Da mesma forma que para as vigas, seguindo os mesmos critérios, foi elaborada a Tabela 11, quantificando em termos de percentual as áreas sãs, com anomalias relacionadas à corrosão e com anomalias agravantes para o processo.



Tabela 11- Comparativo dos percentuais de anomalias nas lajes do prédio principal nos anos de 2000 e 2015.

	Un (2000)	Un (2015)	% (2000)	% (2015)
Sem manifestações	94	176	<b>41,78</b>	<b>78,22</b>
Com agravantes	65	22	<b>28,89</b>	<b>9,78</b>
Manifestações da corrosão	66	27	<b>29,33</b>	<b>12,00</b>
Total	225	225	100,00	100,00

Mais uma vez, observa-se que a situação atual da estrutura é significativamente melhor do que era anteriormente à recuperação, mesmo após 15 anos, apresentando um percentual de área de laje sem manifestações de quase 80%, enquanto que em 2000 era de aproximadamente 42%.

Para melhor visualização do exposto, a Figura 51 apresenta o mapa comparativo da situação das lajes em 2000 e 2015, ilustrando o bom desempenho da recuperação, onde a maioria dos pontos inicialmente identificados com armadura exposta e deslocamento de concreto apresentaram-se íntegros na vistoria atual.

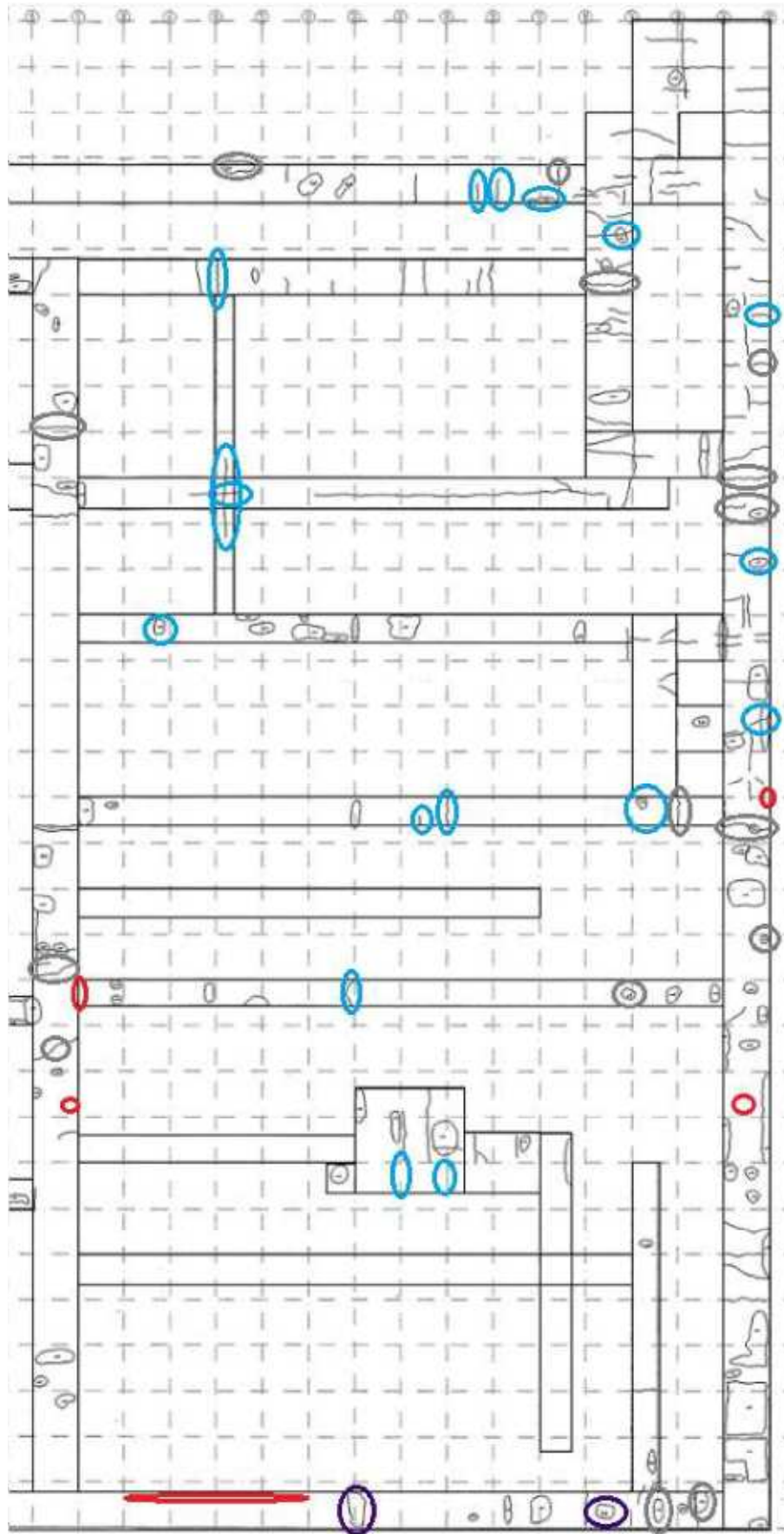


Figura 51- Comparação dos mapas das lajes do prédio principal.

O problema mais visível foi a reincidência de anomalias na forma de fissuras leves, infiltrações e manchas onde anteriormente existiam fissuras, indicando um mau desempenho na recuperação dessas. Porém, não há como saber quais das fissuras foram submetidas ao processo de selagem ou injeção, tornando inviável a análise de desempenho desses métodos. Além disso, a maior parte das fissuras parece ter sido causada pela sobrecarga na laje, pois não se apresentam paralelas às armaduras, configuração típica da fissura causada pela corrosão. As fissuras, porém, abrem caminho para os agentes causadores da corrosão, podendo acelerar o processo.

Um outro problema identificado foi a infiltração em pontos críticos como no perímetro das luminárias, onde foi encontrado grande parcela das manifestações, e adjacente à junta de dilatação da estrutura, além da espessura de cobertura praticamente nula das lajes, contribuindo para o desenvolvimento da patologia.

As manifestações citadas encontram-se expostas na Figura 52. Na Figura 52(a), é mostrado exemplo de armadura exposta identificada antes da recuperação. Na vistoria atual, não foram encontrados pontos com armadura exposta, a não ser nos pontos críticos já citados, demonstrando o bom desempenho da recuperação, visto que a propagação da corrosão ainda não chegou a esse nível de dano. Nas Figura 52(b) e (e), são apresentadas fissuras em 2000 e 2015, respectivamente, aparentemente acompanhando a extensão da armadura.

As fotos nas Figura 52 (c) e (d) mostram anomalias no perímetro de luminárias identificadas em 2000, enquanto que as Figura 52 (f) e (g) apresentam anomalias semelhantes encontradas na vistoria de 2015. Por fim, nas Figura 52(h) e (i) são mostradas anomalias causadas pela infiltração nas adjacências da junta de dilatação da estrutura, identificadas em 2000 e 2015, respectivamente.

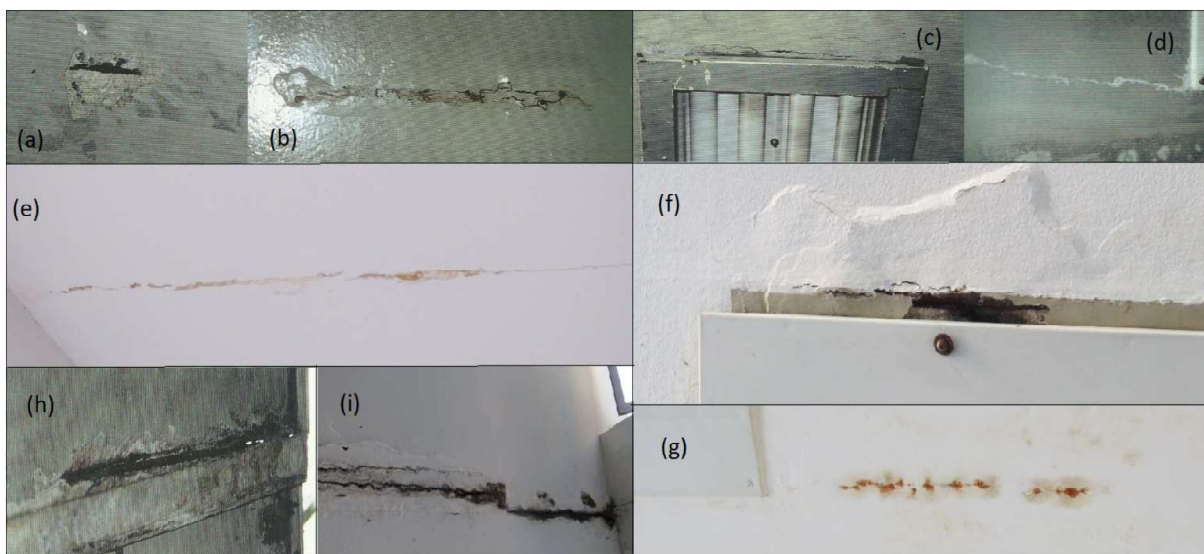


Figura 52- Comparação das manifestações patológicas das lajes do prédio principal: (a) armadura exposta em 2000, (b) fissura em 2000, (c) e (d) anomalias adjacentes à luminária em 2000, (e) fissura em 2015, (f) e (g) anomalias adjacentes à luminária em 2015, (h) anomalia adjacente à junta de dilatação em 2000, (i) anomalia adjacente à junta de dilatação em 2015.

Mais uma vez observou-se, na vistoria atual, que as anomalias foram as mesmas identificadas na vistoria de 2000, mas com menor dano para a estrutura, e em menor quantidade. Novamente, os pontos críticos são os mesmos, adjacentes a luminária e juntas, despertando a atenção para a frequência de manutenção do sistema de impermeabilização da laje e das juntas. Da mesma forma que nas vigas, a espessura de cobertura continua sendo mínima depois da recuperação, sendo incompatível com o ambiente.

### 5.5.2 Considerações sobre o reparo generalizado

O reparo generalizado adotado para o prédio de apoio, ao contrário do reparo localizado, à primeira vista parece não ter dado bons resultados. Quando analisamos a Figura 53, porém, a qual expõe o mapa da vistoria anterior à recuperação com marcações das manifestações encontradas na vistoria atual, de 2015, observamos dois cenários distintos: um na parte superior e outro na inferior, sendo a parte inferior a área que fica abaixo da cozinha.

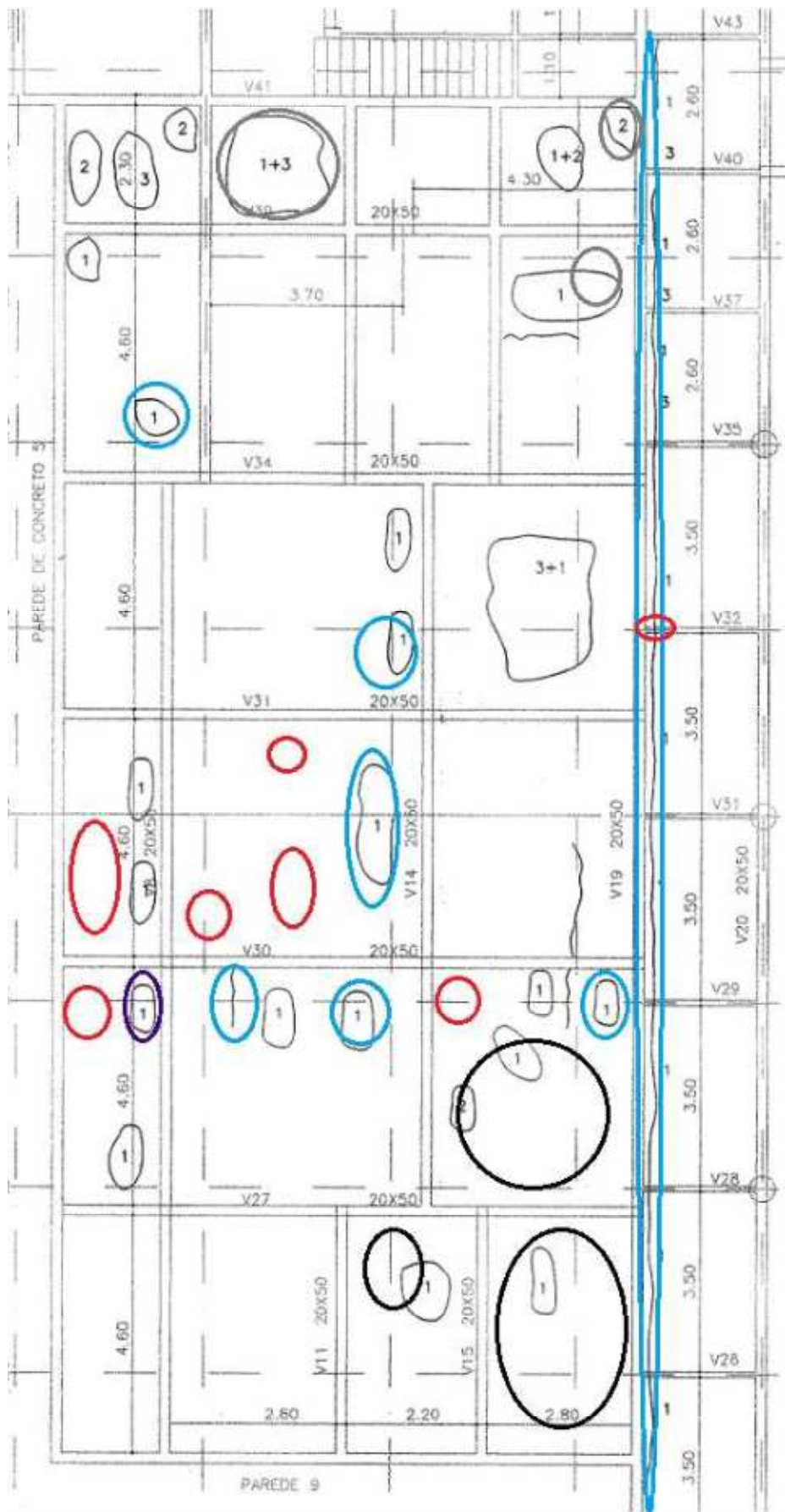


Figura 53- Comparação dos mapas das lajes do prédio de apoio.

Observa-se que na parte superior da planta foram identificadas poucas anomalias localizadas, de dano leve (cinza) e médio (azul), caracterizando um bom desempenho da recuperação nessa área. Porém, em alguns pontos, assim como no reparo localizado, ocorreu a reincidência de anomalias, apesar de essas ainda não apresentarem danos significativos, sendo na maioria dos casos apenas infiltrações. As novas manifestações detectadas, em vermelho, apresentam-se também sempre com infiltrações, principalmente em pontos críticos como a passagem de tubulações, indicando que essa é a principal causa da formação das anomalias, sem uma ligação com o processo de recuperação adotado.

Sem contar os pontos de infiltração localizados, as lajes da parte superior da planta encontram-se visivelmente em bom estado, como pode ser visto na Figura 54 (a) e (b).

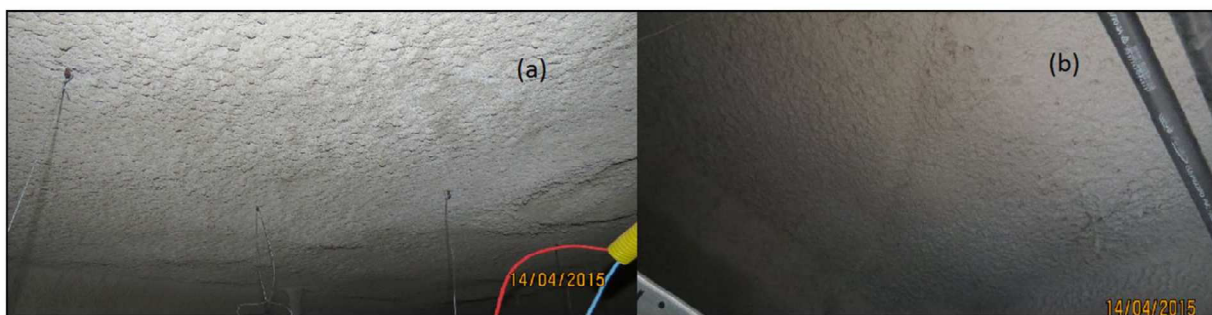


Figura 54- Lajes da parte superior do prédio principal.

Já na metade inferior do mapa apresentado na Figura 53, o cenário é crítico, com grande número de infiltrações generalizadas nas áreas marcadas em preto, comprometendo a vida útil de serviço do prédio. Nessa área, as manifestações não podem ser relacionadas com o bom ou mal desempenho da recuperação executada, e sim com a falha do sistema de drenagem e impermeabilização do pavimento superior.

O cenário encontrado na vistoria de 2015 não se pareceu com o característico de uma estrutura com corrosão de armaduras, como na primeira vistoria, mas apresentou como principal problema as infiltrações generalizadas, que, como consequência, ocasionaram a corrosão, como pode ser visto na Figura 55. As primeiras fotos (a, b, c), foram tiradas na primeira vistoria, em 2000, e apresentam armaduras expostas e corroídas na viga (a), laje com corrosão generalizada (b) e corrosão localizada (c), caracterizando a patologia de corrosão. Já as últimas fotos (d, e) apresentam o cenário atual, em que é possível identificar manifestações da corrosão, como as manchas em (d) e (e) e a armadura das vigas em (e), mas o problema principal é visivelmente a infiltração generalizada.

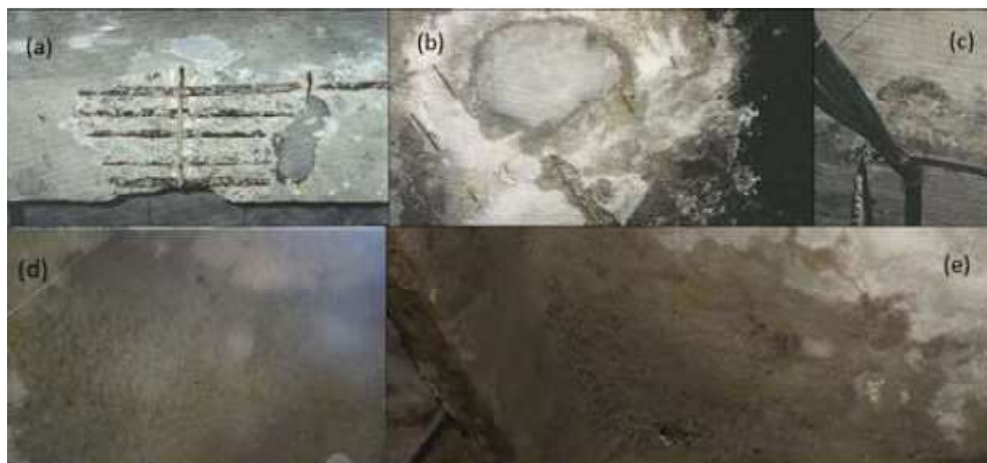


Figura 55- Comparação das manifestações patológicas das lajes do prédio principal: (a, b, c) fotos da estrutura em 2000, (d, e) fotos da estrutura em 2015.

A quantificação dos percentuais de anomalias para comparação entre as situações da estrutura em 2000 e 2015 também foi realizada para essa área, apresentada na Tabela 12, utilizando os mesmos critérios das anteriores (Tabela 10 e Tabela 11).

Tabela 12- Comparativo dos percentuais de anomalias nas lajes do prédio de apoio nos anos de 2000 e 2015.

	Un (2000)	Un (2015)	% (2000)	% (2015)
Sem manifestações	23	25	<b>38,98</b>	<b>42,37</b>
Com agravantes	1	3	<b>1,69</b>	<b>5,08</b>
Manifestações da corrosão	35	31	<b>59,32</b>	<b>52,54</b>
Total	59	59	100,00	100,00

Nota-se que os resultados foram basicamente os mesmos para as duas situações. Nesse caso, porém, esses valores não representam o grau de desempenho atingido pela recuperação, já que o retorno das manifestações se deveu às infiltrações generalizadas, conforme já explicitado.

### 5.5.3 Considerações sobre as etapas de recuperação

Após a vistoria, foram feitas algumas considerações sobre de que forma as etapas da recuperação poderiam ter interferido no cenário encontrado, e quais medidas poderiam ter contribuído para a melhoria do mesmo.

Conforme já discutido anteriormente, a etapa de remoção do material deteriorado é bastante delicada pela dificuldade de saber até onde remover. A remoção de grandes áreas não é técnico e economicamente recomendada, porém, caso não seja retirado todo o material contaminado, toda a recuperação pode ficar comprometida. Essa etapa pode ter contribuído para a

reincidência das manifestações patológicas no mesmo local que as anteriores, que sofreram reparos localizados.

O jateamento é o método de remoção mais recomendado na literatura, principalmente em áreas de degradação generalizada, pois alcança toda a superfície da estrutura, removendo qualquer área fraca e contaminada. Esse método foi utilizado nas lajes do prédio de apoio, e parece ter funcionado bem. As anomalias parecem ter sido causadas por infiltrações e não pelo retorno das manifestações, conforme já discutido no item anterior.

Uma outra etapa importante nesta análise é a proteção superficial do concreto, no fim do procedimento de recuperação. A função dessa etapa, como já foi discutido, é o aumento da barreira física e/ou química contra os agentes agressivos causadores da corrosão.

No caso do prédio de apoio, em que foi utilizado o concreto projetado, a aplicação de uma camada espessa, promovendo cobertura da armadura em conformidade com a agressividade do ambiente, provavelmente seria suficiente para um bom desempenho das lajes, considerando que as mesmas são internas e ainda protegida por forros de PVC.

A proteção superficial seria especialmente útil nas estruturas expostas do prédio principal, principalmente para o aumento da camada de cobertura, identificada nesses elementos como muito abaixo da recomendada. Um revestimento com o próprio concreto modificado com polímero seria muito apropriado, seguido de outro sistema de proteção como a pintura acrílica que foi executada, ou o sistema duplo com hidrofugante que foi previsto em projeto.

Com a aplicação do revestimento e obtenção do cobertura indicado para a agressividade do ambiente, algumas das novas manifestações encontradas na vistoria atual poderiam ter sido evitadas. A tinta acrílica utilizada teve papel importante na proteção da estrutura, como foi discutido no item anterior, porém não foi suficiente.

Ressalta-se que de nada adianta a recuperação das manifestações patológicas se as causas da patologia não forem eliminadas ou minimizadas, como é o caso da espessura de cobertura em toda a estrutura. Além do cobertura, cuidados deveriam ter sido tomados em relação à impermeabilização e drenagem das lajes para evitar as infiltrações, realizando a manutenção desses sistemas em curtos períodos de tempo, assim como dos sistemas hidráulicos, das juntas, e quaisquer outros pontos críticos identificados, pois esses não duram o mesmo tempo que a estrutura de concreto.



A NBR 15575-1 (ABNT, 2013) destaca a influência direta da manutenção periódica no desempenho das edificações, e sua contribuição no aumento da vida útil da estrutura, conforme ilustra a Figura 56. Desse modo, a NBR 6118 (ABNT, 2014) recomenda que toda edificação tenha um manual de utilização, inspeção e manutenção da edificação, ficando o referido documento de posse do usuário.

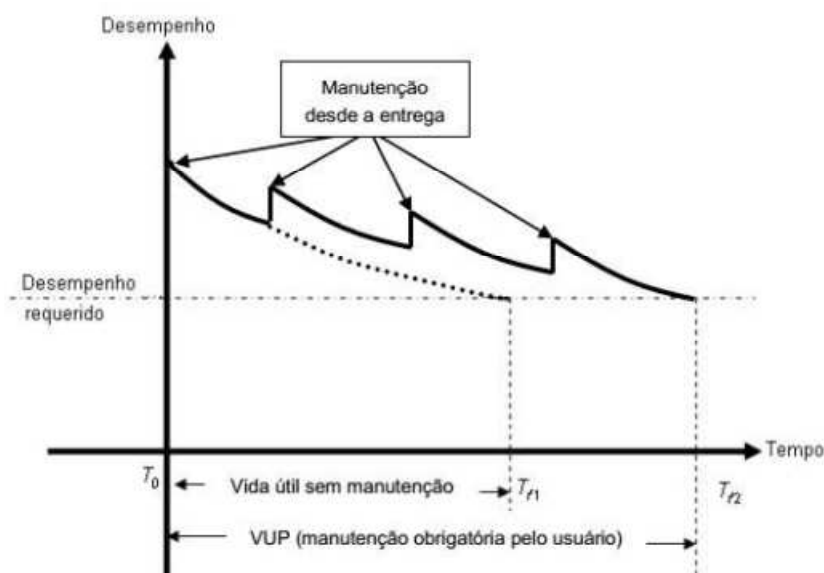


Figura 56- Desempenho de uma estrutura ao longo do tempo.  
(FONTE: ABNT NBR 15575-1, 2013).

Por fim, os métodos eletroquímicos também poderiam ter sido utilizados durante o processo, caso houvesse maior conhecimento sobre os mesmos na época. Como discutido na análise do projeto (item 5.4.1), a proteção catódica convencional pareceu não ser uma alternativa viável nesse caso, dada a pequena extensão dos danos, situação em que esse método não é indicado por questões econômicas, porém, há outros métodos que poderiam ser incorporados ao procedimento adotado.

Os métodos de proteção galvânica apresentam vantagens bem interessantes, conforme apresentado na revisão bibliográfica deste trabalho. Nos casos em estudo, os ânodos de sacrifício localizados, em forma de pastilhas, poderiam ter sido introduzidos durante os reparos localizados, criando uma pilha intencional e evitando o reaparecimento da corrosão na área recuperada, podendo diminuir consideravelmente a reincidência das anomalias nos pontos recuperados. Nas lajes do prédio de apoio, ânodos em forma de malhas metálicas ou revestimentos externos como sprays de zinco poderiam ter sido úteis, isto é, se não houvesse o problema das infiltrações generalizadas detectadas.

Ressalta-se que todas as medidas citadas nessa discussão refletem um custo adicional na recuperação, que pode ser pequeno ou muito significativo. O problema de optar ou não pelo uso dessas medidas é o desconhecimento exato do ganho que se tem com o investimento inicial, dada a falta de comprovação e mensuração do desempenho das mesmas.

## 6 CONCLUSÕES

A recuperação de estruturas de concreto armado vem sendo bastante discutida no meio técnico, e diversos materiais e técnicas vem surgindo no mercado, porém, a falta de normatização e a pouca experiência científica acumulada registrada dificultam a tomada de decisões na etapa de projeto, podendo resultar em desempenhos abaixo do esperado.

Os últimos estudos envolvendo o método tradicional de recuperação de estruturas com corrosão de armaduras, o qual consiste na remoção do material deteriorado e recomposição das peças, vem apresentando críticas pelo fato de que essa técnica não elimina por completo o processo de corrosão, resultando no retorno da patologia pouco tempo depois da recuperação. Além disso, diversas etapas desse procedimento não possuem uma comprovação de desempenho, ou seja, produtos são utilizados por recomendação de fabricantes sem o conhecimento do quanto essas etapas possam contribuir para o bom desempenho na recuperação.

Métodos alternativos ao tradicional vem sendo sugeridos e comercializados, como os métodos eletroquímicos, mas a opção de utilizá-los esbarra mais uma vez na falta de comprovação de desempenho em campo e a longo prazo. O acréscimo de investimento inicial desencoraja os projetistas, visto que o custo-benefício de utilizá-los não é claramente definido.

Ao que parece, atualmente, a decisão do método para recuperar uma edificação depende basicamente do capital que se tem disponível para investir e das facilidades de execução, independentemente do desempenho que essas técnicas terão em campo e da vida útil que as mesmas proporcionarão à estrutura.

Na análise do estudo de caso, levando em consideração que não se sabe ao certo qual o acréscimo de vida útil que um procedimento de recuperação confere à estrutura, e, que foi notável a melhoria no nível de dano da estrutura quando comparado ao relatado antes da recuperação, há 15 anos, considera-se que o procedimento teve um bom desempenho. No geral, a estrutura encontra-se visivelmente em bom estado, com apenas alguns pontos localizados apresentando anomalias, a maioria de pequena extensão.

Entretanto, através dos mapeamentos realizados, foi possível identificar o retorno de manifestações patológicas em alguns dos mesmos locais em que essas se apresentaram antes da recuperação, sugerindo que, de fato, o método não trata definitivamente a patologia, podendo

criar “pilhas” entre a parte recuperada e a antiga, sem interromper o processo de corrosão. Os retornos podem ter sido causados também pela demarcação incorreta da área a se retirar, deixando de remover todo o material contaminado, como recomendado, ou, ainda, um conjunto dos fatores citados.

Além dessas, as mesmas manifestações patológicas surgiram em locais distintos daqueles identificados antes da recuperação, indicando a presença dos mesmos fatores que causaram a patologia em 2000, não tendo relação com o método de recuperação executado. A área abaixo da cozinha do prédio de apoio estudado, por exemplo, apresentou um quadro crítico causado principalmente pela contínua infiltração no pavimento superior, e não pelo mau desempenho das operações de reparo. Essa área está em desuso devido às infiltrações, sem apresentar um quadro típico de problemas por corrosão das armaduras.

É importante ressaltar que além da escolha dos métodos e materiais de reparo, e sua execução, o desempenho de uma recuperação depende fortemente da efetiva eliminação ou mitigação dos fatores causadores da patologia, além do acompanhamento e manutenção da estrutura ao longo de sua vida útil.

Uma boa recuperação deve eliminar totalmente as causas da patologia, além de reparar as manifestações patológicas, pois só assim essas não tornarão a aparecer. No caso do ambiente em questão, de agressividade alta, é impossível eliminar o fator do teor de cloretos do ambiente, porém, esforços devem ser empregados para eliminar ou diminuir os fatores possíveis, como a garantia da espessura de revestimento adequada das peças.

A inspeção e manutenção periódica das edificações também é um fator essencial para o bom desempenho da recuperação. Especial atenção deve ser dada aos sistemas de drenagem, impermeabilização, hidráulico, de juntas, entre outros, que tendem a ter uma vida útil menor do que o da estrutura e podem afetar significativamente a sua durabilidade, atuando como pontos críticos.

Na análise das etapas do processo de recuperação, comprovou-se a dificuldade de realizar um estudo de custo-benefício para usar ou não algumas técnicas e materiais no reparo. Apesar dos materiais serem recomendados pelos fabricantes, não se tem conhecimento sobre o acréscimo de desempenho que esses conferem à estrutura, ressaltando a importância e necessidade de se realizarem mais estudos de campo a longo prazo visando a comprovação da eficácia dos materiais e técnicas de recuperação.

Do estudo de caso, foi possível reconhecer a importância de recuperar as edificações para estender a durabilidade das mesmas. Apesar de não ter tido 100% de eficácia, com algumas reincidências, a recuperação aumentou notavelmente e significativamente a vida útil da estrutura, pois, atualmente, essa apresentou melhores condições do que o detectado a 15 anos.

Ressalta-se que os procedimentos de reparo tradicionais não resolveram definitivamente o problema, nem atuaram efetivamente nas causas da patologia, mas promoveram um acréscimo de vida útil considerável. Outras alternativas, conforme discutido anteriormente, poderiam ter sido tomadas para a melhoria do desempenho da recuperação, ou seja, para promover maior aumento da vida útil da estrutura, mas não se sabe ao certo quantificar essa melhoria.

## 6.1 Sugestões para trabalhos futuros

Após o estudo realizado, surge naturalmente a necessidade de estudos complementares e na mesma linha que o apresentado para a discussão sobre o tema. Seguem algumas sugestões para trabalhos futuros relacionados:

- Estudos de desempenho dos métodos eletroquímicos menos difundidos como extração de cloretos, realcalinização, e proteção galvânica;
- Comparação de desempenho entre recuperações utilizando o método tradicional, com ou sem ponte de aderência e/ou inibidores de corrosão;
- Estudo comparativo de custos, com elaboração de orçamentos bases, para recuperar uma estrutura por diferentes métodos.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUADO, A.; DÍAZ, C.; AGULLÓ, L.; ALEGRE, V.; CASANOVAS, X. Orientación para la Selección de la Intervención. In PAULO HELENE & FERNANDA PEREIRA (Eds). **Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón: Reparación, Refuerzo y Protección**. Versión electrónica em CD. São Paulo, 2003. Cap. 3.

AGUIAR, J. E. **Avaliação dos Ensaios de Durabilidade do Concreto Armado a Partir de Estruturas Duráveis**. 2006. 173p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. UFMG. Belo Horizonte, 2006.

ALMEIDA, F. do C. R; SALES, A. Efeitos da Ação do Meio Ambiente Sobre as Estruturas de Concreto. In DANIEL VÉRAS RIBEIRO (Org). **Corrosão em Estruturas de Concreto Armado: Teoria, Controle e Métodos de Análise**. Rio de Janeiro: Elsevier 2014. Cap. 4.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 201.2R-08**: Guide to Durable Concrete. 2008.

\_\_\_\_\_. **ACI 222.R-01**: Protection of Metals in Concrete Against Corrosion. 2001.

\_\_\_\_\_. **ACI 222.3R-03**: Design and Construction Practices to Mitigate Corrosion of Reinforcement in Concrete Structures. 2003.

\_\_\_\_\_. **ACI 318-11**: Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary. 2011.

\_\_\_\_\_. **ACI 365.1R-00**: Service-Life Prediction—State-of-the-Art Report. 2000.

\_\_\_\_\_. **ACI 546R-96**: Concrete Repair Guide. (Reapproved 2001). 1996.

\_\_\_\_\_. **ACI RAP Bulletin 8**: Field Guide to Concrete Repair Application Procedures – Installation of Embedded Galvanic Anodes. CONCRETE REPAIR BULLETIN – International Concrete Repair Institute (ICRI) – SEPTEMBER/OCTOBER 2005. Disponível em: <http://www.icri.org/publications/bulletin.asp>. Acesso em: 15 fev 2015.

\_\_\_\_\_. **ACI RAP Bulletin 12**: Field Guide to Concrete Repair Application Procedures – Concrete Repair by Shotcrete Application. CONCRETE REPAIR BULLETIN – International Concrete Repair Institute (ICRI) – MAY/JUNE, 2011. Disponível em: <http://www.icri.org/publications/bulletin.asp>. Acesso em: 15 fev 2015.

ANDRADE, J. J. O. **Contribuição à Previsão da Vida Útil das Estruturas de Concreto Armado Atacadas pela Corrosão de Armaduras: iniciação por cloretos**. 2001. 256p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

ANDRADE, M. del C. P. **Manual para Diagnóstico de Obras Deterioradas por Corrosão de Armaduras**. São Paulo: PINI, 1992.

ARAÚJO, F. W. C. de. **Estudo da Repassivação da Armadura em Concretos Carbonatados Através da Técnica de Realcalinização Química**. 2009. 217p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5674**: Manutenção de edificações -Procedimento. Rio de Janeiro, 1999.

\_\_\_\_\_. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 1980.

\_\_\_\_\_. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_. **NBR 8681**: Ações e Segurança nas Estruturas. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento - Procedimento. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. **NBR 14037**: Manual de operação, uso e manutenção das edificações - Conteúdo e recomendações para elaboração e apresentação. Rio de Janeiro, 1998.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575-1**: Edificações Habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575-2**: Edificações Habitacionais – Desempenho. Parte 2: Requisitos para os Sistemas Estruturais. Rio de Janeiro, 2013.

BALL, J. C.; WHITMORE, D. W. **Corrosion Mitigation Systems for Concrete Structures**. CONCRETE REPAIR BULLETIN – International Concrete Repair Institute (ICRI) – JULY/AUGUST, 2003. Disponível em: <http://www.icri.org/publications/bulletin.asp>. Acesso em: 15 fev 2015.

BAUER, E.; FEIJÃO, C.; ALVES, N. **Avaliação do Desempenho de Sensores no Monitoramento da Corrosão das Armaduras**. In CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE O COMPORTAMENTO DE ESTRUTURAS DANIFICADAS, III, 2002, Rio de Janeiro.

BORGES, P. C.; MORENO, E. I.; AVILÉS, J. E. A. . **Comportamiento Electroquímico de Ina Reparación Localizada**: Efecto de la aplicación de un imprimación y un puente de adherencia. In CONGRESSO LATINOAMERICANO DE PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN, VII, 2003, México; CONGRESSO DE CONTROL DE CALIDAD EM LA CONSTRUCCIÓN II, IX, 2003, México.

BRASIL. Secretaria de Inspeção do Trabalho. **Proíbe o processo de trabalho de jateamento que utilize areia seca ou úmida como abrasivo**. Portaria N.º 99, de 19 de Outubro de 2004. Ministério do Trabalho e Emprego. Diário Oficial da União de 21 de Outubro de 2004, Seção 01, pág. 68.

BRITEZ, C. A.; COSTA, C.N. Ações do Fogo nas Estruturas de Concreto. In G. C. ISAIA (Ed). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: IBRACON, 2011. Pag. 1029 a 1068.

CALIXTO, J. M. **Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Armado com Vistas à Durabilidade**. Apostila - Notas de Aula. Disciplina: Durabilidade, Proteção e Recuperação de Estruturas. Programa de Pós Graduação em Construção Civil – PPGCC. UFMG, 2012.

CARMONA, T. G. **Modelos de previsão da despassivação das armaduras em estruturas de concreto sujeitas à carbonatação**. 2005. 93p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

CASCUDO, O. **O Controle da Corrosão de Armaduras de Concreto: Inspeção e Técnicas Eletroquímicas**. 1.ed. São Paulo: PINI e UFG, 1997.

CASCUDO, O; CASAREK, H. Ações da Carbonatação no Concreto. *In* G. C. ISAIA (Ed). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo, IBRACON, 2011. Pag. 849 a 886.

CASTRO, P.; TORRES, A.; MORENO, E.; LARANDEROS, M.; BALACÁN, M.; UICAB, M. A. Q. Control de Calidad y Criterios para la Recepción. *In* PAULO HELENE & FERNANDA PEREIRA (Eds). **Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón. Reparación, Refuerzo y Protección**. Versión electrónica em CD. São Paulo, 2003. Cap. 11.

CINCOTTO, M.A. Reações de Hidratação e Pozolânicas. *In* G.C. ISAIA (Ed). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo, IBRACON, 2011. Pag. 381 a 414.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS - GERAÇÃO E TRANSMISSÃO S.A. **Investigação do comportamento do concreto e da calda de cimento em contato com rocha sulfetada**. 11.171-GR/EC-03521. P&D 122. Belo Horizonte, 2007.

CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA DO RIO DE JANEIRO. **Autovistoria – Prevenção agora é Lei**. Cartilha. Redação, Projeto gráfico e Organização: Assessoria de Marketing e Comunicação do CREA-RJ. Agosto, 2013.

\_\_\_\_\_. **Autovistoria e Laudo Técnico de Vistoria Predial – Mais Segurança para os Cidadãos**. Cartilha. Edição e Organização: Assessoria de Marketing e Comunicação do CREA-RJ. Agosto, 2014.

COSTA, J. E.; ETCHEVERRY, L. **Corrosion and Corrosion Control**. CONCRETE REPAIR BULLETIN – International Concrete Repair Institute (ICRI) – SEPTEMBER/OCTOBER, 2005. Disponível em: <<http://www.icri.org/publications/bulletin.asp>> Acesso em: 15 fev 2015.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Norma 080/2006–ES**: Preparação de Superfícies de Concreto: Apicoamento e Jateamentos – Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2006.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). **Website** – Disponível em: <[http://standards.cen.eu/dyn/www/f?p=CENWEB:105::RESET:::~](http://standards.cen.eu/dyn/www/f?p=CENWEB:105::RESET:::)> Acesso em: 08 mar 2015.

FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON. **Model Code 2010 - First complete draft** – Volume 1. Bulletin 55. 2010.



FERREIRA, W.; SANTOS, J. S. A. dos; CAVALCANTE, F. R. de H.; SANTOS, E. W. F.; MELO, A. V. S.; FREITAS, M. N. B. de S. **O Emprego de Ensaios Não Destrutivos na Avaliação de Estrutura em Concreto Armado de Edificações.** In CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 56º, 2014, Natal, Anais do 56º Congresso Brasileiro do Concreto. Natal, IBRACON: 2014.

FIGUEIREDO, E. P. Ações dos cloretos no Concreto. In G.C. ISAIA (Ed). **Concreto: Ciência e Tecnologia.** São Paulo, IBRACON, 2011. Pag. 887 a 902.

FIGUEIREDO, E. J. P; MEIRA, G.R. Corrosão das Armaduras das Estruturas de Concreto. In G.C. ISAIA (Ed). **Concreto: Ciência e Tecnologia.** São Paulo, IBRACON, 2011. Pag. 903 a 932.

FRANCO, J.; REGGIARDO, C.; PEREIRA, F.; GAMBOGI, A.; DELGADO, A.P.; GARCÍA, A.; CAMEJO, E.; GONZALÉZ, G.; GONZALEZ, R. Procedimientos de Protección y Mantenimiento de Estructuras. In PAULO HELENE & FERNANDA PEREIRA (Eds). **Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón. Reparación, Refuerzo y Protección.** Versión electrónica em CD. São Paulo, 2003. Cap. 9

GALLETTO, A. **Reparo de Estruturas de Concreto: contribuição ao estudo da aderência.** 2005. 138p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil.) Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo de Campinas, Campinas, 2005.

GONÇALVES, A.; ANDRADE, C.; CASTELLOTE, M. Procedimientos de Reparación y Protección de Armaduras. In PAULO HELENE & FERNANDA PEREIRA (Eds). **Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón. Reparación, Refuerzo y Protección.** Versión electrónica em CD. São Paulo, 2003. Cap. 7.

HASPARYK, N. P., GOMIDES, M. J., SIGNINI, R.; SILVA, H. H. A. B.; ANDRADE, M. A. S. BITTENCOURT, R. M. **Metodologias Empregadas na Investigação do Teor de Sulfetos.** In CONGRESSO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM ENERGIA ELÉTRICA, III. Florianópolis, 2005.

HASPARYK, N. P. Reação Álcali-Agregado no Concreto. In G.C. ISAIA (Ed). **Concreto: Ciência e Tecnologia.** São Paulo, IBRACON, 2011. Pag. 933 a 1002.

HELENE, P. R. L. **Corrosão em Armaduras Para Concreto Armado.** São Paulo: PINI, 1986.

\_\_\_\_\_. **Manual Para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto.** São Paulo: PINI, 1992.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 2394:** General Principles on Reliability for Structures, 1998.

\_\_\_\_\_. **ISO 13823:** General Principles on the Design of Structures for Durability, 2008.

\_\_\_\_\_. **ISO Website catalogue.** Disponível em:

[http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue\\_tc/catalogue\\_detail.htm?csnumber=53656](http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=53656)>  
Acesso em 08 mar 2015.

JONES, G. **Taking Control of Corrosion Management Decisions**. CONCRETE REPAIR BULLETIN – International Concrete Repair Institute (ICRI) – SEPTEMBER/OCTOBER 2011. Disponível em: <<http://www.icri.org/publications/bulletin.asp>> Acesso em: 15 fev 2015.

LIMA, M.G. Ações do Meio Ambiente sobre as Estruturas de Concreto. In G.C ISAIA (Ed). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo, IBRACON, 2011. Pag. 733 a 772.

LOURENÇO, M. Z. Técnicas eletroquímicas para a reabilitação de estruturas. In DANIEL VÉRAS RIBEIRO (org). **Corrosão em Estruturas de Concreto Armado: Teoria, Controle e Métodos de Análise**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. Pag. 223 a 246.

LOURENÇO, M. Z.; SOUZA, C. A. C. de. Métodos de proteção e aumento da durabilidade do concreto armado. In DANIEL VÉRAS RIBEIRO (org). **Corrosão em Estruturas de Concreto Armado: Teoria, Controle e Métodos de Análise**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. Pag. 119 a 170.

MALDONADO, L. **Corrosion of zinc-coated reinforcing bars and degradation of concrete in marine atmospheres**. In CONGRESSO LATINOAMERICANO DE PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN, VII, 2003, México; CONGRESSO DE CONTROL DE CALIDAD EM LA CONSTRUCCIÓN II, IX, 2003, México.

MEDEIROS, M.H.F.; ANDRADE, J.J.O.; HELENE, P. Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto. In G.C. ISAIA (Ed). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo, IBRACON, 2011. Pag. 773 a 808.

MEDEIROS, M.H.F. de. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos com proteção superficial frente à ação de íons cloretos**. 2008. 218p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008.

MIRANDA, J. M.; GONZÁLEZ, J. A.; OTERO, E.; COBO, A. **Consideraciones sobre la repavacion-rehabilitacion de las estructuras corroidas de concreto armado**. In CONGRESSO LATINOAMERICANO DE PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN, VII, 2003, México; CONGRESSO DE CONTROL DE CALIDAD EM LA CONSTRUCCIÓN II, IX, 2003, México.

MONTEIRO, E.C.B. **Avaliação do Método de Extração Eletroquímica de Cloretos para Reabilitação de Estruturas de Concreto com Problemas de Corrosão de Armaduras**. 2002. 211p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.

MORAES, A.C.L. **Recorrência de Patologias em Processos de Ataque via Cloreto em Concreto Armado**. 2012. 210p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2012.

MUÑOZ, H.; HELENE, P.; PEREIRA, F.; HASHOOK, L. Procedimientos de Preparación y Limpieza del Substrato. In PAULO HELENE & FERNANDA PEREIRA (Eds). **Manual de**

**Rehabilitación de Estructuras de Hormigón. Reparación, Refuerzo y Protección.** Versión electrónica em CD. São Paulo, 2003. Cap. 5.

PAULON, V.; KIRCHHEIM, A.P. Nanoestrutura e Microestrutura do Concreto Endurecido. *In* G.C ISAIA (Ed). **Concreto: Ciência e Tecnologia.** São Paulo, IBRACON, 2011. Pag 585 a 614.

PRISZKULNIK, S. Ações físicas e Químicas de degradação do Concreto. *In* G.C ISAIA (Ed). **Concreto: Ciência e Tecnologia.** São Paulo, IBRACON, 2011. Pag. 1003 a 1028.

QUESADA, G. Procedimientos de Reparación. *In* PAULO HELENE & FERNANDA PEREIRA (Eds). **Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón. Reparación, Refuerzo y Protección.** Versión electrónica em CD. São Paulo, 2003. Cap. 6.

RIBEIRO, D. V. Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto. *In* DANIEL VÉRAS RIBEIRO (Org). **Corrosão em Estruturas de Concreto Armado – Teoria, Controle e Métodos de Análise.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. Pag 37 a 50.

RIBEIRO, D. V; CUNHA, M. P. T. Deterioração das Estruturas de Concreto Armado. *In* DANIEL VÉRAS RIBEIRO (Org). **Corrosão em Estruturas de Concreto Armado – Teoria, Controle e Métodos de Análise.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. Pag. 87 a 118.

RIBEIRO, P. de T. P.; MIRANDA; L. R. M. de. **Inibidores Multifuncionais para Saneamento da Corrosão em Estruturas de Concreto Armado.** *In* CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE O COMPORTAMENTO DE ESTRUTURAS DANIFICADAS, 2002. Rio de Janeiro,

RINCÓN, O. T. de; HELENE, P.; VARGAS, A.; ESPINOZA, A.; CONTERAS, D.; PRADO, D.; HERNÁNDEZ, I.; BRAVO, J.; SÁNCHEZ, M; FERNÁNDEZ, R; URDANETA, R; DELGADO, S. Materiales y Sistemas de Rehabilitación. *In* PAULO HELENE & FERNANDA PEREIRA (Eds). **Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón. Reparación, Refuerzo y Protección.** Versión electrónica em CD. São Paulo, 2003. Cap. 4.

RIO DE JANEIRO. Lei Complementar nº 126, de 26 de março de 2013. **Institui a obrigatoriedade de realização de vistorias técnicas nas edificações existentes no Município do Rio de Janeiro.** Diário Oficial nº 09 de 27 de Março de 2013, p. 03. Legislação municipal.

RIO DE JANEIRO. Lei Ordinária nº 6.400, de 05 de março de 2013. **Determina a realização periódica por autovistoria a ser realizada pelos condomínios ou por proprietários dos prédios residenciais, comerciais e pelo poder público, nos prédios públicos, incluindo estruturas, fachadas, empenas, marquises, telhados e obras de contenção de encostas bem como todas as suas instalações e cria laudo técnico de vistoria predial (LTVP) no Estado do Rio de Janeiro e dá outras providências.** Publicada no Diário Oficial em 06 de Março de 2013.

SERCPINT. **Dicas de como recuperar estruturas de concreto.** Disponível em: <2015<http://sercpintonline.blogspot.com.br/2011/03/dicas-de-como-recuperar-estruturas-de.html>> Acesso em: 24 fev 2015.

SIEMES, T.; EDVARDBSEN, C. **Duracrete: service life design for concrete structures.** *In* M.A.LACASSE AND D.J. VANIER (Eds.). VIII DURABILITY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS. Institute for Research in Construction, Ottawa ON, K1A0R6, pp. 1343-1356. Canada, 1999.

SIEMES, T.; VRIES, H. DE. **Overview of The Development Of Service Life Design for Concrete Structures.** *In* IX DURABILITY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS. 9DBMC-Paper 261. 2002.

SOUSA, C. A. C. Princípios da Corrosão Eletroquímica. *In* DANIEL VÉRAS RIBEIRO (Org). **Corrosão em Estruturas de Concreto Armado – Teoria, Controle e Métodos de Análise.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. Pag. 13 a 36.

SOUZA, V. C. M. de; RIPPER, T. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto.** 1.ed. São Paulo: PINI, 1998.

TINOCO, H. F. da F.; FIGUEIREDO, E. J. P. **Performance Evaluation of Repairing Systems Performed by a Microconcrete or a Mortar with Inhibiitor and Epoxi-Based Barrier.** *In* CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE O COMPORTAMENTO DE ESTRUTURAS DANIFICADAS, 2002, Rio de Janeiro.

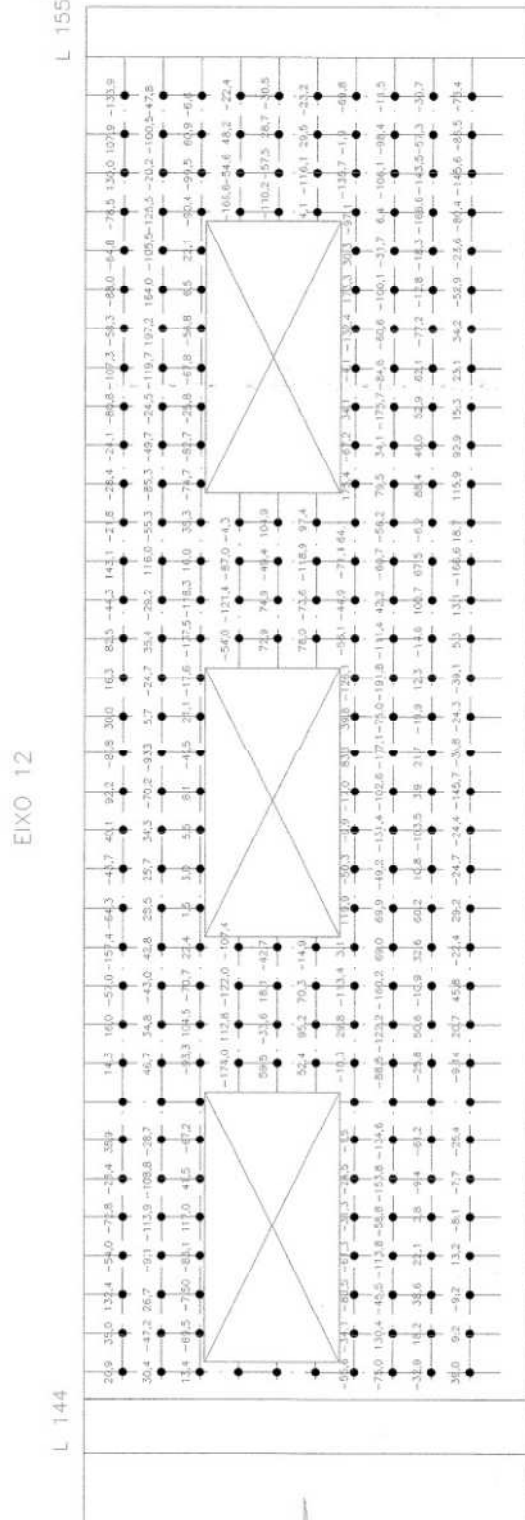
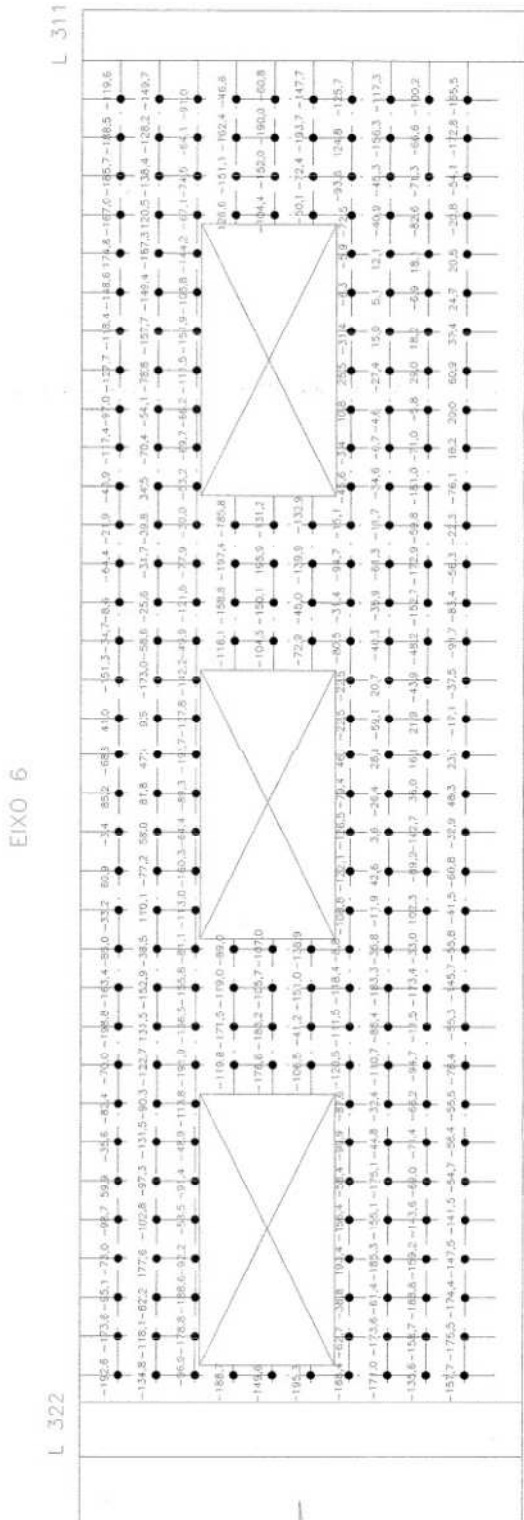
TULA, L.; OLIVEIRA, P.S.F.; HELENE, P. **Grautes para Reparo.** *In* CONGRESSO LATINOAMERICANO DE PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN, VII, 2003, México; CONGRESSO DE CONTROL DE CALIDAD EM LA CONSTRUCCIÓN II, IX, 2003, México.

WERLE, A. P.; KAZMIERCZAK, C. DE S.; KULAKOWSKI, M. P. **Carbonatação em concretos com agregados reciclados de concreto.** Ambiente Construído. (Online) vol.11 no.2 Porto Alegre, Apr./June, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1678-86212011000200015>> Acesso em: 16 nov 2014.

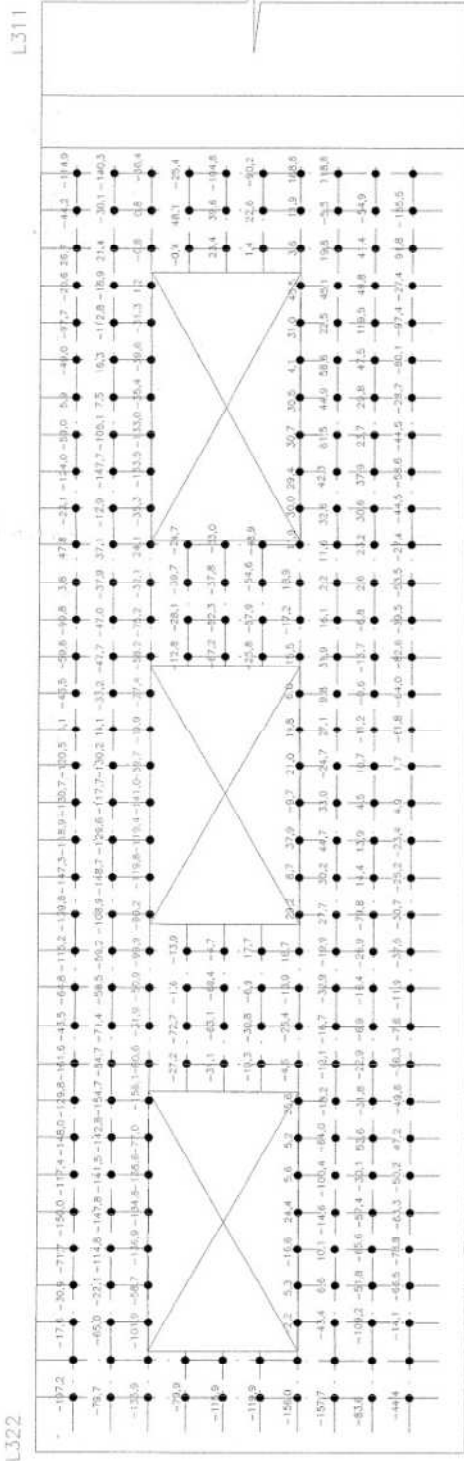
WHITMORE, D. W.; BALL, J. C. **Galvanic Protection for Reinforced Concrete Structures** CONCRETE REPAIR BULLETIN – International Concrete Repair Institute (ICRI) – SEPTEMBER/OCTOBER, 2005. Disponível em: <<http://www.icri.org/publications/bulletin.asp>> Acesso em: 15 fev 2015.

WHITMORE, D. **Introduction to ICRI technical guideline no. 510.1-2013: Guide for electrochemical techniques to mitigate the corrosion of steel for reinforced concrete structures.** CONCRETE REPAIR BULLETIN – International Concrete Repair Institute (ICRI) – MARCH/APRIL, 2014. Disponível em: <<http://www.icri.org/publications/bulletin.asp>> Acesso em: 15 fev 2015.

# ANEXO A – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE POTENCIAL DE CORROSÃO

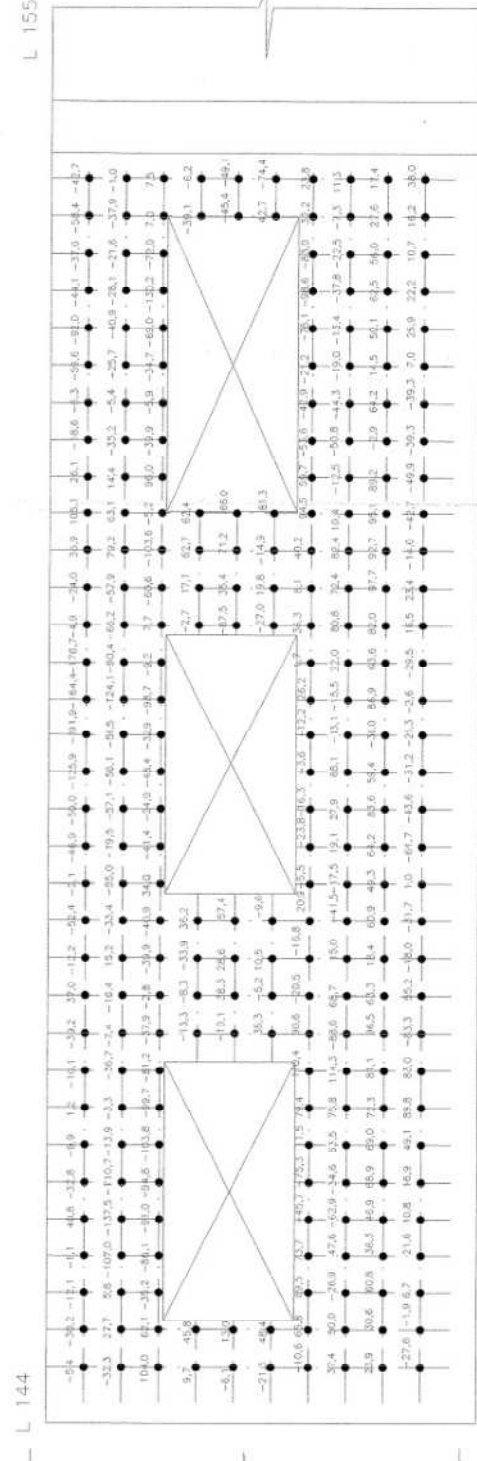


EIXO 31



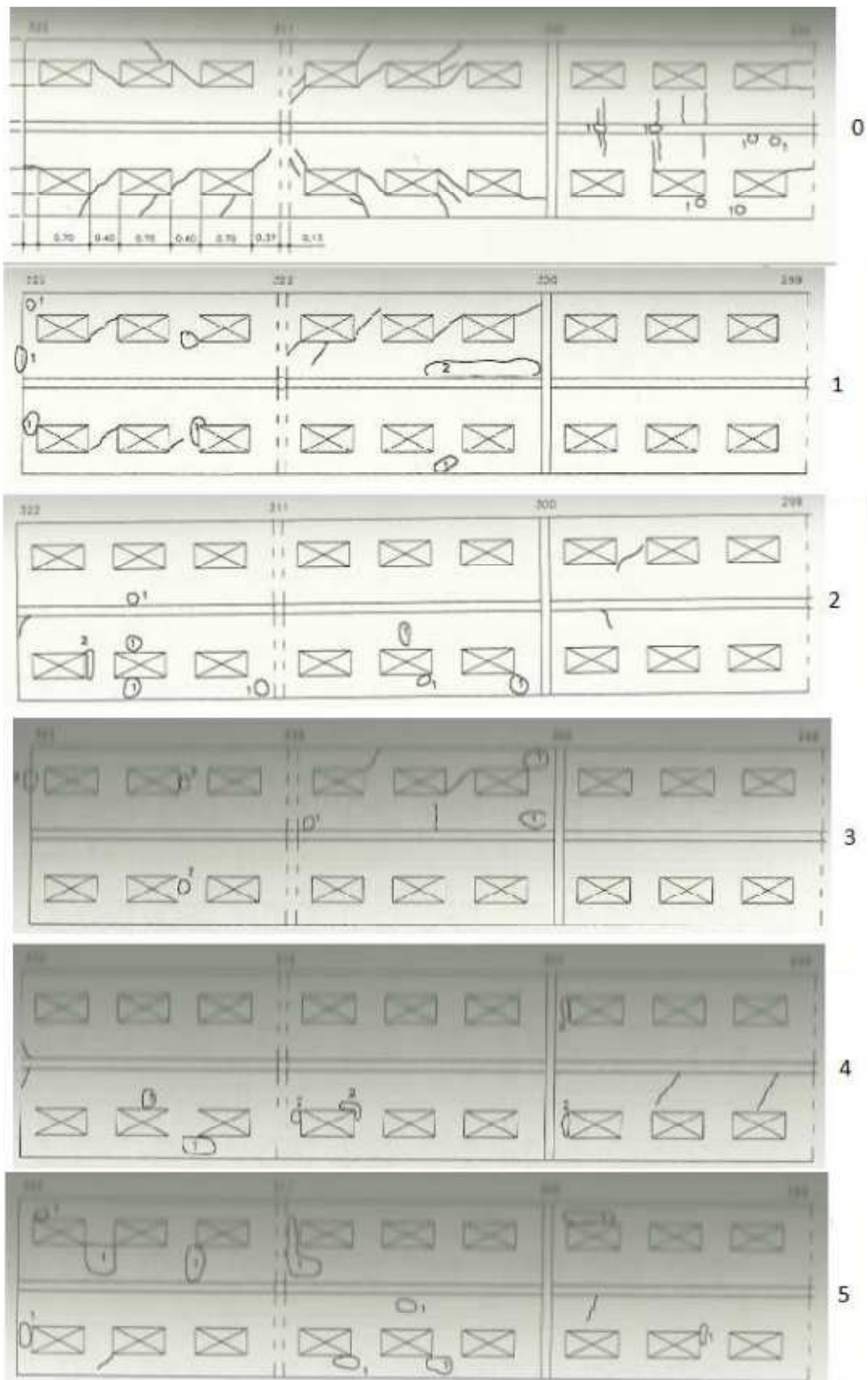
FACE ESQUERDA

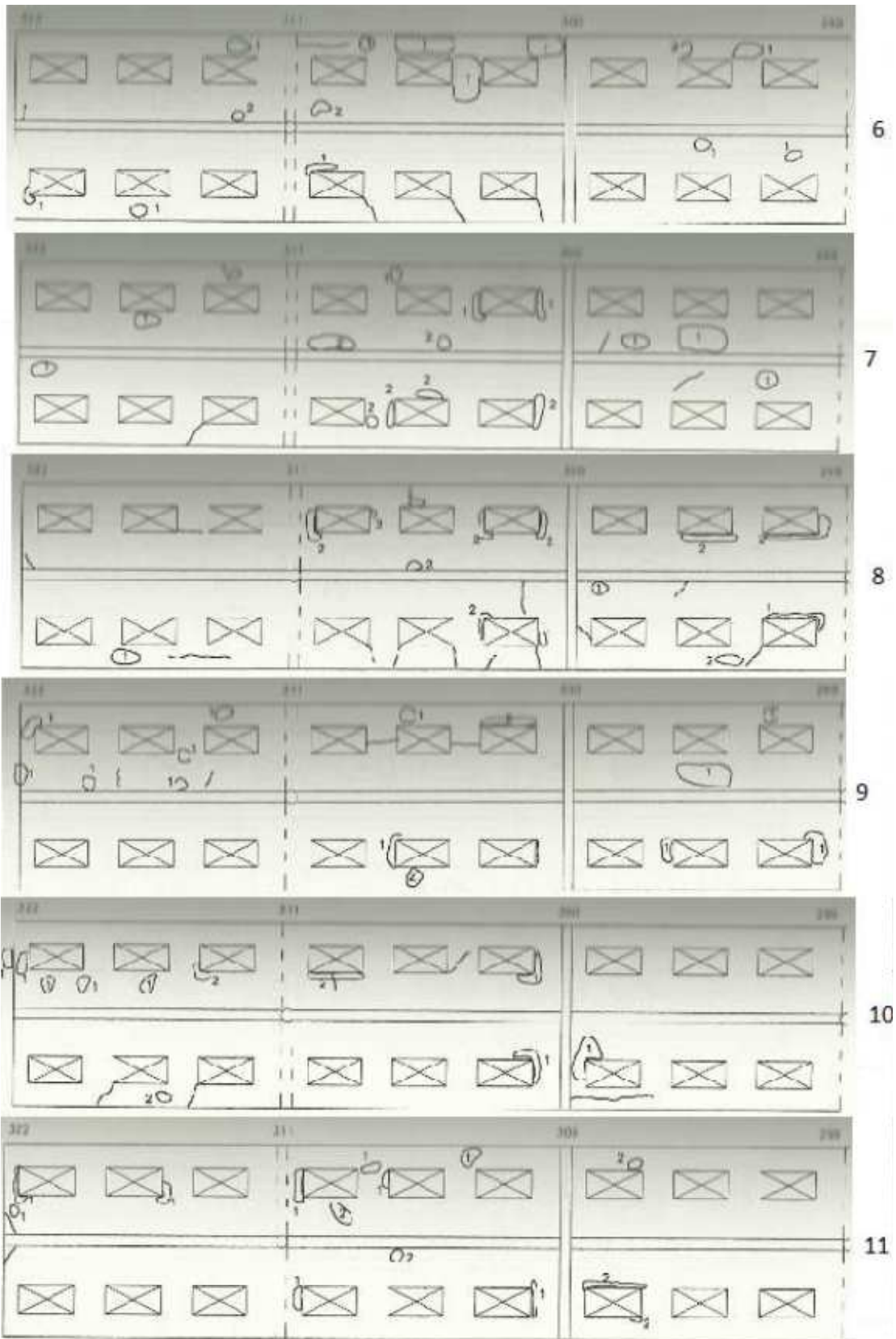
EIXO 114



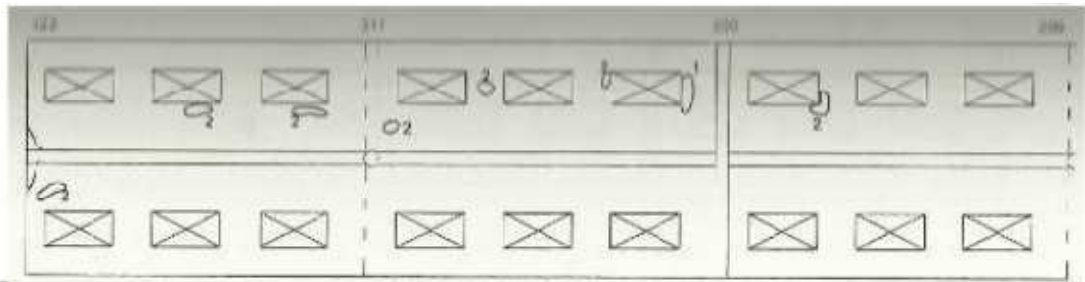
FACE ESQUERDA

## ANEXO B – MAPEAMENTO DAS VIGAS VIERENDEEL EM 2000

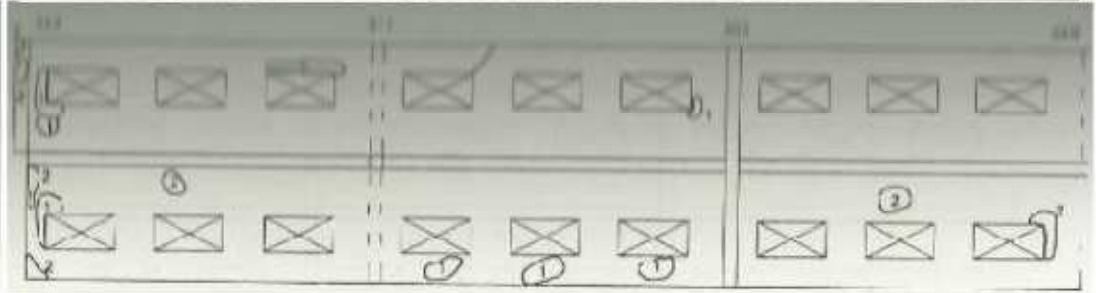




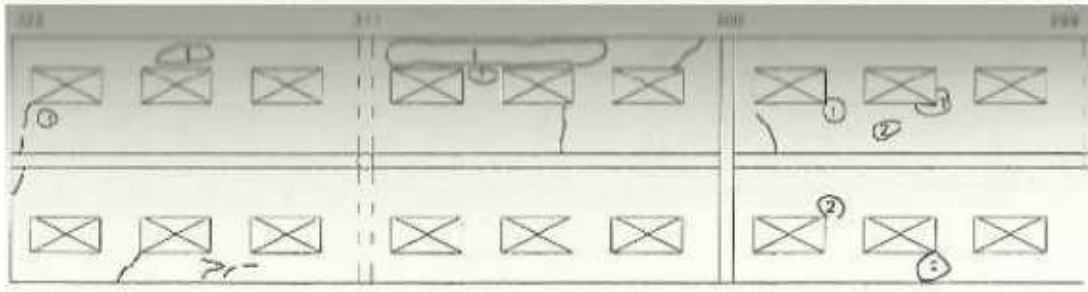




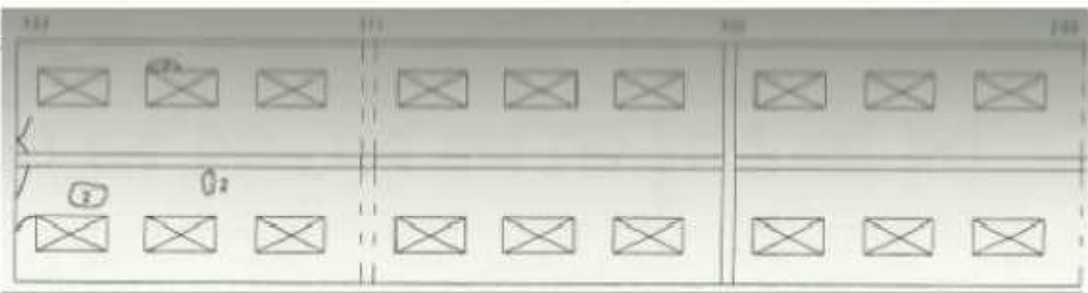
12



13



14

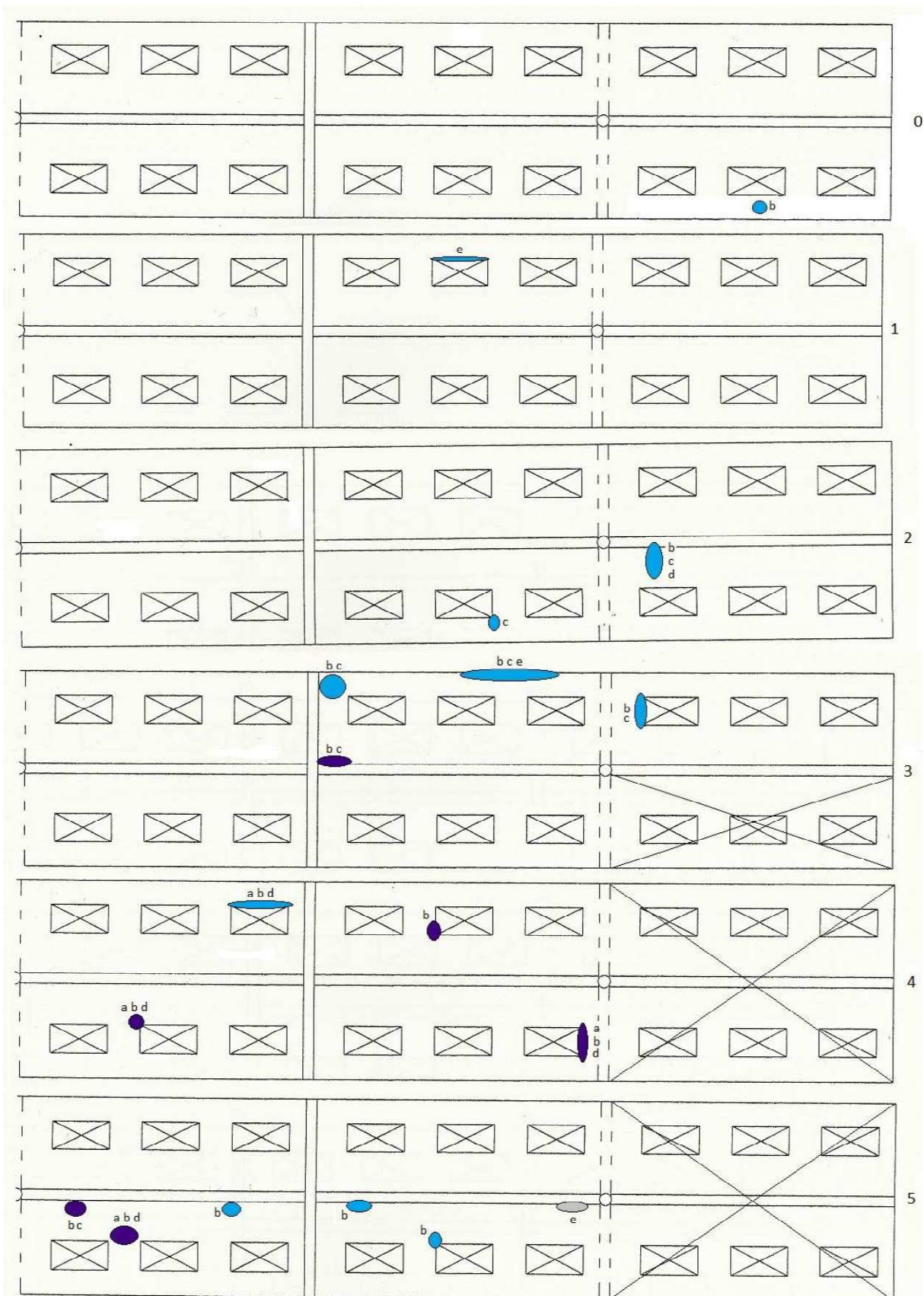


15



16

## ANEXO C – MAPEAMENTO DAS VIGAS VIERENDEEL EM 2015.



6

7

8

9

10

11

