

CENTRO UNIVERSITÁRIO ATENAS

BRUNA ARAÚJO MONTEIRO

CORROSÃO DE ARMADURA EM VIGA DE CONCRETO

ARMADO: estudo de caso em edificação residencial do
município de Paracatu

Paracatu

2019

BRUNA ARAÚJO MONTEIRO

CORROSÃO DE ARMADURA EM VIGA DE CONCRETO ARMADO: estudo de caso em edificação residencial do município de Paracatu

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Atenas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Patologias das estruturas.

Orientador: Prof^a. Ellen Mayara Santos Cardoso.

Paracatu

2019

M772c

Monteiro, Bruna Araújo.

Corrosão de armadura em viga de concreto armado:
estudo de caso em edificação residencial do município de
Paracatu. / Bruna Araújo Monteiro. – Paracatu: [s.n.], 2019.
49 f. il.

Orientador: Prof^a. Ellen Mayara Santos Cardoso.
Trabalho de conclusão de curso (graduação)
UniAtenas.

1. Patologias. 2. Concreto armado. 3. Corrosão de
armadura. 4. Recuperação. I. Monteiro, Bruna
Araújo. II. UniAtenas. III. Título.

CDU: 62

BRUNA ARAÚJO MONTEIRO

CORROSÃO DE ARMADURA EM VIGA DE CONCRETO ARMADO: estudo de
caso em edificação residencial do município de Paracatu

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Atenas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Patologias das estruturas.

Orientador: Prof^a. Ellen Mayara Santos Cardoso.

Banca Examinadora:

Paracatu-MG, _____ de _____ de _____.

Prof^a. Ellen Mayara Santos Cardoso
Centro Universitário Atenas

Prof. Msc. Pedro Henrique Pedrosa de Melo
Centro Universitário Atenas

Prof. Carlos Eduardo Ribeiro Chula
Centro Universitário Atenas

Dedico este trabalho aos meus pais, que sempre me apoiaram, aos mestres, que dedicam suas vidas ao ensino e à pesquisa, e a todos aqueles que sentiram minha ausência durante o período de construção desta monografia. Sou melhor por vocês existirem.

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, agradeço a Deus, por nunca me abandonar, por me sustentar quando fraquejei, por me erguer quando caí e por me conceder mais essa vitória. Tudo o que sou é por Tua honra e glória!

Agradeço também a minha família, que acompanhou toda a minha jornada para esta graduação, inclusive às minhas pets, Babi e Myrcella, que por tantas vezes me ofereceram conforto, sem dizer uma única palavra.

Aos meus amigos, que me suportaram nos meus piores momentos, de angústia e incerteza, gratidão.

Agradeço também aos meus professores e, em especial, à minha orientadora, Prof.^a Ellen Cardoso, por compartilharem conhecimentos e conselhos, para a carreira e para a vida. Tenho orgulho de ser aluna de vocês!

Por fim, agradeço a cada pessoa que cruzou meu caminho nos últimos anos, aos que desejam o meu sucesso e também àqueles que não o querem. Cada crítica me fez mais forte. Muito obrigada!

“Seja um padrão de qualidade. As pessoas não estão acostumadas a um ambiente onde o melhor é o esperado.”

(Steve Jobs)

“Há uma forma de fazer isso melhor – encontre-a.”

(Thomas Edison)

RESUMO

O concreto armado tem sido utilizado em larga escala como material estrutural na construção civil. Apesar de suas incontáveis qualidades, é passível de apresentar patologias, como qualquer outro material. A corrosão de armadura é a manifestação patológica que mais preocupa os engenheiros atualmente, devido ao risco de comprometimento da estrutura. A incessante busca por qualidade no mercado da construção civil obriga os profissionais a se atentarem para as falhas que originam este problema. O estudo de caso abordado visa justamente compreender o que causa a corrosão e como proceder uma recuperação adequada. Cada capítulo aborda um subtema: conceitos básicos sobre corrosão, estudo e diagnóstico de uma viga, métodos de recuperação e reforço e prevenção de patologias. Todo o estudo aponta que é de suma importância pesquisar e se atualizar sobre o assunto. Compreendendo o mecanismo de degradação da corrosão, é possível propor métodos eficazes de recuperação e também maneiras de evitar seu surgimento durante todas as fases de uma obra.

Palavras-chave: Patologias. Concreto armado. Corrosão de armadura. Recuperação.

ABSTRACT

Reinforced concrete has been widely used as a structural material in civil construction. Despite its countless qualities, it is capable of presenting pathologies, as any other material. Armor corrosion is the pathological manifestation that most worries engineers today due to the risk of compromising the structure. The incessant search for quality in the construction market forces professionals to pay attention to the flaws that originate this problem. The case study addressed is precisely to understand what causes corrosion and how to proceed with proper recovery. Each chapter addresses a subtopic: basic concepts of corrosion, study and diagnosis of a beam, methods of recovery and reinforcement and prevention of pathologies. The whole study points out that it is very important to research and update on the subject. By understanding the mechanism of corrosion degradation, it is possible to propose effective recovery methods as well as ways to prevent its emergence during all phases of a work.

Keywords: *Pathologies. Reinforced concrete. Armor corrosion. Recovery.*

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Célula de corrosão no interior do concreto armado	17
FIGURA 2 – Efeito pilha em meio de concreto armado	18
FIGURA 3 – Fases do processo de corrosão em uma barra de aço	18
FIGURA 4 – Fachada da residência	22
FIGURA 5 – Medição do cobrimento nominal	23
FIGURA 6 – Medição das dimensões atuais da viga	24
FIGURA 7 – Detalhe do estágio de degradação	24
FIGURA 8 – Detalhe do destacamento	25
FIGURA 9 – Desenho esquemático com dimensões aproximadas, em cm	25
FIGURA 10 – Esquema de complementação de armaduras	28
FIGURA 11 – Fluxograma para definir método de reabilitação	30
FIGURA 12 – Corte do concreto com profundidade de remoção	31
FIGURA 13 – Jateamento com areia	32
FIGURA 14 – Adição de novas barras em viga afetada por corrosão	33
FIGURA 15 – Aplicação da pintura anticorrosiva	35
FIGURA 16 – Forma para preenchimento de pilares e vigas	36

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Classes de agressividade ambiental	19
QUADRO 2 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal	20
QUADRO 3 – Vida útil de projeto dos sistemas	21

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	13
1.2 HIPÓTESES	13
1.3 OBJETIVOS	13
1.3.1 OBJETIVO GERAL	13
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
1.4 JUSTIFICATIVA DO ESTUDO	14
1.5 METODOLOGIA DO ESTUDO	14
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2 CORROSÃO: A CAUSA	16
2.1 CONCEITOS BÁSICOS	16
2.2 ESTUDO DE CASO: LEVANTAMENTO DE DADOS	22
2.3 ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DOS DADOS E DIAGNÓSTICO	26
3 CORROSÃO: A RECUPERAÇÃO	27
3.1 REMOÇÃO DO MATERIAL DETERIORADO	30
3.2 LIMPEZA	32
3.3 ANCORAGEM DAS BARRAS COMPLEMENTARES	34
3.4 PINTURA ANTICORROSIVA	34
3.5 PREPARAÇÃO DA CAMADA DE ADERÊNCIA	35
3.6 RECOMPOSIÇÃO DO CONCRETO	36
4 CORROSÃO: COMO EVITAR	38
4.1 PROJETO	38
4.2 EXECUÇÃO	39
4.3 MATERIAIS	39
4.4 MANUTENÇÃO	40
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
REFERÊNCIAS	43
APÊNDICE A – Questionário da entrevista	45
APÊNDICE B – Outras evidências de falhas no processo construtivo	46

1 INTRODUÇÃO

O concreto é, atualmente, o material mais utilizado para construções no Brasil. Sua trabalhabilidade antes da cura e sua resistência após a mesma são os principais fatores que influenciam na sua escolha como principal material da estrutura de diversas edificações. É altamente resistente aos esforços de compressão, mas apresenta baixa resistência aos esforços de tração. Por isso, são adicionadas barras de aço em sua estrutura, denominando-se concreto armado.

A durabilidade deste material garante uma longa vida útil para as construções. Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 15575-1 – Desempenho de edificações habitacionais: requisitos gerais – (2013), a vida útil de projeto mínima para estruturas de concreto armado deve ser igual ou superior a 50 anos. Apesar de parecer muito tempo, é preciso lembrar que esses materiais não são eternos e necessitam de cuidados para que essa duração seja efetivamente cumprida. Quando não há esse cuidado, ficam sujeitos ao aparecimento de algumas patologias.

A principal e mais importante manifestação patológica do concreto armado é a corrosão da armadura, pois pode causar sérios danos na estabilidade da edificação, já que, em casos mais avançados, pode ocorrer perda de seção do aço. Além de comprometer a resistência e causar o envelhecimento precoce da estrutura, esta patologia pode gerar outros transtornos, como o comprometimento da estética, depreciação do imóvel e custos para a recuperação.

O processo que leva à corrosão do aço é longo e, por esse motivo, é possível evitar sua ocorrência identificando as falhas antecipadamente. Quando isso não é feito e a estrutura já está debilitada, é preciso investigar as causas do problema para optar pelo tratamento correto.

Por isso, é de suma importância investigar os fatores que condicionam a corrosão da armadura e, por conseguinte, propor ações que evitem seu surgimento. O presente trabalho apresentará uma viga de uma residência do município de Paracatu, cuja armadura está exposta e corroída. A mesma passará por análises e, de acordo com estudos preexistentes, será feito um diagnóstico da causa da patologia e da forma adequada de promover sua recuperação.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Quais são os fatores que levaram à corrosão da armadura da viga e qual é o procedimento de recuperação ideal para este caso?

1.2 HIPÓTESES

- a)** falhas ocorridas do início da vida da estrutura, como um erro na concepção do projeto ou execução deficiente/sem acompanhamento adequado;
- b)** inexistência ou deficiência de manutenção, visto que toda e qualquer estrutura necessita de acompanhamento e revisão periódicos, a fim de identificar manifestações patológicas ainda no início, quando são mais facilmente tratadas e controladas.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é estabelecer uma relação entre a causa e a solução para a corrosão apresentada pela estrutura de concreto armado de uma viga, localizada em uma residência da cidade de Paracatu-MG, a fim de contribuir para o aprimoramento dos processos construtivos e promover maior entendimento acerca desta patologia.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a)** identificar os prováveis fatores causadores da manifestação patológica em foco - corrosão da armadura;
- b)** indicar métodos de tratamento e recuperação;
- c)** propor soluções para evitar o surgimento desta patologia, tendo em vista prevenir em oposição a corrigir.

1.4 JUSTIFICATIVA DO ESTUDO

Por ser o material mais utilizado nas edificações brasileiras, o concreto armado possui normas específicas, que tratam das diretrizes necessárias desde o seu planejamento até a sua manutenção pós-obra. Além disso, diversos autores, como Souza e Ripper (1998), já utilizaram de suas obras literárias para levar aos leitores interessados o conhecimento necessário acerca das patologias que as estruturas podem apresentar, como a corrosão.

Ainda assim, basta olhar com um pouco mais de atenção para as edificações do município de Paracatu que será possível ver inúmeros casos de armadura exposta e corroída, comprometendo totalmente a resistência e a estética das mesmas. Isso ocorre frequentemente e é tido, para muitos, como algo comum. Mas é preciso reafirmar que estes casos jamais devem ser ignorados.

Por essa razão, a corrosão de armaduras foi escolhida como tema para esta monografia, visando esclarecer e ratificar o quão importante é conservar a integridade e o desempenho do aço nas estruturas.

1.5 METODOLOGIA DO ESTUDO

De acordo com Gil (1946), o presente estudo se classifica como uma pesquisa exploratória qualitativa, pois visa constatar os fatores que levam a ocorrência de um determinado fenômeno, investigando bibliografias existentes para explicar o porquê de tal acontecimento e utilizando de um estudo de caso para avaliar e descrever o objeto e suas condições, a fim de apresentar hipóteses das causas de sua deterioração, facilitando a compreensão do problema.

Segundo Marconi e Lakatos (2003), o estudo de caso de natureza exploratória-descritiva é feito por análises teóricas e empíricas, que ajudarão na descrição do fenômeno da corrosão.

O objeto do estudo é uma viga em muro de uma residência unifamiliar localizada no município de Paracatu-MG, construída há cerca de 20 anos, que será apresentada por meio de fotos. Para traçar suas medidas *in loco*, será empregado o uso de trena e régua. Com o auxílio de uma lupa, será observado em detalhes a situação do concreto e da armadura da viga, a fim de identificar seu nível de

deterioração e possíveis falhas que levaram ao surgimento da patologia, como a alta porosidade do concreto, por exemplo. Serão utilizados, para levantamento de informações, obras literárias, periódicos e normas publicadas pela ABNT. Também será feita uma entrevista com a proprietária da residência, a fim de compreender melhor o histórico da obra. Todas as referências bibliográficas utilizadas estarão listadas ao final deste trabalho.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho se divide, a seguir, em três partes. Primeiro, serão abordados alguns conceitos básicos que ajudarão na compreensão do problema e, em seguida, será apresentado o estudo de caso. Posteriormente, serão listadas as etapas a serem seguidas para promover a recuperação da viga. Por fim, será comentado sobre algumas maneiras de se evitar a corrosão.

Assim, este trabalho é constituído por 5 capítulos, sendo o capítulo 1 a introdução, o capítulo 2 o estudo de caso, o capítulo 3 o método de recuperação, o capítulo 4 as formas de prevenção e, finalmente, o capítulo 5, com as considerações finais.

2 CORROSÃO: A CAUSA

2.1 CONCEITOS BÁSICOS

Para compreender melhor os aspectos da viga em estudo, é preciso ter em mente algumas informações e conceitos.

A palavra patologia deriva do grego, onde pathos significa doença, sofrimento, e logia é ciência ou estudo. Assim, o significado gramático de patologia é estudo das doenças. Justamente por isso, é um termo amplamente utilizado na medicina, quando se trata de diagnosticar doenças e estudar as alterações que estas provocam no indivíduo.

No entanto, patologia não se restringe apenas ao trato das enfermidades humanas. Segundo Souza e Ripper (1998, p. 14):

Designa-se genericamente por PATOLOGIA DAS ESTRUTURAS esse novo campo da Engenharia das Construções que se ocupa do estudo das origens, formas de manifestação, consequências e mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas.

Esta definição está de acordo com a norma de desempenho ABNT NBR 15575-1 (2013), que define a patologia como uma não conformidade que se manifesta no produto (edificação) em razão de falhas no projeto, fabricação, instalação, execução, montagem, uso ou manutenção, assim como problemas que não sejam decorrentes do envelhecimento natural do produto.

Nos últimos anos, esta área de estudo tem avançado significativamente, embora encontre barreiras por ser um campo extremamente vasto e envolver conhecimentos que abrangem várias disciplinas, além da engenharia civil, como química, física e engenharia de materiais.

Enquanto a patologia é a ciência que estuda as anomalias das estruturas, a manifestação patológica ou sintoma patológico é a anomalia em si, ou seja, é a forma em que a degradação se apresenta.

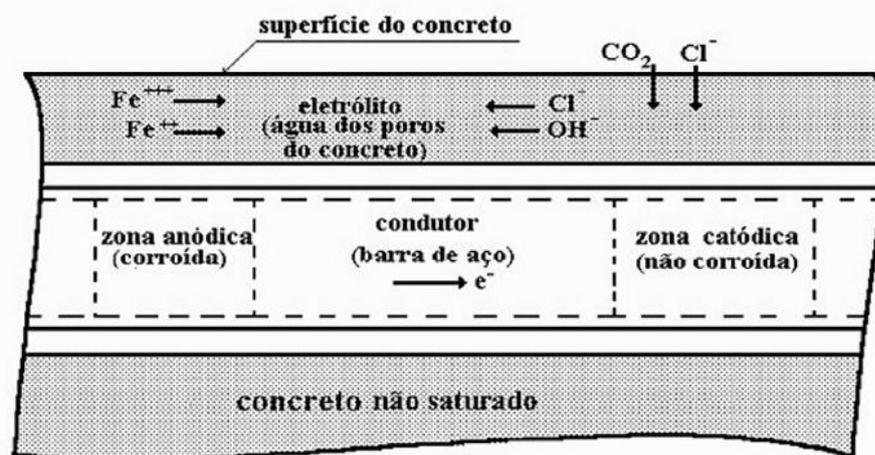
Assim, utiliza-se a teoria da patologia das estruturas para identificar e tratar sintomas apresentados, como a corrosão da armadura.

Segundo Gentil (1982) e Helene (2014), a corrosão pode ser entendida como um processo químico ou eletroquímico de natureza destrutiva que ocorre entre

um material, geralmente metálico, e o meio em que este se encontra, podendo estar ou não associado a ações de deterioração mecânicas ou físicas.

As barras de aço inseridas no concreto estão protegidas, inicialmente, por uma película passivante, encontrada em toda a superfície das barras. Essa película é formada a partir da alta alcalinidade do meio aquoso presente no concreto (pH entre 12,6 e 14, resultado da reação dos sais minerais que compõem o cimento, e a água) e da ferrugem superficial das barras de aço. Assim, a corrosão ocorre quando essa película é rompida. A Figura 1 a seguir faz essa demonstração.

Figura 1 - Célula de corrosão no interior do concreto armado



Fonte: SOUZA; RIPPER, 1998, p. 67

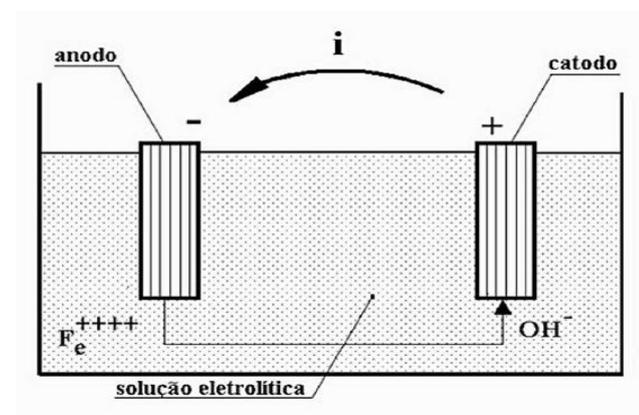
O processo de corrosão tem início quando existe uma diferença de potencial elétrico. Souza e Ripper (1998, p. 66) referem que:

Em qualquer caso o processo de corrosão do aço é eletroquímico, ou seja, dá-se pela geração de um potencial elétrico, na presença de um eletrólito - no caso, a solução aquosa existente no concreto - em contato com um condutor metálico, a própria barra de aço. A passagem de átomos de ferro à superfície aquosa, transformando-se em cátions ferro (Fe^{++}), com o conseqüente abandono da barra de aço à carga negativa, instalam a diferença de potencial.

Com isso, cria-se o que é chamado de efeito pilha, que ocorre com a geração de uma corrente elétrica que se dirige do anodo (polo negativo) para o catodo (polo positivo), através do meio aquoso, e do catodo para o anodo, através da diferença de potencial, instalando-se a corrosão.

A Figura 2 a seguir ilustra como o efeito pilha funciona no interior de uma estrutura de concreto armado.

Figura 2 – Efeito pilha em meio de concreto armado.



Fonte: SOUZA; RIPPER, 1998, p. 67

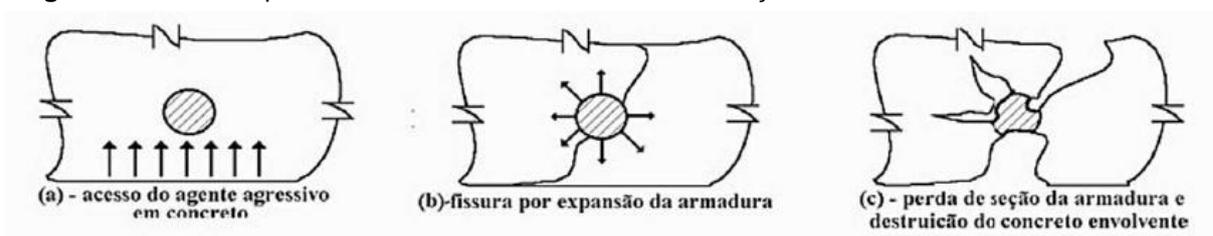
Os produtos da deterioração das barras são o hidróxido ferroso, de cor amarelada, e o hidróxido férrico, de cor avermelhada. Ambos constituem a ferrugem, característica principal da corrosão do aço.

Helene (2014, p. 1) esclarece que:

No caso de armaduras em concreto, os efeitos degenerativos manifestam-se na forma de manchas superficiais causadas pelos produtos de corrosão, seguidas por fissuras, destacamento do concreto de cobertura, redução da seção resistente das armaduras com frequente seccionamento de estribos redução e eventual perda de aderência das armaduras principais, ou seja, deteriorações que levam a um comprometimento da segurança estrutural ao longo do tempo [...].

Esta é uma manifestação patológica progressiva, pois tende a aumentar o nível de degradação da estrutura com o passar do tempo, conforme mostra a Figura 3 a seguir.

Figura 3 - Fases do processo de corrosão em uma barra de aço.



Fonte: SOUZA; RIPPER, 1998, p. 68

Quando as barras chegam no estado em que perdem seção, a segurança e a estabilidade da estrutura ficam extremamente comprometidas.

A principal proteção da armadura contra os agentes de degradação externos é o cobrimento, uma espessura de concreto entre a superfície da armadura e a superfície da estrutura (face interna da forma). Essa espessura é definida principalmente pela classe de agressividade ambiental, que são as condições de exposição da estrutura e risco de deterioração, de acordo com o tipo de ambiente para que foi projetada, conforme mostra o Quadro 1 a seguir.

Quadro 1 – Classes de agressividade ambiental

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

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

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

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

Fonte: ABNT, 2014.

A classe de agressividade ambiental também define a correta relação água/cimento a ser utilizada e a classe de concreto adequada, visto que estes fatores influenciam na qualidade, resistência e durabilidade do mesmo.

Com relação ao cobrimento, o mesmo pode ser definido após conhecer o ambiente em que a estrutura está inserida. Para isso, consulta-se o quadro acima para

definir a classe de agressividade e depois verifica-se o Quadro 2 a seguir, que mostra a espessura mínima para os cobrimentos nominais de cada elemento estrutural.

É importante salientar que, para garantir o cumprimento destes parâmetros, é essencial ter atenção e cuidado no momento da execução. A montagem das formas e o posicionamento da armadura são as atividades que garantem a qualidade do cobrimento.

Quadro 2 – Correspondência entre a classe de agressividade e o cobrimento nominal

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

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

^b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências deste quadro podem ser substituídas pelas da tabela 7.4.7.5 da ABNT NBR 6118, respeitando um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

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

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

Fonte: ABNT, 2014.

Durabilidade e vida útil, por muitas vezes são tratados como sinônimos, mas, apesar de serem complementares, não é bem assim.

Há 50 anos atrás, quando o concreto armado começava a dominar o mercado da construção civil, a durabilidade de uma edificação era algo extremamente subjetivo, já que as normas eram a experiência profissional e o bom senso de quem

a executava. Hoje, com a crescente preocupação com sustentabilidade, o aumento de problemas com degradação precoce de estruturas e o aumento da competitividade, o cenário mudou.

A ABNT NBR 6118 – Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento – (2014, p. 13) define durabilidade como a “capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e pelo contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto”; enquanto isso, a ABNT NBR 15575-1 (2013, p. 7) trata durabilidade como “capacidade da edificação ou de seus sistemas de desempenhar suas funções, ao longo do tempo e sob condições de uso e manutenção especificadas”. Assim, percebe-se que há uma relação de dependência entre o meio em que a edificação se encontra, o projeto, o uso a que se destina e as atividade de conservação; estas variáveis, em conjunto, definem a durabilidade da estrutura.

Ambas as normas citadas acima estão de acordo que vida útil é o período de tempo em que a edificação e/ou seus sistemas são capazes de manter suas características iniciais e desempenhar as funções a que se destinam, desde que sejam atendidas as condições de uso, manutenção e execução de eventuais reparos que se façam necessários, caso ocorra algum dano acidental. Isto significa que a vida útil também engloba projeto, execução, materiais, uso e manutenção.

É preciso lembrar que cada componente de uma edificação tem sua própria determinação de vida útil de projeto (VUP). como mostra o Quadro 3 a seguir.

Quadro 3 – Vida útil de projeto dos sistemas

Sistema	VUP mínima (anos)
Estrutura	≥ 50 (segundo ABNT NBR 8681-2003)
Pisos internos	≥ 13
Vedação vertical externa	≥ 40
Vedação vertical interna	≥ 20
Cobertura	≥ 20
Hidrossanitário	≥ 20

Fonte: ABNT, 2013.

O conceito de vida útil está intrinsecamente ligado à durabilidade. Como diz Medeiros, Andrade e Helene (2011), existe uma relação estreita entre vida útil, durabilidade, qualidade, desempenho e sustentabilidade. Seguindo esta relação, pode-se dizer que ser sustentável é projetar estruturas com qualidade, que sejam resistentes e cuja vida útil seja compatível com as necessidades dos usuários, respeitando e conservando o meio ambiente.

2.2 ESTUDO DE CASO: LEVANTAMENTO DE DADOS

Para representar a corrosão de maneira mais concreta, fez-se necessário este estudo de caso. A residência está localizada no município de Paracatu, na rua Gil da Silva Neiva do bairro Novo Horizonte. A imagem a seguir mostra a fachada da mesma. A família que lá reside adquiriu a casa em 2006 e não são os primeiros moradores. O imóvel, de apenas um pavimento, possui uma área total de 117,12 m². e área construída de 37,44 m².

Figura 4 – Fachada da residência



Fonte: Acervo próprio, 2019.

Em entrevista com a proprietária (ver apêndice A), foram esclarecidos pontos importantes. A casa já apresentava problemas desde que a família se mudou. Mesmo com alguns reparos e reformas pequenas, não foi possível sanar todos eles. Visto que, na época, a residência tinha apenas 5 anos desde sua construção, isso mostra um desempenho pouco satisfatório.

Além das estruturas que apresentam corrosão e armaduras expostas, o imóvel apresenta trincas e rachaduras em várias paredes e no piso. Também foram identificadas manchas típicas de infiltração. A instalação elétrica é aparente e precária, com várias emendas e cabos de diâmetros incorretos. A proprietária relatou que, na época das chuvas, os transtornos são maiores, pois vão desde goteiras até alagamentos – a tubulação de drenagem pluvial, além de possuir diâmetro aparentemente insuficiente, direciona a água para o esgoto (ver apêndice B).

Todos estes problemas em uma edificação com pouco tempo de vida indicam que houve falhas graves na sua construção. Além disso, eles tendem a piorar com o tempo, o que foi confirmado pela proprietária, que observou o aumento e a intensificação das patologias ao longo dos anos. Com relação à viga em estudo, não foi diferente. Com o tempo, a mesma foi se deteriorando cada vez mais, deixando várias partes da armadura à mostra.

A proprietária contou que houve receio quando decidiu instalar o portão que se sustenta na viga, pois temeu que pudesse piorar ainda mais a situação. Isso mostra que, uma manifestação patológica em estágio avançado como a corrosão nesta viga, deixa os moradores aflitos, com sensação de insegurança e temor de que aconteça algum acidente.

De posse destas informações, tem-se os primeiros vestígios para entender como a viga chegou no estado atual.

Figura 5 – Medição do cobrimento nominal



Fonte: Acervo próprio, 2019.

Vigas no topo dos muros não possuem função estrutural, apenas fazem o seu travamento. No entanto, foi analisado o trecho onde se encontra o portão; neste trecho, a viga é bi apoiada. Sua extensão é de 3,18 m e sua seção transversal atual

conta com 22 x 8 cm. Nas medições realizadas, foram encontrados cobrimentos de armadura de 1 e 1,5 cm, conforme Figura 5 acima. Os estribos foram posicionados com 26 cm de espaçamento. Foram utilizadas barras de 8 mm de diâmetro.

Essas medidas indicam que a viga sofre com a degradação há algum tempo, pois já não apresenta suas medidas originais.

As Figuras 6 e 7 a seguir mostram o nível de deterioração do concreto e do aço, que também não apresentam mais seus aspectos iniciais.

Figura 6 – Medição das dimensões atuais da viga



Fonte: Acervo próprio, 2019.

Figura 7 – Detalhe do estágio de degradação



Fonte: Acervo próprio, 2019.

Foi identificado o destacamento do concreto. O destacamento ocorre com o aumento do volume do aço, devido aos produtos da corrosão, causando tensões de

tração no concreto, principalmente no seu cobrimento. Ou seja, o concreto se desprende em placas, deixando a armadura ainda mais à mostra. Isso pode ser visto na Figura 8.

Além de contribuir para o agravamento da patologia, o aspecto estético da viga também piora com o destacamento. Mesmo que isso seja um problema menor do que a redução da resistência estrutural, não deixa de ser importante. A aparência dos elementos de uma edificação é responsável por transmitir sensações às pessoas que ali moram e também aos que visitam. Neste caso, uma viga no muro de fachada com aparência degenerada não transmite boas sensações.

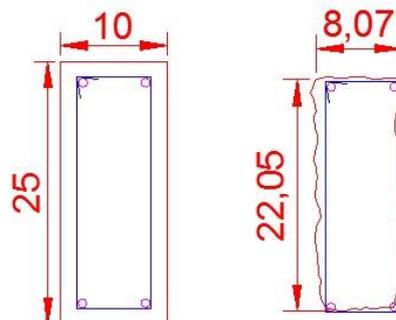
Figura 8 – Detalhe do destacamento



Fonte: Acervo próprio, 2019.

De acordo com as medições realizadas, foi possível inferir como provavelmente era a viga no início de sua vida útil, conforme o desenho esquemático na Figura 9 a seguir.

Figura 9 – Desenho esquemático com dimensões aproximadas, em cm.



Fonte: Acervo próprio, 2019.

Depois dessa investigação, as informações colhidas já eram suficientes para fazer um diagnóstico.

2.3 ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DOS DADOS E DIAGNÓSTICO

Assim como o termo patologia, diagnóstico também é um termo da medicina que a engenharia adotou, pois, assim como os médicos fazem exames para identificar as doenças humanas, os engenheiros também analisam os sintomas das estruturas e seus elementos para sintetizar qual ou quais patologias os acometeram.

Os dados citados anteriormente são a base para elaborar o diagnóstico da corrosão. Helene (1993, p. 159) define:

Por diagnóstico entende-se a identificação e descrição precisa do mecanismo, das origens e das causas efetivamente responsáveis pelo problema patológico, a partir da existência de uma ou mais manifestações patológicas numa dada estrutura de concreto.

A partir dessa definição, pode-se dizer que as informações colhidas em campo são suficientes para dar um diagnóstico quase preciso. As evidências que corroboram o diagnóstico são:

- a) Cobrimento de armadura insuficiente:** conforme mostram as imagens, o cobrimento de armadura atual é de cerca de 1,5 cm. Mesmo considerando a desagregação do concreto, essa espessura é totalmente insuficiente para uma região de classe de agressividade ambiental II;
- b) Esperas de armadura de pilar expostas:** foi verificado que os pilares do muro da fachada possuíam esperas, ou seja, uma parte da armadura estava exposta;
- c) Existência de outras estruturas na residência com os mesmos sintomas patológicos da viga em estudo:** o pilar de sustentação da caixa d'água da residência também se encontra comprometido pela corrosão (ver apêndice B);
- d) Evidência do uso de materiais inadequados para a construção de uma viga:** foi possível observar, nos locais onde o concreto de cobrimento já havia se desgastado ou desprendido, que o agregado graúdo utilizado no concreto dessas estruturas era areia grossa, com presença de cascalho

Assim, é possível presumir que os defeitos na estrutura surgiram na etapa de execução, na qual não foi obedecido o cobrimento de armadura correto, além do mal posicionamento das barras e uso incorreto de materiais, que contribuíram para a baixa resistência do concreto e corrosão do aço. Tudo isso vem de falhas humanas durante a construção. A obra, muito provavelmente, não teve supervisão de profissional especializado e os trabalhadores não estavam capacitados tecnicamente para realizar sua execução por conta própria.

Pode-se supor ainda que tampouco houve controle de qualidade e planejamento da obra, visto que vários elementos da residência corroboram essa tese, como a disposição dos cômodos, distribuição das esquadrias, as diversas fissuras e trincas e as outras estruturas comprometidas pela corrosão.

Com isso, tem-se os fatores que, somados, certamente causaram a patologia em estudo.

3 CORROSÃO: A RECUPERAÇÃO

Uma vez identificada a patologia na estrutura, é necessário recuperá-la para que volte ao seu nível de serviço ideal. São vários os procedimentos para recuperação, que vão desde simples tratamentos, como polimentos e lavagens, até reforços, como adição de barras e chapas de aço. A escolha deve atender as demandas técnicas, socioeconômicas, ambientais e, principalmente, as características da edificação.

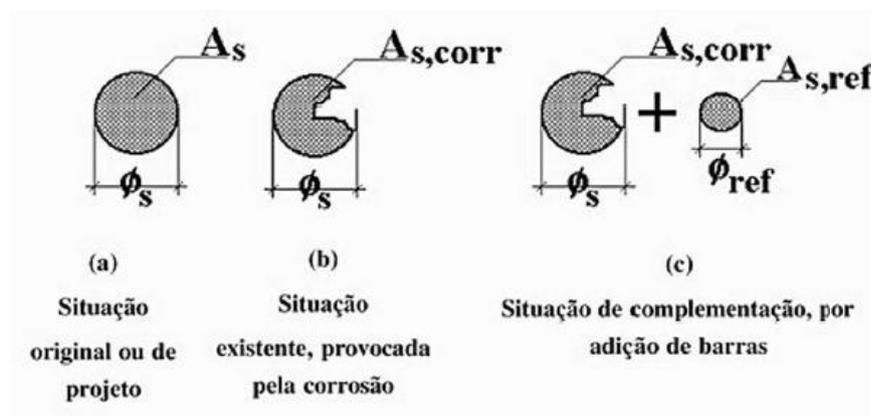
Geralmente é possível adotar mais de uma técnica de reforço numa estrutura e [...] existe uma conjugação de fatores que interferem na solução a ser adotada, tais como: a urgência da intervenção, os custos envolvidos, a possibilidade de interrupção do uso da estrutura, o tempo necessário para que a estrutura possa ser colocada sob carga, o ambiente em que se insere a peça, a intervenção arquitetônica, a coerência da técnica adotada com o quadro patológico e a análise do comportamento global da estrutura, devido as intervenções em suas partes. (FORTES; RIOS; et al., 2018, p. 56 apud REIS, 2001)

As principais técnicas para recuperação de corrosão são:

- Pintura e recobrimento: aplicação de pintura anticorrosiva e posterior recobrimento da armadura, utilizando-se de bons materiais e mão de obra adequada

- Inibidor de corrosão: adição de compostos químicos, em quantidades pré-determinadas, à massa do concreto, a fim de prevenir/combater a corrosão das armaduras sem comprometer as características do concreto.
- Proteção catódica: processo de controle da corrosão que consiste em transformar a armadura em cátodo e utilizar um ânodo de sacrifício (geralmente um eletrodo de cobre/sulfato). Assim é possível direcionar a corrente elétrica para que ocorra a corrosão controlada no ânodo, preservando a estrutura metálica.
- Reforço: consiste, na maioria das vezes, em aumentar a seção da estrutura e adicionar novas barras de aço, para que suportem os esforços que a estrutura original, sozinha, não é mais capaz. O reforço é ilustrado na Figura 10 a seguir.

Figura 10 – Esquema de complementação de armaduras



Fonte: SOUZA E RIPPER, 1998, p. 143.

Devido a todas as variáveis que precisam ser analisadas em conjunto para decidir a melhor forma de recuperação, é indispensável a opinião de um profissional. O manejo incorreto e sem embasamento teórico de uma estrutura comprometida por corrosão, pode levar a complicações ainda maiores.

Por isso, foi preciso deixar claro para a proprietária da residência que é objeto de estudo deste trabalho, que o procedimento sugerido para a recuperação da viga deve ser feito por profissionais habilitados e com a supervisão de um engenheiro civil.

Para definir o melhor método de recuperação para a viga, foram observados os seguintes quesitos:

- a) Custo:** considerando que os moradores da residência são uma família de baixa renda, não se deve optar por métodos de recuperação onerosos. Para ser possível a realização da obra, o reparo, com os materiais e mão de obra necessários, precisam estar dentro do orçamento da cliente.
- b) Utilização:** a função da viga é apenas sustentação do portão. Sendo assim, não é uma situação que ofereça riscos à vida; caso ocorra o colapso da estrutura, os danos serão materiais. Isto quer dizer que não são necessários reparos emergenciais e, além disso, a interrupção do uso durante a recuperação não acarretará grandes transtornos.
- c) Intervenção:** Pela análise feita em toda a estrutura, apesar da corrosão na viga em estudo estar em um estágio mais avançado, a armadura da viga de travamento do muro também pode estar bastante comprometida. Como não é possível a observação a olho nu, será necessário fragmentar o concreto em alguns pontos ao longo da viga para investigar a situação da armadura. Se constatada a manifestação patológica, a intervenção deverá ser feita em toda a estrutura do muro.

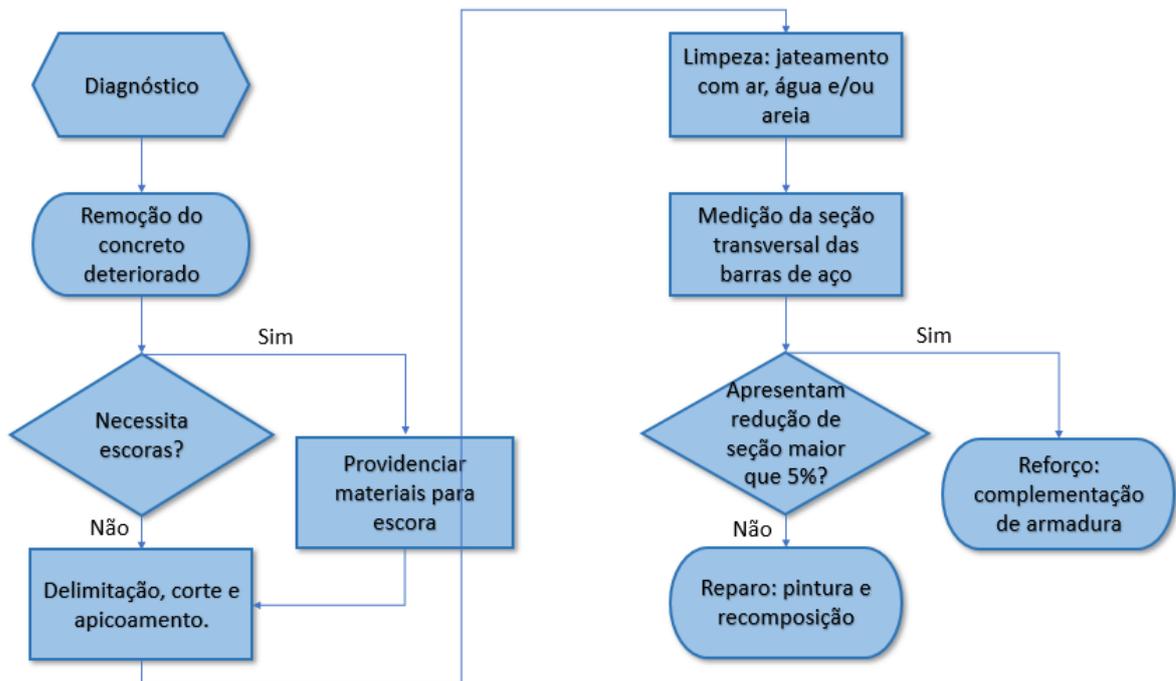
A partir dessa análise, definiu-se que os métodos de recuperação mais indicados para recuperar a viga seriam aplicação de pintura anticorrosiva e recobrimento com concreto de alta resistência, se as barras não estiverem demasiadamente comprometidas, ou complementação da armadura existente e recomposição com grout, se as barras estiverem muito comprometidas. Ambas são soluções simples, baratas, que irão renovar o aspecto estético e oferecerão uma proteção global da estrutura. No entanto, necessitarão vigilância e manutenção constantes, a fim de verificar se o processo de corrosão não retornará.

É importante salientar que este pode não ser o método mais eficaz, ou seja, que eliminará de vez a patologia em questão. Entretanto, o engenheiro civil precisa saber encontrar soluções que conciliem o orçamento do cliente com a resolução do problema e realizar trabalhos de inspeção mais minuciosos, que podem compreender extração de testemunhos para análises laboratoriais.

A decisão de qual método adotar dependerá de quanta seção transversal as barras perderam no processo. Isso poderá ser mensurado após a limpeza das mesmas, depois de retirar toda a ferrugem que as envolve, quando será possível ver com clareza sua real situação.

Como as etapas de recuperação, até a limpeza, de ambos os métodos citados são iguais, não se faz necessário realizá-las separadamente, ou seja, não é uma preparação à parte da recuperação em si, o que evita gastos extra. O fluxograma a seguir ilustra como proceder.

Figura 11 – Fluxograma para definir método de reabilitação



Fonte: Acervo próprio, 2019.

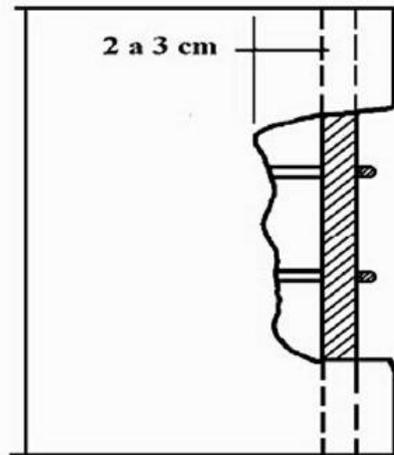
As etapas básicas para a recuperação serão abordadas nos subtópicos a seguir, com uma breve descrição dos procedimentos a serem feitos.

3.1 REMOÇÃO DO MATERIAL DETERIORADO

Consiste na delimitação da área a ser reparada, com posterior retirada de todo o concreto degradado, expondo totalmente a armadura. Inicialmente, faz-se o apicoamento. Chama-se apicoamento o processo de picagem do concreto de cobertura, para removê-lo e criar rugosidades que melhoram a aderência no momento da recomposição. Entretanto, conforme a extensão da área degradada, somente o apicoamento não é suficiente.

As empresas especializadas em recuperação de estruturas nomeiam como corte, quando a profundidade de extração é superior a 5 cm, ou seja, quando é preciso retirar um maior volume de concreto, indo além das barras. A Figura 12 demonstra o aspecto de um elemento após o corte.

Figura 12 – Corte do concreto com profundidade de remoção



Fonte: SOUZA E RIPPER, 1998, p. 115.

Este processo se faz necessário para liberar as armaduras, extinguindo todo o concreto doente ao seu redor, para receberem o novo concreto. Souza e Ripper (1998, p. 115) definem que:

De maneira mais precisa, o corte pode ser definido como sendo a remoção profunda de concreto degradado. Esta tarefa tem como razão de ser a extirpação de todo e qualquer processo nocivo à boa saúde das armaduras. Assim, o corte de concreto justifica-se sempre que houver corrosão do aço das armaduras, já implantada ou com possibilidades de vir a acontecer, como no caso de concreto segregado, e deve garantir não só a remoção integral do concreto degradado, como também a futura imersão das barras em meio alcalino. Para tanto, o corte deverá ir além das armaduras, em profundidade, pelo menos 2 cm ou o diâmetro das barras da armadura, devendo-se atender à mais desfavorável das situações, caso a caso. [...]

De acordo com o volume da peça a ser retirado pelo corte, é preciso verificar o uso de escoras ou macacos hidráulicos para sua sustentação. Além disso,

deve-se ter precaução ao realizar esta etapa, removendo somente as partes afetadas, sem lacerar o concreto são.

3.2 LIMPEZA

Existem vários métodos para a limpeza da superfície do aço, sendo a limpeza por ação mecânica a mais comum. O princípio deste método é utilizar da abrasão para remover os produtos da corrosão e demais impurezas das barras de aço. Pode ser feito por escovação (escova com cerdas de aço), lixamento (lixas ou lixadeira elétrica) ou jateamento (jatos de ar com material abrasivo, geralmente, areia).

A vantagem do jateamento com areia é que, ao contrário das outras ferramentas, é possível alcançar toda a superfície das barras, inclusive as faces internas, voltadas para a estrutura. A escova e a lixa não seriam eficientes pois, nesses locais, a remoção das impurezas torna-se mais difícil. Marques (2015, p. 59) cita que “para esta atividade se faz necessário a utilização de um compressor de ar, ao qual se liga uma cuba de decapagem que contém o abrasivo”. É importante salientar que esta limpeza deve ser feita até que se possa ver o brilho metálico do aço. A Figura 13 ilustra o processo.

Figura 13 – Jateamento com areia

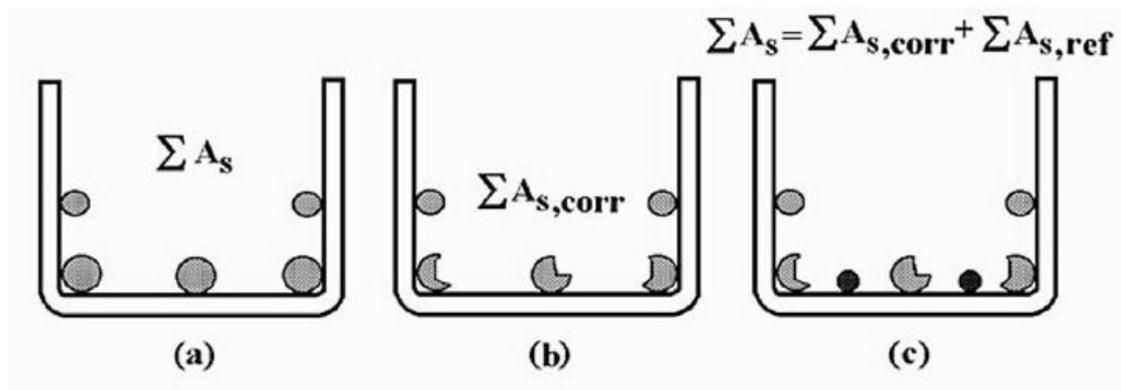


Fonte: Apresentação do Prezi¹.

¹ Disponível em: <<https://prezi.com/fbq-6-ba78gq/httpwwwentredolmensetfontainesfrimagesexterieursviad/>>

Feito isso, será necessário o uso de um paquímetro para medir o diâmetro atual das barras. Haverá a necessidade de adição de novas barras se a seção transversal das existentes tiver reduzido mais do que 15%, ou seja, $A_{s,corr} < 0,85 A_s$. O mais recomendado é que se faça uma avaliação global e, ao invés da complementação de barra em barra, fazê-la de acordo com toda a seção transversal, ou seja, $\sum A_{s,corr} < 0,85 \sum A_s$. Isso quer dizer que a área de aço total das barras complementares somadas às originais corroídas deve ser igual à área de aço original antes da corrosão, como mostra a Figura 14 a seguir. (SOUZA E RIPPER, 1998)

Figura 14 – Adição de barras em viga afetada por corrosão



Fonte: SOUZA E RIPPER, 1998, p. 144.

O concreto também precisa ser limpo, para eliminar toda e qualquer substância que possa prejudicar a durabilidade da recuperação. Os tipos de lavagens mais comuns são com água fria e quente, soluções ácidas, soluções alcalinas e jatos alternados de água e areia. As soluções ácidas e alcalinas não são indicadas para este caso, visto que armadura estará exposta. Souza e Ripper (1998, p. 108) defendem que:

A lavagem pela aplicação de jatos de água sob pressão controlada é largamente utilizada como técnica de limpeza e preparação do substrato para a futura recepção do material de reparação. Normalmente, os jatos são de água fria e muitas vezes são utilizados simultaneamente com os jatos de areia; no entanto, em determinadas situações - superfícies muito gordurosas ou com manchas de forte impregnação química - recorre-se a jatos de água quente, normalmente adicionando-se removedores biodegradáveis.

No caso da viga em estudo, o jato de água e areia será a melhor opção de limpeza do concreto. É necessário, antes desse, aplicar um jato de ar comprimido para eliminar os resíduos provenientes do corte.

3.3 ANCORAGEM DAS BARRAS COMPLEMENTARES

Considerando que a verificação anterior resultou na necessidade de complementação da armadura, deve-se realizar os procedimentos para o posicionamento das barras. Primeiramente, realizam-se furos no concreto são, onde as barras serão ancoradas. Esses furos devem ser limpos, com jato de ar, para retirar os resíduos, que comprometem a fixação. Depois, preenchidos com resina epóxi ou grout, sendo a resina mais indicada nesse caso, de acordo com Souza e Ripper (1998, p. 128), que recomendam “normalmente, na ancoragem de barras à flexão não é possível fazer-se furos de grande diâmetro, devendo então o enchimento ser feito com resina epoxídica, sem nenhuma carga”.

A orientação é que primeiro se enche os furos com a resina e só depois se insere as barras, que expulsarão a quantidade excedente.

Devido à dificuldade deste procedimento, da importância da execução correta e da necessidade de garantir que armadura fique completamente envolvida pelo material de recomposição, o detalhamento torna-se extremamente relevante. As barras devem ficar perfeitamente arranjadas e isso só é possível se o projeto possuir alto nível de detalhamento, contemplando espaçamentos, ancoragens, emendas, dobramentos, curvaturas e cobertura de maneira mais minuciosa possível.

3.4 PINTURA ANTICORROSIVA

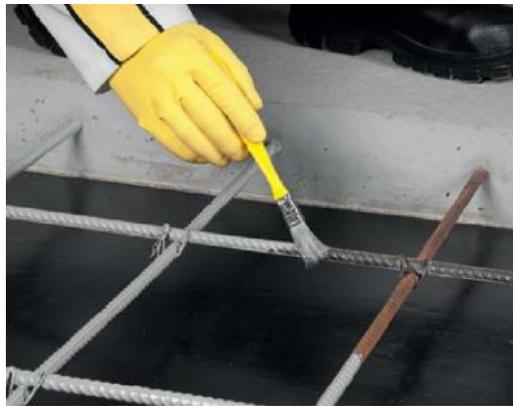
Com as barras de aço livres de produtos de corrosão e quaisquer outras impurezas, elas estarão prontas para receber o revestimento. Esse revestimento é uma pintura adesiva, de base epóxi, que impede o processo de corrosão quando aplicada diretamente sobre as armaduras. O intuito é isolá-las e protegê-las, impedindo que oxigênio e umidade cheguem até elas, repassivando o meio e inibindo a corrosão.

É necessário um extremo cuidado nessa etapa, desde o processo de limpeza, pois “a proteção localizada de barras de armadura através de resinas de injeção pode tanto isolar eletricamente a parte não corroída da barra, resultando em uma baixa taxa de corrosão, como isolar eletricamente a parte corroída da mesma

barra, aumentando a corrosão [...]” (SOUZA E RIPPER, 1998, p. 147 apud STEEN ROSTAM, 1989).

Além disso, no momento da aplicação, deve-se usar um pincel de dimensões pequenas e fazer movimentos firmes, a fim e não manchar o concreto, e aguardar o tempo de secagem indicado pelo fabricante do produto. Também é preciso mencionar que, devido ao alto teor de componentes químicos, o operário que realizar esta atividade deverá utilizar todos os equipamentos de proteção individual (EPIs) necessários, como luva e máscara. A imagem a seguir ilustra essa etapa.

Figura 15 – Aplicação da pintura anticorrosiva



Fonte: Quartzolit², 2019.

Caso tenha sido feita a complementação com novas barras, estas também poderão receber a pintura, retardando ou até mesmo impedindo o surgimento da corrosão.

3.5 PREPARAÇÃO DA CAMADA DE ADERÊNCIA

O concreto fresco, unicamente, não possui a capacidade de aderência ao concreto já curado. Por isso, o material de recomposição pode se desprender em pouco tempo, fazendo retornar a corrosão e tornando inútil a recuperação.

As causas que levam à ineficiência desta união são relacionadas a diversos fatores, como a preparação da superfície do substrato, a forma de aplicação do concreto mais novo, procedimento de cura e até mesmo fatores ambientais. Entretanto, as principais influências negativas para o insucesso

² Disponível em: <<https://www.quartzolit.weber/solucoes-tecnicas-quartzolit-para-reparos-protecao-e-reforco/como-garantir-boa-aderencia-em-correcoes-estruturais-e-emendas-de-elementos-de-concreto-novos-e-antigos>>

da ligação entre concreto novo e antigo é a má execução da ligação e a retração de diferentes magnitudes entre os materiais com diferença de idade. (DORIA, SALES E ANDRADE, 2015, p. 615.)

Para evitar este problema, é necessário, primeiramente, preparar de maneira adequada a superfície do substrato.

Se a complementação da armadura não tiver sido necessária, com a superfície do substrato já limpa e livre de partículas soltas ou outras substâncias, deve-se aplicar um adesivo estrutural. Este tipo de produto oferece uma boa aderência entre concreto novo e antigo.

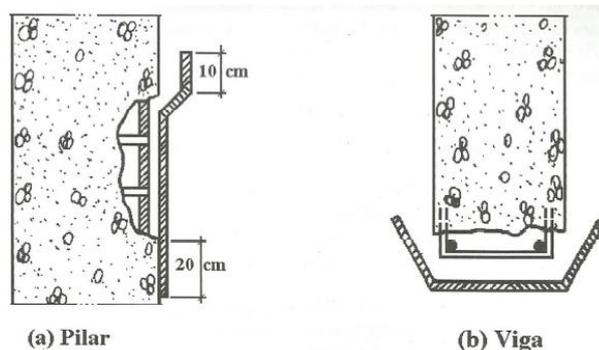
O concreto de recomposição deve ser lançado enquanto o adesivo ainda estiver molhado e pegajoso. Também é importante seguir as especificações do fabricante e orientar e supervisionar o profissional que estiver realizando o procedimento.

Se a complementação da armadura tiver sido feita, a superfície do substrato deve ser preparada a úmido. Isso garante uma maior receptividade ao grout.

3.6 RECOMPOSIÇÃO DO CONCRETO

No presente estudo de caso, a alta porosidade do concreto foi um fator determinante para o início do processo de corrosão da armadura, pois isso facilitou o acesso de água, oxigênio e cloretos ao aço. Sendo assim, o material de recomposição precisa ter baixa permeabilidade, o que leva diretamente para a relação água/cimento, responsável tanto pelo índice de permeabilidade quanto pela resistência. (MEHTA E MONTEIRO, 2014)

Figura 16 – Formas para preenchimento de pilares e vigas



Fonte: SOUZA E RIPPER, 1998, p. 129

Outro fator determinante no sucesso da recuperação será a espessura do cobrimento do concreto, que deverá ser, no mínimo, de 3,0 cm, de acordo com a norma. O cobrimento é a proteção direta da armadura ao meio agressivo. Assim, o posicionamento correto das formas se torna imensamente relevante. A figura 16 ilustra a maneira correta de se montar as formas.

Considerando que a complementação não tenha sido necessária, a recomposição pode ser feita com concreto ou argamassa de cimento Portland, que garantirá a alcalinidade necessária ao aço. No entanto, quanto maior a quantidade de cimento, maior a retração. O acréscimo de fibras pode diminuir este fator. Alguns aditivos também podem ser usados para elevar a fluidez, a resistência e a impermeabilização, como os polímeros, ou até mesmo a resistência a ataques químicos, a absorção e a porosidade, como a sílica ativa.

A escolha deve ser feita avaliando disponibilidade e valor do material, além das características do composto que serão afetadas. O mais indicado é que se use aditivos que deixem o concreto ou a argamassa mais fluidos e auto adensáveis, visto que a recomposição não é simples, pois precisa envolver toda a estrutura já existente da viga.

Em contrapartida, se o acréscimo de novas barras tiver sido realizado, deve-se utilizar o grout. Souza e Ripper (1998, p. 142) definem:

Para trabalhos de restauração de falhas em elementos estruturais de concreto podem ser utilizadas argamassas previamente preparadas por empresas especializadas, que têm como principais atrativos a fácil aplicação, a elevada resistência mecânica e a ausência de retração. Estas argamassas são denominadas de grout, podendo ser de base mineral ou de base epóxi. O grout de base mineral é um material constituído por cimento, agregados miúdos, quartzos, aditivo superplastificante e aditivo expensor (pó de alumínio), que possibilitam a obtenção de elevada fluidez, tornando possível a sua aplicação em regiões dos elementos estruturais de difícil acesso. Além disto, em virtude da presença de aditivo expensor na mistura, há maior garantia de que todos os espaços da região do reparo serão preenchidos.

Em ambos os casos, a supervisão durante este processo deve ser ininterrupta, pois qualquer falha resultará na ineficiência de toda a recuperação. O tempo de cura e a desforma devem ser obedecidos conforme projeto.

4 CORROSÃO: COMO EVITAR

De acordo com Souza e Ripper (1998) e a ABNT NBR 15575-1 (2013), desempenho é o comportamento de uma edificação e de seus sistemas componentes durante o período de uso ou de serviço. Ou seja, o conceito de desempenho está ligado ao tempo e considera fatores como desgaste natural, acidentes e erros na etapa de projeto/execução, já que podem gerar deterioração da estrutura.

Pode-se dizer, então, que o desempenho é admitido como satisfatório quando o custo inicial, a deterioração em função do tempo, a vida útil e o custo de serviços de recuperação possuem um saldo positivo.

A ABNT NBR 15575-1 (2013) informa também que o nível de desempenho de uma edificação deve ser estabelecido em função das exigências dos usuários, que são o “conjunto de necessidades do usuário da edificação habitacional a serem satisfeitas por este (e seus sistemas), de modo a cumprir com suas funções”. Essas necessidades são, de modo geral, segurança, habitabilidade, saúde, higiene, economia e sustentabilidade.

Com essas premissas, é possível afirmar que a viga em estudo não possui um desempenho satisfatório. Juntas, as fases de projeto e execução são responsáveis por garantir a maior parte do desempenho. Por isso, para evitar o surgimento de patologias, como a corrosão, é imprescindível que se dê maior atenção a elas. Alguns cuidados simples podem prolongar a vida útil, garantir um bom desempenho e evitar/retardar problemas.

4.1 PROJETO

Todas as obras precisam ter um anteprojeto e projeto bem feitos, com estudos preliminares minuciosos, cálculos revisados, plantas bem detalhadas, planejamento e previsão de problemas, seguindo todas as normas existentes. No estudo de caso, havia a total ausência do projeto. Toda a residência foi construída de forma empírica pelos operários, sem seguir qualquer método. É indispensável que um profissional qualificado elabore o projeto.

As falhas originadas nesta fase geram patologias mais complicadas e mais onerosas de solucionar do que outras patologias geradas nas etapas seguintes. (SOUZA E RIPPER, 1998)

4.2 EXECUÇÃO

A maior parte das manifestações patológicas têm suas origens nesta etapa, devido à mão de obra não qualificada, com pouco ou nenhum conhecimento técnico. Em relação ao caso estudado, este também foi um fator determinante para o surgimento da patologia. É possível notar que a execução da viga não seguiu nenhuma norma e não teve supervisão profissional, já que as formas, por exemplo, foram executadas de forma negligente, deixando um cobrimento insuficiente para proteger a armadura.

A construção civil é uma das áreas que mais geram empregos para trabalhadores sem nível técnico. Quando não é possível optar por operários que já possuam experiência e conhecimento, contratar pessoas que estão iniciando no ramo é uma ótima solução, desde que sejam fornecidos cursos, treinamentos e prazo de experiência e adaptação. Apesar da receptividade, a construção civil necessita seguir padrões de qualidade.

4.3 MATERIAIS

Utilizar os materiais corretos, de boa procedência e qualidade, manuseando-os corretamente, também influencia no bom desempenho de uma estrutura. Na viga estudada, o concreto não foi feito com brita, mas com areia grossa com presença de cascalho. Além disso, o traço, provavelmente, não foi dimensionado adequadamente, o que levou à alta porosidade do concreto.

É preciso reforçar que a supervisão de um profissional é essencial para que esse problema seja evitado, pois é ele quem saberá como, quando e quais materiais utilizar. Outra consideração importante é ponderar com cautela a relação custo-benefício. Nem sempre o material mais barato vai possuir o menor custo, visto que ele pode acarretar problemas futuros.

No caso da corrosão, é possível investir em materiais que, à primeira vista, são mais caros, mas que, a longo prazo, trazem mais segurança e durabilidade. O aço inoxidável é um bom exemplo disso.

4.4 MANUTENÇÃO

É compreendido por manutenção conservar ou manter algo. Na engenharia, não é diferente.

Aplicando-se as metodologias corretas de aplicação, controle e execução dos processos de manutenção, é possível evitar o surgimento precoce de manifestações patológicas ou identifica-las em seu estágio inicial, quando a correção é mais fácil e menos dispendiosa.

Entende-se por manutenção de uma estrutura o conjunto de atividades necessárias à garantia do seu desempenho satisfatório ao longo do tempo, ou seja, o conjunto de rotinas que tenham por finalidade o prolongamento da vida útil da obra, a um custo compensador. (SOUZA; RIPPER, 1998, p. 21)

O usuário desempenha um papel importante neste ato, pois é o principal elemento da etapa de utilização da edificação, tornando essencial sua contribuição para garantir o bom desempenho da estrutura. Para tanto, é preciso realizar inspeções periódicas, que são a base do sistema de manutenção.

Estas atividades são orientadas pelo Manual de Uso, Operação e Manutenção da estrutura, definido pela ABNT NBR 5674 - Manutenção de edificações - Requisitos para o sistema de gestão de manutenção (2012), como o documento que menciona de forma clara e objetiva as informações necessárias e requisitos básicos para a utilização e manutenção preventiva. Este manual norteia o proprietário e o usuário e facilita os procedimentos de inspeção e manutenção preventiva e/ou corretiva.

Para uma residência unifamiliar, como a do estudo de caso, o manual não se faz necessário, mas a manutenção continua sendo fundamental. Por se tratar de uma família de baixa renda, não foi possível contratar um engenheiro para inspecionar a edificação periodicamente e nem corrigir as manifestações patológicas no início de suas ocorrências.

Contudo, a proprietária nunca procurou um profissional para saber o valor dos serviços. Infelizmente, ainda há um tabu muito grande sobre o custo de se contratar um engenheiro civil.

A melhor maneira de se proceder é que os próprios moradores observem o comportamento da edificação. Uma estrutura de concreto armado que apresenta manchas, por exemplo, pode estar indicando o início de um processo de corrosão de

armadura. Isto também se aplica a fissuras, infiltrações, e quaisquer outras anomalias. Estando atento, ao menor sinal de problema o proprietário poderá buscar avaliação profissional para o diagnóstico e manutenção.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No decorrer deste trabalho, foi apresentado um estudo de caso para exemplificar o estudo acerca da corrosão de armaduras. Foram apontados os sintomas apresentados pela viga, as possíveis causas de sua deterioração e a melhor forma de recuperá-la. Devido a outras manifestações patológicas que a residência visitada apresenta, recomenda-se a continuação do estudo, de forma mais detalhada, para obter maior precisão e seus diagnósticos.

Ficou claro que uma patologia não se origina a partir de um fator isolado; é a combinação de vários fatores que levam à degradação de uma estrutura. Na viga estudada, os elementos que levaram à corrosão foram inexistência de projeto, mão de obra desqualificada, cobertura insuficiente, materiais inadequados e alta porosidade do concreto.

Assim, de acordo com as hipóteses apresentadas no primeiro capítulo deste trabalho, fica a hipótese a) – falhas ocorridas do início da vida da estrutura, como um erro na concepção do projeto ou execução deficiente/sem acompanhamento adequado – sendo a mais condizente com o que foi inferido durante o estudo.

Foram descritas as etapas de recuperação da viga, cujo objetivo era mostrar que, ter cuidado desde a avaliação do terreno a ser construído até a manutenção periódica, é mais simples do que reparar uma estrutura degradada. Além disso, projetistas, operários, materiais e ambiente devem estar em harmonia para que a edificação atinja um alto nível de desempenho.

A construção civil está em constante busca por qualidade e excelência. Novos materiais, novas técnicas, novos métodos construtivos surgem a cada ano. Apesar disso, a corrosão continua sendo o maior problema em estruturas de concreto armado. Conclui-se, então, que é preciso alinhar essas inovações com os conhecimentos humanos, a fim de encontrar soluções mais eficazes para o problema. Tornar essas tecnologias mais acessíveis, para emprega-las em larga escala, também é bastante válido.

Nesse espectro, pode-se dizer que, em uma construção, tudo está correlacionado. Por isso, é importante seguir normas e um rigoroso controle de qualidade, para que, futuramente, não seja preciso lidar com problemas como a corrosão de armadura.

REFERÊNCIAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 5674. **Manutenção de edificações - Requisitos para o sistema de gestão de manutenção**, 2012.

_____. NBR 6118. **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**, 2014.

_____. NBR 15575-1. **Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais – Procedimento**, 2013.

DORIA, M. F.; SALES, A. T. C.; ANDRADE, N. F. de A. Aderência aço-concreto e entre concretos de diferentes idades em recuperação de estruturas. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**. São Paulo, v. 8, n. 5, p. 604-624, out., 2015.

FORTES, A.S.; RIOS, G. C. V. B; et al. Viabilidade econômica da utilização de fibra de carbono em reforço estrutural. **CONCRETO & Construções**, São Paulo, ed. 91, p. 56-63, jul/set, 2018.

GARCIA, M. L. G.; HELENE, P. R. do L. **Sistemas de Reparo para estruturas de concreto com corrosão de armaduras**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP – Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2008. ISSN 0103-9830.

GENTIL, V. **Corrosão**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

HELENE, P. R. do L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. 1993. 231 f. Tese (Livre Docência). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 1993.

MACEDO, E. A. V. B. de. **Patologias em obras recentes de construção civil: análise crítica das causas e consequências**. 2017. 112 f. Projeto de Graduação em Engenharia Civil. Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ, 2017.

MACHADO, A. P.; MACHADO, B. A. Reforços de estruturas de concreto armado: um resumo das alternativas disponíveis. **CONCRETO & Construções**. São Paulo, ed. 82, p. 23-30, abr/jun, 2016.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 5.ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MARQUES, V. S. **Recuperação de estruturas submetidas à corrosão de armaduras: definição das variáveis que interferem no custo**. 2015. 92 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil). Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, 2015.

MEDEIROS, M. H. F.; ANDRADE, J. J. O.; HELENE, P. Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto. In: ISAIA, G. C. (ed). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: IBRACON, 2011. v. 1, cap. 22.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais**. 2. Ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

PEDROSO, F. L. Congresso Internacional pauta-se pela durabilidade das obras. **CONCRETO & Construções**. São Paulo, ed. 55, p. 14-23, jul/set, 2009.

RIBEIRO, D. V.; et al. **Corrosão em estruturas de concreto armado: teoria, controle e métodos de análise**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 1. ed. São Paulo: Pini, 1998.

TOMAZELI, A.; MARTINS, F. de C. Condomínio Central Park Ibirapuera: a importância de um laudo técnico para a obtenção da excelência na recuperação das fachadas em edifícios. **CONCRETO & Construções**. São Paulo, ed. 49, p. 13-19, jan/mar, 2008.

TRINDADE, D. S. **Patologia em estruturas de concreto armado**. 2015. 88 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil). Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, 2015

APÊNDICE A – Questionário da entrevista

No dia 7 de agosto de 2019, foi feita uma visita técnica na residência cuja estrutura é objeto de estudo deste trabalho. Além da investigação dos elementos, fez-se interessante conversar com a proprietária, a fim de questioná-la sobre a história da edificação e, assim, poder extrair mais informações para o diagnóstico.

A entrevista foi breve, mas esclarecedora. Abaixo, estão listadas as perguntas feitas à moradora.

- 1) Quando a senhora se mudou para cá, o imóvel já apresentava defeitos?
- 2) A senhora sabe qual a idade deste imóvel? Há quanto tempo foi construído?
- 3) Além das estruturas que apresentam corrosão de armadura, quais outras patologias o imóvel apresenta?
- 4) Como a senhora acha que estes problemas foram causados?
- 5) Com o passar do tempo, surgiram mais patologias?
- 6) A viga do muro, que está tomada pela corrosão, também foi ficando mais degradada, à medida que o tempo passava?
- 7) Foi feita alguma intervenção, como reformas ou reparos, em algum elemento da edificação?
- 8) A senhora se preocupa com a sua segurança e da sua família, sabendo que aqui existem estruturas comprometidas?
- 9) Se a senhora pudesse dizer algo para as pessoas que construíram a casa, o que diria?

Os dados obtidos com esse questionário auxiliaram na compreensão das causas da deterioração da viga.

APÊNDICE B – Outras evidências de falhas no processo construtivo

Durante a visita técnica, observou-se que a residência apresentava outras manifestações patológicas além da corrosão de armadura na viga estudada. As imagens a seguir foram registradas, com autorização da proprietária, para ilustrar os seguintes problemas:

a) Fissuras, trincas e rachaduras em vários pontos da casa:

Figura 1 – Fissuras, trincas e rachaduras



Fonte: Acervo próprio, 2019.

b) Avarias no piso e contrapiso internos:

Figura 2 – Situação do piso



Fonte: Acervo próprio, 2019.

c) Instalação elétrica precária:

Figura 3 – Detalhes da fiação



Fonte: Acervo próprio, 2019.

d) Manchas indicadoras de infiltração e goteiras:

Figura 4 – Manchas na parede



Fonte: Acervo próprio, 2019.

- e) Pilares e viga do muro com corrosão de armadura e tijolos com deficiência em argamassa de assentamento:

Figura 5 – Detalhes do muro



Fonte: Acervo próprio, 2019.

- f) Pilar de sustentação da caixa d'água com fissuras e corrosão de armadura:

Figura 6 – Detalhes do pilar da caixa d'água



Fonte: Acervo próprio, 2019.

g) Demais situações incoerentes, como pilar pré-moldado de seção circular e tubulação de água fria exposta ao sol, etc.:

Figura 7 – Outros problemas



Fonte: Acervo próprio, 2019.

As imagens acima mostram que, embora a viga do portão tenha sido o foco do estudo de caso apresentado neste trabalho, toda a residência precisa ser inspecionada e analisada a fundo, pois são muitas irregularidades e incoerências em todos os seus sistemas.

Além disso, cada uma delas pode ter uma causa diferente. Isso faz com que o diagnóstico final necessite de maior embasamento para ser mais assertivo.