

Análise Das Manifestações Patológicas Em Um Edifício Com Estrutura De Concreto Armado No Município De Rio Verde.

Luiz Umberto Alves Filho¹, Bacus de Oliveira Nahime².

Resumo

Esta pesquisa consiste em um trabalho de inspeção, tendo como objetivo analisar um edifício com estruturas de concreto armado. O prédio em observação foi inaugurado em 1973 e contém manifestações patológicas que estão afetando a durabilidade e o desempenho da edificação. Foram realizadas as devidas observações afins de detectar visivelmente as possíveis manifestações patológicas e propor um diagnóstico. Para o esclarecimento do problema estudado, foi realizada uma revisão bibliográfica e ensaios para verificar a corrosão e despassivação das armaduras. Após a análise visual e os estudos, foi realizada uma análise sobre a frente de carbonatação e corrosão das armaduras, para mais comprovação sobre a resistência do concreto, foi realizado também o teste de esclerometria. Buscou-se analisar os principais elementos que atuam no processo da carbonatação, levando em consideração que uma das causas de maior incidência na despassivação é a carbonatação do concreto, podendo ocasionar um processo de corrosão generalizada. De acordo com os resultados dos testes, concluiu-se que o edifício estudado possui boa resistência à compreensão e avanço da frente de carbonatação dentro do esperado para concreto de boa qualidade, mas com a inexistência de espaçadores na execução do edifício resultou em cobrimento insatisfatório e conseqüentemente proteção físicas das armaduras insuficiente.

Palavras-chave: Patologia. Carbonatação. Corrosão. Concreto armado. Diagnóstico.

1. Introdução

Esta pesquisa consiste em um trabalho de inspeção, onde foram realizados ensaios físicos e químicos detalhados, assim podendo concluir o diagnóstico, referente à ocorrência de diversas manifestações patológicas em um edifício de uma universidade com estrutura de concreto armado, o prédio foi inaugurado em 1973, construído em uma área rural, não foram localizados os projetos para construção utilizados na época, teve-se como auxílio neste trabalho apenas um projeto de levantamento. (Disponível em: <<http://www.unirv.edu.br/paginas.php?id=15>>. Acesso em: 16 mar. 2019).

A obra estudada trata-se de um edifício com estrutura de concreto armado, composto de dois pavimentos cada um com 7.000 m² e 8 juntas de dilatação. Para melhor entendimento desta pesquisa foram localizados na Figura 1 e Figura 2 os termos “P” e “V” que significam pilar e viga respectivamente e o termo “C” que são pontos em que foram

¹ luiz.umberto@outlook.com.br, graduando, acadêmico, UniRV, Faculdade de Engenharia Civil.

² bacus@unirv.edu.br, Doutor, Docente, UniRV, Faculdade de Engenharia Civil.

feitos testes de potencial de corrosão, que serão melhor explicados no decorrer deste trabalho.

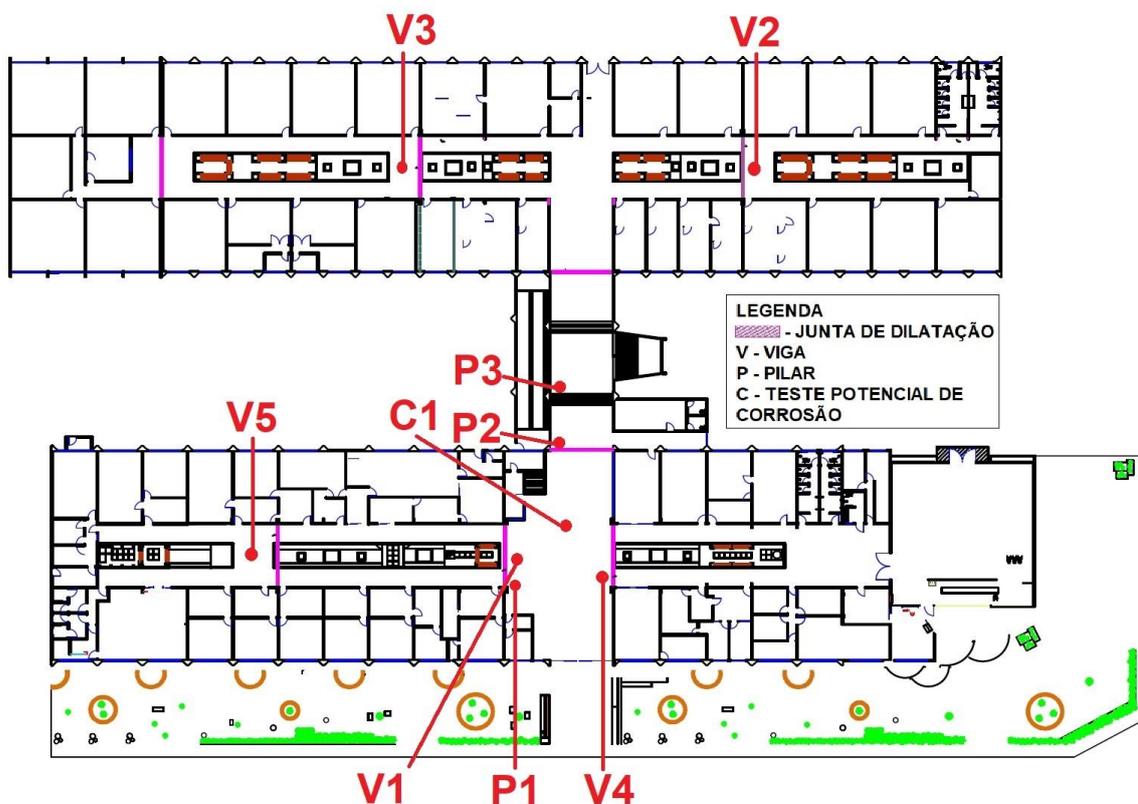


Figura 1 – Planta do Térreo

Fonte: Autor (2019)

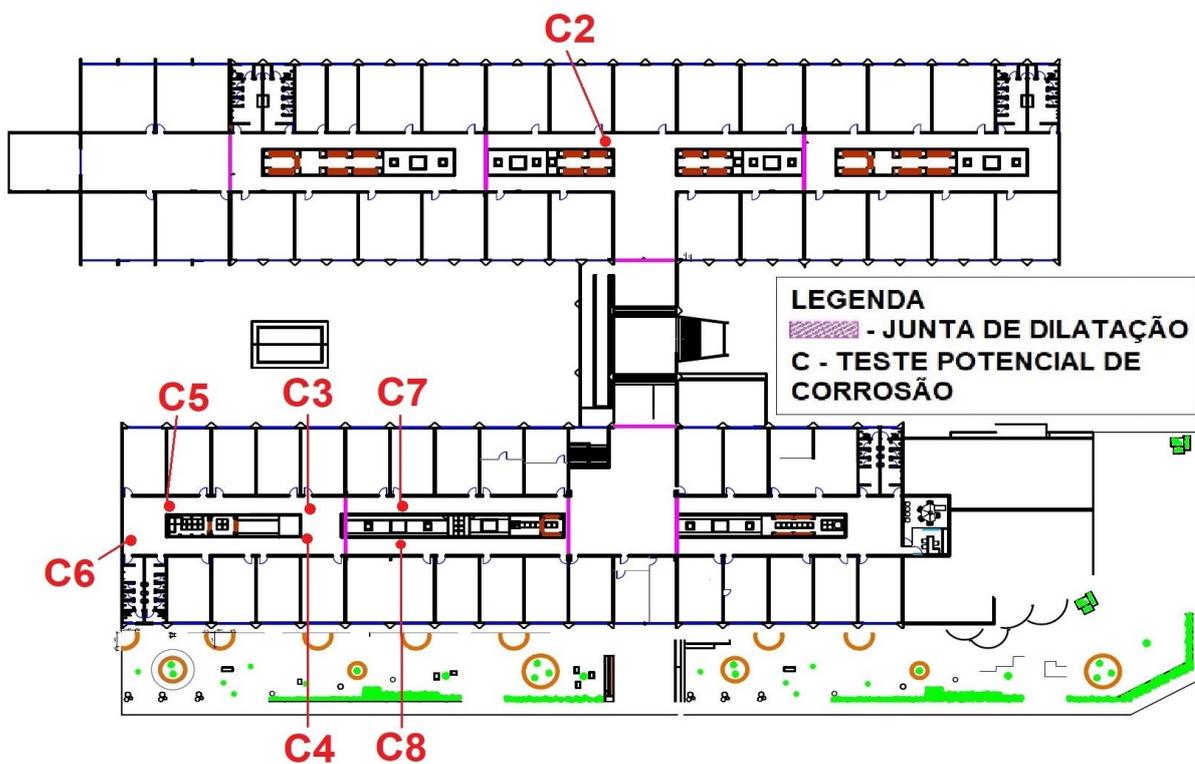


Figura 2 – Planta do Pavimento Superior

Fonte: Autor (2019)

Para melhor compreensão do trabalho algumas definições devem ser ponderadas, tais como: vida útil, durabilidade, manutenção e concreto armado.

Para a ABNT NBR 6118:2014, item 6.2.1, Vida Útil de Projeto: “o período de tempo durante o qual se mantêm as características das estruturas de concreto, sem intervenções significativas”.

Ainda de acordo com a ABNT NBR 6118:2014, item 6.1, Durabilidade: “As estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que [...] conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o prazo correspondente à sua vida útil”.

Segundo a ABNT NBR 5674:2012, item 4.1.2, “a manutenção tem como finalidade a preservação do desempenho previsto em projeto ao longo do tempo, minimizando a depreciação patrimonial”.

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

Conforme a NBR 6118:2014, a estrutura estudada inicialmente foi classificada como Classe de Agressividade I (agressividade fraca, rural), mas atualmente, com o crescimento populacional da região pode ser classificada com Classe de Agressividade II (agressividade moderada, urbana).

Segundo critérios estabelecidos pela NBR 6118:2014 para classe de agressividade I, estruturas de concreto armado devem ter um cobrimento mínimo de 20 mm nas lajes e 25 mm nas vigas e pilares, porém na época da construção a normatização não exigia a utilização de espaçadores para garantir o cobrimento. Atualmente pode ser considerada zona urbana, portanto é necessário um cobrimento de 25 mm nas lajes e 30 mm nas vigas e pilares.

De acordo com a análise visual realizada, foram constatadas algumas irregularidades, dentre elas as manifestações patológicas do edifício, as quais serão estudadas neste trabalho.

Sendo assim, alguns autores definem que o termo patologia é a parcela da engenharia que estuda as causas, as origens, os mecanismos, as modificações causadas pelas manifestações e os sintomas que podem resultar na queda do desempenho e da vida útil da estrutura, portanto é toda análise necessária para o diagnóstico. (OLIVEIRA 2013, p. 02; GIACOMELLI 2016, p. 31; NINCE 1996, p. 17).

Para Helene (1993, p. 159) é necessário fazer uma inspeção detalhada da estrutura, elencando os sintomas e manifestações patológicas e com ajuda de técnicos da área realizar avaliações visuais para, se necessário, com exames complementares rápidos

e pouco ou não destrutivos formular o diagnóstico.

Em sua obra Nince (1996, p. 19) define alguns tipos de manifestações patológicas, apresentadas na Tabela 1:

Tabela 1 - Tipos de Manifestações Patológicas

<i>Tipos de Manifestações Patológicas</i>	<i>Definição</i>
Fungos e Bolor	Microrganismos que surgem em locais úmidos com pouca ventilação.
Recalque	Deslocamento dos elementos de fundação produzindo efeitos na superestrutura.
Desaprumo	Elemento estrutural vertical não alinhado segundo seu eixo.
Fissuras	Fratura do concreto quando exercida sua resistência à tração, devido a uma ou mais causas: retração, sobrecarga, variação de temperatura, recalque, secagem superficial, assentamento plástico, movimentação de forma, reações químicas expansivas, detalhes construtivos, etc.
Eflorescências	Manchas superficiais brancas, na forma de véu, resultante de um processo físico (lixiviação) associado à presença de água que dissolve e remove, até a superfície dos elementos estruturais, principalmente o hidróxido de cálcio que, transformam-se em carbonato de cálcio devido à combinação de CO ₂ .
Concreção	Precipitado mineral branco escorrido ou alongado que se forma na superfície dos elementos estruturais, devido a uma reação química que produz um produto que é expelido, seja por expansão ou por gravidade
Desagregação	Perda da capacidade aglomerante do concreto endurecido com desprendimento de agregados, devido a algum tipo de ataque químico expansivo, baixa aderência pasta/agregado, traço pobre e/ou abrasão.
Esfoliação	Desprendimento de partes isoladas de concreto sadio, provenientes de choques, corrosão, etc.
Corrosão	Processo eletroquímico de formação sobre a armadura de óxidos e hidróxidos de ferro, provocadas por carbonatação do concreto e/ou contaminação por cloretos. Quando o processo atinge estágios avançados a armadura perde seção.

Segregação	Falhas e manchas decorrentes da falta de uniformidade do concreto durante sua execução. Vazios formados devido a dificuldade de penetração do concreto durante seu lançamento.
Carbonatação	Processo químico de reação do CO ₂ da atmosfera com a portlandita (Ca(OH) ₂) da pasta de cimento, em presença de água, formando o carbonato de cálcio que colmata os vazios e reduz o pH do concreto.

Fonte: Nince (1996).

De acordo com as manifestações e suas definições elencadas na Tabela 1, com o memorial fotográfico da estrutura e com o auxílio de engenheiros que trabalham na área percebe-se visualmente que as principais manifestações presentes podem ser carbonatação e a corrosão das armaduras.

Segundo Cunha e Helene (2001, p. 02) “A carbonatação no concreto que é um dos principais agentes iniciadores da corrosão, provoca alteração na condição de equilíbrio da alta alcalinidade, havendo assim, redução generalizada do pH para valores menores que 10,5”.

Como descrito por Neville (2013, p. 268) forma-se uma película protetora ao longo da barra de aço quando o pH do concreto está alcalino acima de 12, mantendo a passivação entre a armadura e o concreto, protegendo contra a corrosão que é impedida pela resistência ôhmica da película. Silva referido por Lapa (2008, p.19) defende em seu trabalho que a frente de carbonatação avança de 1 a 3 mm por ano em concretos de qualidade mediana. Então, as armaduras que tem um cobrimento menor, serão atingidas primeiro pela frente de carbonatação, ocasionando a perda da camada protetora e ficando propensa a ter corrosão.

De acordo com Helene (1993, p. 4) a corrosão das armaduras é a terceira manifestação patológica mais recorrente nas estruturas, atrás somente das fissuras e das deformações excessivas.

Segundo Mehta e Monteiro (1994) com o agravamento da corrosão, a armadura começa a perder seção e se expandir voltando ao estado original da natureza, gerando um aumento de volume de até 600%, provocando fissuras no concreto devido a força de tração gerada pela expansão.

Portanto por ser um edifício que abriga várias salas que compõem a parte administrativa com grande fluxo de pessoas, não seria viável a demolição do mesmo considerando também o alto valor necessário para construir outro edifício que pudesse substituir a utilização deste. Sendo assim, é necessário um estudo para entender as causas

e propor soluções para as manifestações patológicas, possibilitando prolongar a vida útil da edificação.

Este trabalho tem como objetivo principal analisar as manifestações patológicas do edifício, oferecer um diagnóstico e definir a melhor conduta a ser adotada para reparar essas manifestações e prolongar a vida útil da estrutura. Para tanto, os objetivos específicos são:

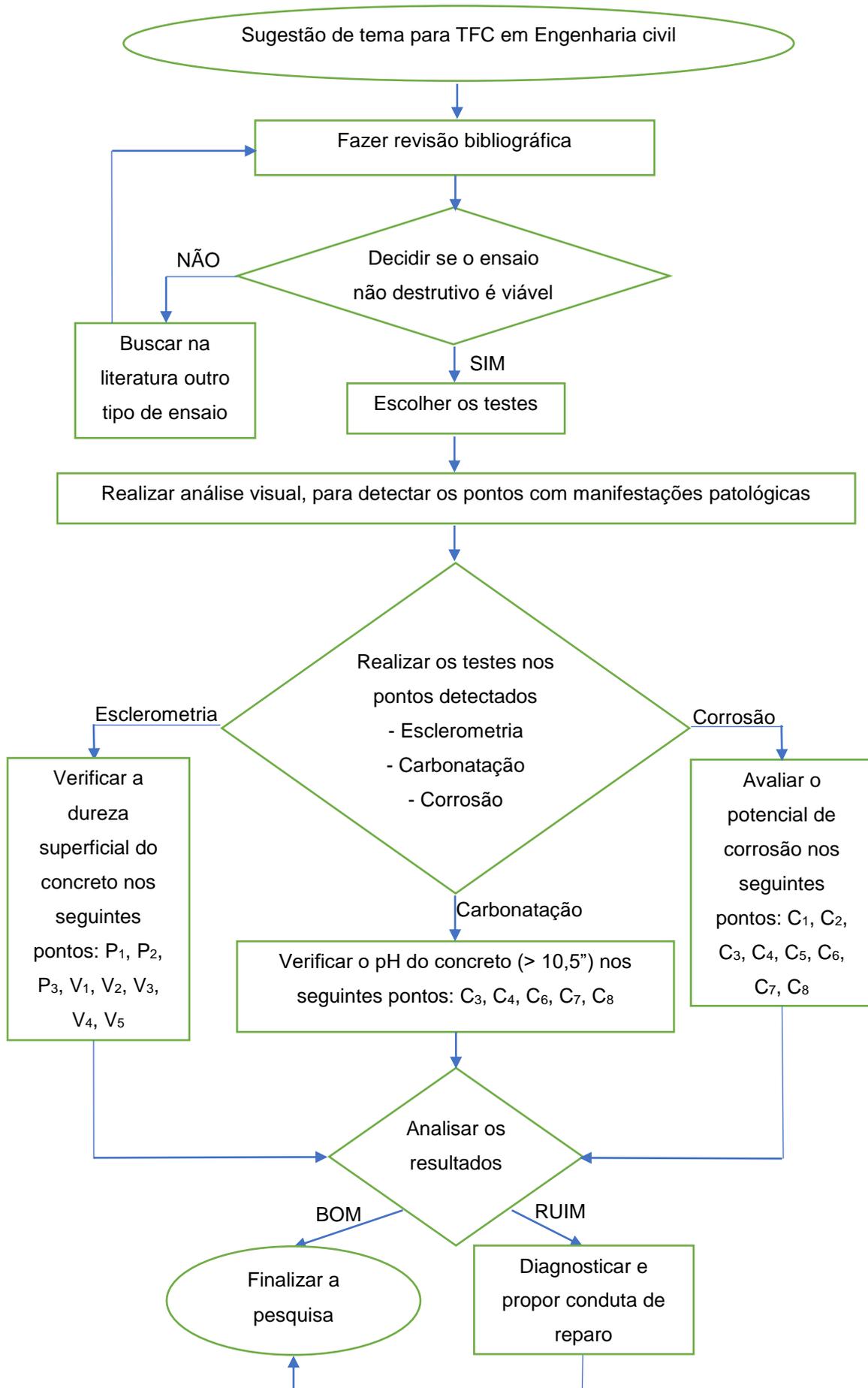
- Identificar as manifestações patológicas presentes nesse edifício, o foco será se há carbonatação e corrosão.
- Fazer uma revisão bibliográfica sobre: ensaio de esclerometria; ensaio carbonatação; ensaio de potencial de corrosão.
- Organizar um memorial fotográfico dessas manifestações;
- Analisar a deterioração nas vigas e pilares, através de ensaios e análises visuais;
- Constatar e entender as causas das manifestações patológicas;
- Realizar ensaios para determinar a resistência à compressão, o tamanho da frente de carbonatação, e potencial de corrosão.

4. Materiais e Métodos

Nesta sessão será apresentado o desenvolvimento metodológico, com a finalidade de direcionar nas tomadas de decisões, assim alcançando os objetivos propostos, representado no Fluxograma 1. De acordo com Santos (2000) as pesquisas podem ser definidas pelo procedimento de coleta, pelos objetivos e/ ou segundo as fontes de pesquisas utilizadas no decorrer da pesquisa. Sampieri (2006) afirma que o modelo de pesquisa científica embasada nos objetivos, tem a classificação de experimental com caráter exploratório.

Este trabalho possui caráter exploratório, pois realizou uma pesquisa de conceitos relevantes para a elaboração da revisão da literatura de maneira ordenada e sistemática sobre patologias nas construções civis.

Esta pesquisa propõe um estudo de caráter inicial qualitativo, utilizando modelos e métodos de análises do problema, fazendo a identificação dos tipos e conceitos durante a revisão bibliográfica. Logo, após o estudo bibliográfico foi realizado a seleção do tipo de ensaio que seria mais viável para o desenvolvimento desta pesquisa, logo então, os autores optaram em utilizar os ensaios não destrutivos, os quais consistem em uma alternativa mais avançada para avaliar as características das estruturas analisadas, pois os dados coletados tornaram mais precisos; e este procedimento não danifica e nem compromete o desempenho da estrutura.



Fluxograma 1- Fluxograma das atividades
Fonte: Autor (2019)

Os ensaios não destrutivos possuem diversas vantagens, tais como: não acarreta prejuízo na estrutura; podem ser realizados mesmo com a estrutura em uso; obtém os dados com facilidade. Os principais testes não destrutivos são: ultrassom; esclerometria; resistividade elétrica superficial; ensaio de permeabilidade à água; ensaio de resistência à penetração; ensaio de potencial de corrosão. (CARACAS *et al.* 2016, p. 06).

Para Do Carmo (2003), análise visual baseia na averiguação por visita técnica e elaboração de relatórios fotográficos. Tem como principal finalidade o levantamento de dados no primeiro contato com a estrutura, possibilitando o entendimento parcial das manifestações existentes.

Segundo Helene (2003, p. 159), “A obtenção de informação in situ deve basear-se no princípio do mínimo número de indícios para obter o máximo de informação.”

É indispensável a análise de alguns fatores na etapa de vistoria à obra, como por exemplo:

- ✓ Incidência e localização do problema;
- ✓ Idade aproximada das manifestações patológicas e do edifício estudado;
- ✓ Índice das ocorrências do mesmo problema em vários pontos da obra;
- ✓ Se já fez algum reparo do problema e
- ✓ Se o edifício é utilizado corretamente (THOMAZ, 1989).

Antes de realizar os ensaios, foi realizada uma inspeção preliminar no local onde encontram-se as manifestações patológicas. De acordo com (THOMAZ, 1989), quando é realizada a vistoria no local que possui manifestações patológicas, é possível determinar com mais facilidade os pontos que necessitam de reparo, reforço ou recuperação, já que em vários pontos do bloco apresentam armaduras expostas totalmente corroídas, conforme Figura 3.



Figura 3 - Armadura Exposta
Fonte: Autor (2019)

Tratando-se de problemas patológicos, em alguns casos a análise visual do problema não é suficiente para a conclusão do diagnóstico, sendo necessário realizar ensaios específicos, seja no local da manifestação ou em laboratório, que são realizados por técnicos especialistas para interpretar os dados obtidos nas análises (DO CARMO, 2003). Sendo assim, foram realizados os seguintes ensaios: Esclerometria, Carbonatação e pH e Potencial de Corrosão, descrito os processos de execução nos próximos parágrafos.

O ensaio de **Esclerometria (Ensaio 1)**, tem a função de avaliar a dureza superficial do concreto, portanto estipula a resistência à compressão do concreto; pode ser realizado no local com cobertura e normalmente utiliza-se o Martelo ou Esclerômetro de Schmidt conforme apresenta a Figura 4.



Figura 4 – Martelo de Schmidt
Fonte: Autor 2019

De acordo com a NBR 7584, para executar o ensaio de Esclerometria deve seguir as seguintes recomendações: distância < 5 cm das arestas; realizar no mínimo 9 leituras em cada área analisada; não realizar mais de um impacto no mesmo ponto; distância mínima entre impacto de 3 cm; não fazer ensaios em superfície com menos de 14 dias o ideal são no mínimo 28 dias. Para encontrar o valor de resistência da superfície deve calcular a Média do Índice Esclerométrico ($M_{(IE)}$), representado pela seguinte fórmula:

$$\bullet \quad M_{(IE)} = \sum (\text{valor da leitura de cada área}) / N^{\circ} (\text{de área para leitura})$$

Logo em seguida desprezar os valores afastados (+10%, -10% do valor da $M_{(IE)}$), seguindo os seguintes cálculos:

- $M_{(IE)} + 0,10 * M_{(IE)}$
- $M_{(IE)} - 0,10 * M_{(IE)}$

Com o resultado dos limites superior e inferior, deve observar no campo amostral se todos os Índices Esclerométricos (IE's) encontram dentro do limite, caso não esteja, desconsiderar os valores excedentes, logo, refazer a média com os valores que estão dentro do limite. Sendo assim, obtém valores satisfatórios para encontrar o valor do Índice Esclerométrico Efetivo ($I_{(EE)}$), substituindo na seguinte fórmula:

- $I_{(EE)} = K$ (valor encontrado no martelo / Esclerômetro Schmidt) * $M_{(IE)}$

Com o resultado dessa equação será possível encontrar o valor correspondente à resistência da superfície, em MPa.

O ensaio de **Carbonatação e pH (Ensaio 2)** é realizado por meio de aspersão de indicadores químicos em fratura fresca, trata-se de uma solução aquosa-alcoólica de fenolftaleína, diluindo 1% de fenolftaleína em 49% de álcool e 50% de água. O processo exige que molhe a superfície com a solução escolhida, em seguida deve aguardar de 30 a 90 segundos e observar a cor que deverá ter sido alterada. A cor indica aproximadamente o pH do corpo de prova (obs.: caso a superfície atinja uma cor rosada indica que não há frente de carbonatação, se a superfície ficar incolor, significa que há frente de carbonatação na superfície analisada), onde o pH favorável deve ser superior a 10,5". Se a frente de carbonatação chegou na armadura significa que contribuiu para despassivação do concreto armado (HELENE 1993, p. 165).

As técnicas mais utilizadas para determinar o **Potencial de Corrosão (Ensaio 3)**, são as técnicas eletroquímicas, por ser o método mais utilizado para acompanhar e avaliar o comportamento de cada estrutura de concreto armado com relação ao nível de corrosão da armadura.

Características do ensaio de Potencial de Corrosão:

- Análise qualitativa no local (A análise visível possibilita realizar a avaliação qualitativa, que é efetuada por meio de mapas de potencial de corrosão, indica que em determinada área possui mais probabilidade de haver corrosão);
- É descrito pela Norma ASTM C876;
- Deve realizar o ensaio na base da estrutura ou em lugares que tenham infiltrações ou umidade;
- Escolher um ponto que tenham conexão com a armadura;
- Detectar onde há armadura;
- Deve saturar a superfície em que será realizado o ensaio com água;
- Sob o eletrodo primário colocar a esponja.

Os equipamentos necessários para o ensaio são:

- Eletrodo constituído pelo aço/concreto;
- Eletrodo de referência;

- Voltímetro.

A Figura 5 retrata o equipamento utilizado para proceder o ensaio de potencial de corrosão. A sua utilização permite medir e registrar os potenciais, ao longo das peças estruturais, sendo assim é possível, realizar o mapeamento dos ensaios de potencial de corrosão.

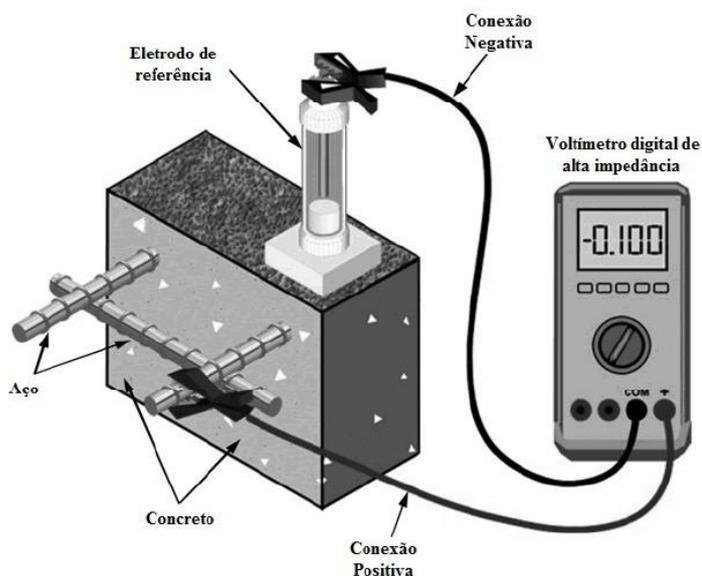


Figura 5 - Equipamento para realizar teste de potencial de corrosão
Fonte: CARACAS *et.al* (2016).

Para obter um resultado satisfatório do Potencial de Corrosão deve apresentar as seguintes características:

- Terá menor probabilidade de sofrer corrosão o concreto que possuir resistividade elétrica maior;
- De acordo com Cascudo (1997), alguns fatores podem influenciar as medidas, como:
 - Alta resistividade das camadas superficiais do concreto;
 - Alta compactidade do concreto;
 - Frente de carbonatação e a espessura do cobrimento;
 - Umidade do concreto elevado;
- Variações entre o valor real e médio (valor até 0,2V e 0,3V)

No ensaio é obtido o gradiente de potenciais, o qual indica o sentido das correntes de corrosão, as mesmas estão correlacionadas com as áreas da estrutura que estão comprometidas. Mas, só com os resultados do ensaio e potencial de corrosão não é possível dar resultados com 100% de precisão. Com isso a ASTM C876 disponibilizou um padrão para a análise dos resultados, conforme a Tabela 2:

Tabela 2 - Critérios para avaliar o potencial de corrosão das armaduras

Condição	Potencial (mV)	Análise
Boa	Mais positivos que -200mV	Ausência de corrosão
Corrosão iniciada	Entre -200mV e -350mV	Indícios de corrosão
Inaceitável	Mais negativos que -350mV	Corrosão ativa

Fonte: ASTM C876 (1999)

3. Resultados e Discussões

Foi realizada análise visual com objetivo de encontrar as manifestações patológicas da edificação, por meio desta análise o autor elaborou um memorial fotográfico e uma tabela com as manifestações patológicas encontradas na estrutura. A tabela apresenta um resumo das patologias, mapeadas conforme o tipo de manifestações patológicas em vários pontos do edifício. A Tabela 3 contém o valor quantitativo de manifestações patológicas.

Tabela 3 - Quantidades de manifestações patológicas detectadas na análise visual

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	QUANTIDADES	VALOR EM PORCENTAGEM (%)
Piso	21	30
Armadura Exposta	25	36
Desplacamento	24	34
TOTAL	70	100

Fonte: Autor (2019)

Ainda na análise visual foi verificado o cobrimento das armaduras conforme apresentado na Figura 6. Em uma das medidas mostra somente 10mm de cobrimento, mas esse valor é ainda menor devido ao estribo que deve ter a sua espessura descontada. Casos semelhantes a este ocorrem por toda estrutura.



Figura 6 - Diferença da espessura de cobrimento

Fonte: Autor (2019)

O meio ambiente que o edifício está inserido não contém grandes fluxos de carros e, portanto, não possui níveis elevados de gás carbônico no ar, pode-se afirmar que caso tivesse sido utilizado espaçadores para respeitar o cobrimento adequado para zona rural segundo a NBR 6118:2014 (classe de agressividade I) a frente de carbonatação consequentemente encontraria maior resistência física do concreto, demorado mais para atingir as armaduras, tardando a despassivação e o processo de corrosão, ou seja, o edifício não estaria tão deteriorado como analisado nesse trabalho, as manifestações estariam provavelmente em estágio inicial, sendo menos oneroso a intervenção na estrutura e influenciando diretamente na sua vida útil.

Dando continuidade aos ensaios, foi realizado o ensaio 1, teste de esclerometria, com a finalidade de avaliar a dureza superficial do concreto, determinar a resistência à compressão do concreto, nos seguintes locais: pilares e vigas. A localização deles está indicada na Figura 1, onde P1 significa pilar 1 e assim sucessivamente, de igual forma V1 significa viga 1 e assim sucessivamente. Os resultados de cada ensaio de esclerometria estão representados nas figuras em anexo de 1 a 8. Com o martelo de Schmidt na posição horizontal foram realizadas 9 leituras em cada área, respeitando as indicações da norma.

A Tabela 4 apresenta os resultados dos testes de esclerometria, conclui-se que os pilares 1 e 2 apresentaram baixa resistência à compressão, que pode ser justificado devido ao reboco ter uma camada muito espessa, influenciando no resultado, pois segundo Teodoru (1988), a camada representativa dos resultados são de 30mm a 50mm. O pilar 3 é um dos pilares mais solicitados da estrutura pois suporta também a carga de uma rampa. Ele obteve uma resistência a compressão de 52 MPa, sendo a maior resistência encontrada nesse teste. Nas vigas de 1 a 5 os resultados foram aproximados, sendo o menor valor de 40 MPa e o maior de 52 MPa, resultados muito satisfatórios considerando a época da construção.

Tabela 4 - Valores Referente aos Ensaio Esclerométricos

	$M_{(IE) INICIAL}$	$M_{(IE) FINAL}$	$I_{(EE)}$	RESISTÊNCIA (MPa)
PILAR 1	21,89	22,25	22,70	13,0
PILAR 2	20,44	21,00	21,42	11,0
PILAR 3	45,22	44,71	45,60	52,0
VIGA 1	44,89	43,83	44,71	46,0
VIGA 2	40,44	39,42	40,21	42,0
VIGA 3	45,67	45,83	46,75	55,0
VIGA 4	38,22	38,00	38,76	40,0

VIGA 5	44,56	44,43	45,32	52,0
---------------	-------	-------	-------	------

Fonte: Autor (2019)

Foi realizado o Ensaio 2 para verificar a frente de carbonatação existente em cada ponto analisado. O teste de carbonatação foi concentrado na região da junta de dilatação da Figura 3 que estava em reforma. Com a solução de fenolftaleína a 1%, molhou superfícies com fratura fresca e aguardou 60 segundos para observar a alteração da coloração daquela superfície.

A Figura 7 mostra a armadura de uma laje completamente rosa onde foi jogada a solução, representando que naquele lugar o concreto estava alcalino e, portanto, garantindo a proteção contra a corrosão. Na Figura 8 mostra a armadura e o concreto de uma viga que em partes tem a coloração rosa, mas em partes está incolor, indicando que o Ph está abaixo do necessário para garantir a passivação da armadura. Na Figura 9, este resultado já era esperado, pois, visivelmente percebe-se que a corrosão está ativa, porém com o teste foi possível identificar uma região na armadura onde não aparenta corrosão, mas por estar incolor, já foi despассивada, portanto essa armadura esta propensa a ter corrosão, o teste de potencial de corrosão nessa região (C4) também apresentou resultados semelhantes.



Figura 7 - Teste de carbonatação – Ponto C3

Fonte: Autor (2019)



Figura 8 - Teste de carbonatação – Ponto C4

Fonte: Autor (2019)



Figura 9 - Teste de carbonatação – Ponto C4
Fonte: Autor (2019)

Com base nos resultados dos testes de carbonatação, pode-se estabelecer que o concreto estudado é de boa qualidade pois, o edifício está em utilização há 46 anos e em nenhum dos pontos estudados houve frente de carbonatação superior a 40 mm, valor inferior à 46 mm que seria o mínimo caso o concreto fosse de qualidade mediana.

A Figura 10 mostra o maior avanço da frente de carbonatação encontrada com esse teste; 40mm no parapeito.



Figura 10 - Teste de carbonatação – Ponto C7
Fonte: Autor (2019)

No ensaio 3 foi obtido a diferença de potencial (DDP) entre a armadura e o concreto, foi utilizado água destilada e sulfato de cobre para colocar dentro do eletrodo de referência que foi ligado ao voltímetro com a conexão negativa, a positiva foi conectada na armadura. Antes do ensaio deve molhar o concreto para diminuir sua resistividade elétrica, na armadura deve molhar e usar uma escova de aço para retirar possíveis restos de concreto que pode influenciar nos resultados, para finalizar o ensaio é preciso saturar uma esponja e aperta-la contra o concreto com o eletrodo de referência para finalmente obter o resultado no voltímetro, conforme apresentado na Figura 11.

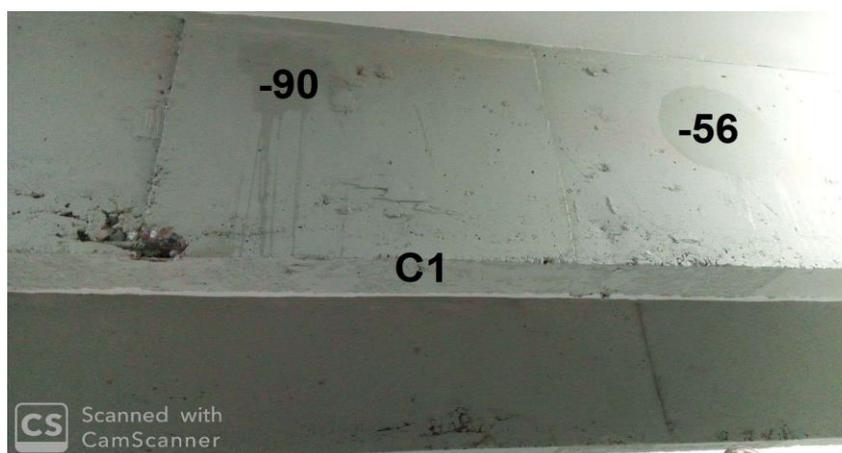


Figura 11 - Ensaio de potencial de corrosão – Ponto C1
Fonte: Autor (2019)

A localização dos testes está demonstrada nas Figuras 1 e 2, os resultados foram:

C1 – Viga: Primeiro teste = -90; segundo teste = -56.

C2 – Viga: Único teste = -188 (Anexo 16 e 10, antes e depois do teste respectivamente).

C3 – Laje: Único teste = -51.

C4 – Viga: Primeiro teste = -213; segundo teste = -240; terceiro teste = -225.

C5 – Parapeito: Único teste = -428.

C6 – Parapeito: Único teste = -399.

C7 – Parapeito: Único teste = -366.

C8 – Parapeito: Único teste = -383.

De acordo com os parâmetros estabelecidos na Tabela 4, os pontos C1, C2 e C3 estão com ausência de corrosão pois seus resultados foram maiores que -200, logo é classificado como “ausência de corrosão”, já no ponto C4 os resultados foram menores que -200, a armadura perdeu a passivação e o processo de corrosão iniciou. Entretanto nos pontos C5, C6, C7 e C8 os resultados foram menores que -350 indicando que a corrosão

está ativa de condição inaceitável. Todos esses resultados estão representados nas Figuras dos anexos 9 a 15.

Em seu trabalho Ferreira (2016, p. 55) afirma que o diagnóstico é: a corrosão da armadura devido a carbonatação provoca manifestações como deslocamento e fissura do concreto, exposição e perda de seção transversal da armadura que teve como agente agravante a falta de espessura adequada de cobertura da armadura na etapa da construção, ocasionando consequências como falta de aderência entre a armadura e o concreto, resultando a queda da resistência mecânica e posteriormente ruína e colapso da estrutura.

Em seu trabalho Zuchetti (2015, p. 84) afirma que os estágios para reparo das vigas deve seguir esta ordem; o primeiro passo é remover todo o concreto contaminado pela frente de carbonatação, expondo a ferragem e fazendo uma limpeza nela com escova de aço ou jatos de areia ou alguma outra técnica que consiga a mesma finalidade, caso apresente armadura com seção transversal reduzida em 10% esta deve substituída, em seguida é necessário fazer a imprimação da armadura, utilizar material acrílico para ponte de aderência, aplicação do graute, fibra ou aditivos ou argamassas inibidores de corrosão, depois cura e finalmente aplicação de tinta protetora.

Conclusão

O edifício analisado apresentou boa resistência à compressão e o resultado do teste de carbonatação mostrou que o concreto é de boa qualidade, porém a falta da utilização de espaçadores na construção do edifício ocasionou cobertura insatisfatório das armaduras. Em alguns pontos onde a armadura ficou exposta por má vibração do concreto não houve a despassivação da armadura devido a tinta utilizada na pintura servir como proteção física, ou seja, ela é mais uma barreira contra a carbonatação (Anexo16). No Anexo 17 é possível observar que foi realizado um reparo em uma junta de dilatação, porém a cor alaranjada significa que o processo de corrosão não foi contido e este trabalho contribui para futuros reparos, reforços e reformas no edifício, pois os resultados mostraram locais onde a corrosão está inaceitável e onde está apenas começando influenciando diretamente na conduta correta a ser adotada.

Referências

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Método de teste padrão para potenciais de meia-célula de aço de reforço não revestido em concreto**; especificação; C. 876-91:1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Ensaios não destrutivos. Concreto endurecido-Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão: Prescreve o método para avaliação da dureza supverficial do concreto endurecido pelo uso do esclerômetro de reflexão**; especificação; NBR 7584:1978.

_____. **Manutenção de edificações – Requisitos para o sistema de gestão de manutenção**; especificação; NBR 5674:2012.

_____. **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**; especificação; NBR 6118:2014.

BELLAGUARDA, I. L.; MORESI, C. C. **Metodologia eficiente para a detecção de corrosão em estruturas de concreto armado**. Artigo - Universidade Católica de Brasília, DF, 2016

CARACAS, A. C.; DÓRIS, D.; LIMA, D. P. B.; DOMINGUES, N. N. F.; SCHIESSL, R. A.; ASSUNÇÃO, S. T. **Ensaios não destrutivos para avaliar a durabilidade do concreto**. Disponível em:
http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/c/c5/04_Ensaios_n%C3%A3o_destrutivos.pdf. Acesso em 20 de Abril de 2019.

CASCUDO, Oswaldo. O controle da corrosão de armaduras em concreto: Inspeção e técnicas eletroquímicas. São Paulo: Pini, 1997.

CUNHA, A. C. Q.; HELENE, P. R. L. **Despassivação das armaduras de concreto por ação da carbonatação**. Boletim Técnico – Escola Politécnica Universidade de São Paulo, SP, 2001.

DO CARMO, Paulo Obregon. Patologia das construções. Santa Maria, Programa de atualização profissional – CREA – RS, 2003.

FERREIRA, Í. K. A. **Patologia em Estruturas de Concreto Armado: Estudo realizado nas edificações do Centro de Tecnologia Campus I da Universidade Federal da Paraíba**. Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Civil) CGEC./ Centro de Tecnologia / Campus I / Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, PB, 2016.

GIACOMELLI, D. V. **Principais Patologias Encontradas dos Prédio da UFSM Executados Pelo Programa REUNI**. Dissertação – UFSM / Centro de Tecnologia, Santa Maria, RS, 2016.

HELENE, P. R. L. **Contribuição ao Estudo da Corrosão em Armaduras de Concreto Armado**. Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica Universidade de São Paulo, SP, 1993.

HELENE, Paulo R. Do Lago. Manual de reparo, proteção e reforço de estruturas de concreto. São Paulo, Red Rehabilitar, 2003.

SAMPIERI, Roberto H. **Metodología de la investigación**. Cidade do México, 2006. Disponível em: <https://explorable.com/es/metodologia-de-la-investigacion>. Acesso em: 18 de Abril de 2019.

SANTOS, Luiz C. Pesquisa documental: Um procedimento metodológico. 2000, São Paulo. Disponível em:
http://www.lcsantos.pro.br/arquivos/32_PESQUISA_DOCUMENTAL01042010-175228.pdf>. Acesso em 18 de Abril de 2019.

Teodoru, G.V. **The use of Simultaneous Nondestructive Tests to Predict the Compressive Strength of Concrete**, Nondestructive Testing, Special Publication SP112, American Concrete Institute, Detroit, pp137-152, 1988.

THOMAZ, Ercio. **Trincas em edifício: Causas, prevenção e recuperação**. 1ª ed. São Paulo, Pini, 1989.

ZUCHETTI, P. A. B. **Patologias da Construção Civil: Investigação patológica em edifício corporativo de administração pública no vale do Taquari/RS**. Trabalho de Conclusão de Curso – Univates / Título em Bacharel em Engenharia Civil. Lajeado, Rs, 2015.

Anexos

Anexo 1 - Teste de Esclerometria no Pilar 1



Fonte: Autor (2019)

Anexo 2 - Teste de Esclerometria no Pilar 2



Fonte: Autor (2019)

Anexo 3 - Teste de Esclerometria no Pilar 3



Fonte: Autor (2019)

Anexo 4 - Teste de Esclerometria na Viga 1



Fonte: Autor (2019)

Anexo 5 - Teste de Esclerometria na Viga 2



Fonte: Autor (2019)

Anexo 6 - Teste de Esclerometria na Viga 3



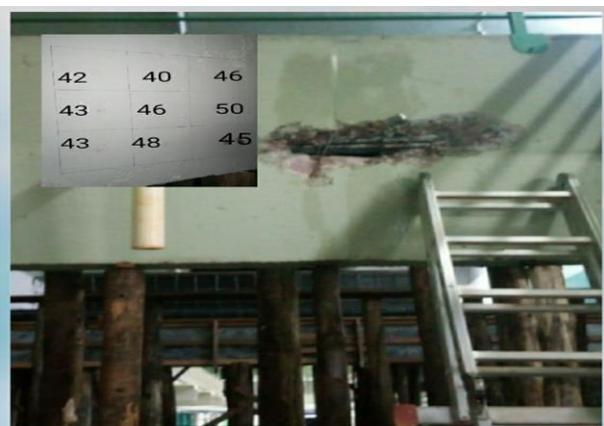
Fonte: Autor (2019)

Anexo 7 - Teste de Esclerometria na Viga 4



Fonte: Autor (2019)

Anexo 8 - Teste de Esclerometria na Viga 5



Fonte: Autor (2019)

Anexo 9 - Teste de Potencial de Corrosão (ponto C2)



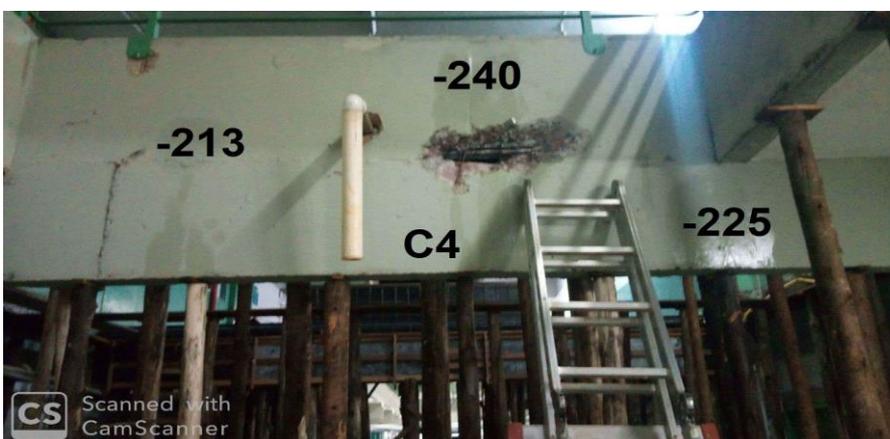
Fonte: Autor (2019)

Anexo 10 - Teste de Potencial de Corrosão (ponto C3)



Fonte: Autor (2019)

Anexo 11 - Teste de Potencial de Corrosão (ponto C4)



Fonte: Autor (2019)

Anexo 12 - Teste de Potencial de Corrosão (ponto C5)



Fonte: Autor (2019)

Anexo 9 - Teste de Potencial de Corrosão (ponto C6)



Fone: Autor (2019)

Anexo 10 - Teste de Potencial de Corrosão (ponto C7)



Fonte: Autor (2019)

Anexo 11 - Teste de Potencial de Corrosão (ponto C8)



Fonte: Autor (2019)

Anexo 12 – Armadura Exposta por Falta de Vibração



Fonte: Autor (2019)



UNIVERSIDADE
DE RIO VERDE



Anexo 13 - Reparos na Junta de Dilatação



Fonte: Autor (2019)