



**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL  
ÁREA DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**MARCOS LUIZ TAFAREL BORTOLOTTO**

**AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES CONSTRUTIVAS E ESTRUTURAIS DE UMA  
EDIFICAÇÃO INACABADA LOCALIZADA EM ANTÔNIO PRADO – RS**

**CAXIAS DO SUL  
2021**

**MARCOS LUIZ ATAFREL BORTOLOTTO**

**AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES CONSTRUTIVAS E ESTRUTURAIS DE UMA  
EDIFICAÇÃO INACABADA LOCALIZADA EM ANTÔNIO PRADO – RS**

Trabalho de conclusão de curso II  
apresentado como requisito parcial à  
obtenção do título de Engenheiro Civil pela  
Universidade de Caxias do Sul.

Orientador: Prof. Me. Mauricio Schafer

**CAXIAS DO SUL  
2021**

**MARCOS LUIZ TAFAREL BORTOLOTTO**

**AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES CONSTRUTIVAS E ESTRUTURAIS DE UMA  
EDIFICAÇÃO INACABADA LOCALIZADA EM ANTÔNIO PRADO – RS**

Trabalho conclusão de curso apresentado  
como requisito parcial à obtenção do título  
de Engenheiro Civil pela Universidade de  
Caxias do Sul.

**Aprovado em** \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**Banca Examinadora**

---

Prof. Me. Givanildo Garlet  
Universidade de Caxias do Sul

---

Prof. Me. Maurício Schafer  
Universidade de Caxias do Sul

---

Prof. Me. Vinício Cecconello  
Universidade de Caxias do Sul

Dedico este trabalho a todos que de alguma forma me ajudaram a passar por esta grande etapa de minha vida, meus amigos, colegas, namorada, em especial a meu pai, minha mãe, meu irmão e principalmente a Deus.



## **AGRADECIMENTOS**

Dou graças ao senhor Deus, porque ele é bom, e seu amor dura para sempre, a ele agradeço de modo especial, pois me destes força, sabedoria e condições de realizar este sonho em meio ao mundo conturbado que vivemos.

Agradeço a minha família, meu pai, Olimpio Bortolotto, que me ajudou a escolher este curso, que me ensinou quase tudo que sei até hoje, e a quem sinto muitas saudades, pois por vontade do senhor está descansando até que Jesus volte pela segunda vez nesta terra.

Agradeço a minha mãe, Genedir Tafarel Bortolotto, que sempre esteve ao meu lado, me ajudando da melhor maneira possível, me esperando nas madrugadas com o jantar pronto depois de um dia cansativo, e a quem sou eternamente grato.

Agradeço ao meu irmão, Marcelo José Tafarel Bortolotto, pela parceria e brincadeiras que deixavam o dia mais leve, e a quem desejo conviver de maneira abundante para sempre.

Agradeço a minha namorada, Sara Santos Ferreira, minha parceira para tudo, que está sempre ao meu lado, e a quem eu tenho muito orgulho.

Agradeço todos os meus professores, que me ajudaram a trilhar este caminho de forma vitoriosa.

Agradeço a todos os amigos que fiz durante este percurso, que me ajudaram quando preciso e a quem desejo levar para o resto de minha vida.

Também agradeço ao meu orientador, Maurício Schäfer, que me auxiliou da melhor maneira possível a concluir este trabalho.

“Não fui eu que ordenei a você? Seja forte e corajoso! Não se apavore nem desanime, o seu Deus, estará com você por onde você andar.”

**Josué 1:9**

## RESUMO

Bortolotto, M. L. T. **Avaliação das condições construtivas e estruturais de uma edificação inacabada localizada em Antônio Prado – RS.** Caxias do Sul, 2021. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul – RS.

Muitas obras na construção civil se encontram inacabadas, acarretando em si diversas manifestações patológicas provenientes da exposição prolongada a agentes agressivos que se encontram no ambiente, e conseqüentemente demandando uma avaliação técnica antes da continuidade segura do empreendimento. Tais avaliações são baseadas em dados coletados mediante ensaios realizados *in loco* e em laboratórios, destacando-se algumas metodologias entre outras, devido suas confiabilidades e modo de aplicação. O presente trabalho buscou avaliar as condições construtivas e estruturais de uma edificação inacabada a mais de vinte anos na cidade de Antônio Prado – RS. Tal avaliação foi realizada por meio de visitas *in loco*, mapeando os locais das manifestações, e ensaios de laboratório, buscando avaliar a resistência da estrutura como um todo, por meio de ensaio de esclerometria, avaliação da carbonatação e ensaios de compressão realizados com o auxílio de corpos de provas extraídos, identificando assim a influência da exposição as intempéries ao longo do tempo. Por fim uma comparação entre a resistência obtida e a resistência solicitada no projeto da época foi realizada, chegando-se à conclusão de que a estrutura já concebida se encontra apta frente a essa propriedade, em contrapartida deverá passar por um processo de recuperação em função das manifestações patológicas que possui.

**Palavras-chave:** condições, ensaios, avaliar, exposição, estrutura, inacabada, tempo.

## ABSTRACT

Bortolotto, M.L.T. Evaluation of the constructive and structural conditions of an unfinished building located in Antônio Prado – RS. Caxias do Sul, 2021. Final course work in Civil Engineering – University of Caxias do Sul, Caxias do Sul – RS.

Many works in civil construction are unfinished, resulting in various pathological manifestations arising from prolonged exposure to aggressive agents found in the environment, and consequently requiring a technical evaluation before the project can continue safely. Such evaluations are based on data collected through tests carried out in loco and in laboratories, highlighting some methodologies, among others, due to their reliability and mode of application. The present work aimed to evaluate the constructive and structural conditions of an unfinished building for more than twenty years in the city of Antônio Prado – RS. This evaluation was carried out through on-site visits, mapping the sites of the demonstrations, and laboratory tests, seeking to assess the strength of the structure as a whole, through sclerometry test, carbonation evaluation and compression tests carried out with the aid samples extracted, thus identifying the influence of exposure to weather over time. Finally, a comparison between the resistance obtained and the resistance required in the project at the time was carried out, reaching the conclusion that the structure already designed is suitable for this property, on the other hand, it will have to undergo a recovery process depending on the pathological manifestations that it has.

**Keywords:** conditions, tests, evaluate, exposure, structure, unfinished, time.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura porosa do concreto .....	23
Figura 2 – Microclima e ações atuantes nas edificações .....	25
Figura 3 – Classes de agressividade .....	27
Figura 4 – Correlação entre água/cimento e classes de agressividade .....	28
Figura 5 – Correlação entre cobrimento e classes de agressividade .....	28
Figura 6 – Fatores de degradação e efeitos sobre o desempenho .....	30
Figura 7 – Vidas úteis de projetos mínimas .....	33
Figura 8 – Representação do circuito de um pulso no ensaio de ultrassom .....	37
Figura 9 – Exemplo de esclerômetro .....	37
Figura 10 – Fluxograma da pesquisa .....	39
Figura 11 – Localização da edificação .....	41
Figura 12 – Vista em perspectiva da fachada nordeste .....	41
Figura 13 – Vista em perspectiva da fachada noroeste .....	42
Figura 14 – Foto atual do empreendimento .....	42
Figura 15 – Vista em perspectiva da fachada nordeste .....	46
Figura 16 – Planta Baixa Nível 1 (segundo subsolo) .....	47
Figura 17 – Planta Baixa Nível 2 (primeiro subsolo) .....	48
Figura 18 – Planta Baixa Nível 3 (térreo) .....	48
Figura 19 – Corpos de prova extraídos .....	102

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de vida útil .....	32
Tabela 2 – Resultados esclerometria .....	94
Tabela 3 – Resultados ensaios de compressão .....	103

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Manifestações Patológicas no Nível 1 .....	50
Quadro 2 – Manifestações Patológicas no Nível 1 .....	50
Quadro 3 – Manifestações Patológicas no Nível 1 .....	51
Quadro 4 – Manifestações Patológicas no Nível 1 .....	51
Quadro 5 – Manifestações Patológicas no Nível 1 .....	52
Quadro 6 – Manifestações Patológicas no Nível 1 .....	52
Quadro 7 – Manifestações Patológicas no Nível 1 .....	53
Quadro 8 – Manifestações Patológicas no Nível 1 .....	53
Quadro 9 – Manifestações Patológicas no Nível 1 .....	54
Quadro 10 – Manifestações Patológicas no Nível 1 .....	54
Quadro 11 – Manifestações Patológicas no Nível 2 .....	55
Quadro 12 – Manifestações Patológicas no Nível 2 .....	56
Quadro 13 – Manifestações Patológicas no Nível 2 .....	56
Quadro 14 – Manifestações Patológicas no Nível 2 .....	57
Quadro 15 – Manifestações Patológicas no Nível 2 .....	57
Quadro 16 – Manifestações Patológicas no Nível 2 .....	58
Quadro 17 – Manifestações Patológicas no Nível 2 .....	58
Quadro 18 – Manifestações Patológicas no Nível 2 .....	59
Quadro 19 – Manifestações Patológicas no Nível 2 .....	59
Quadro 20 – Manifestações Patológicas no Nível 2 .....	60
Quadro 21 – Manifestações Patológicas no Nível 2 .....	60
Quadro 22 – Manifestações Patológicas no Nível 2 .....	61
Quadro 23 – Manifestações Patológicas no Nível 2 .....	61
Quadro 24 – Manifestações Patológicas no Nível 2 .....	62
Quadro 25 – Manifestações Patológicas no Nível 2 .....	62
Quadro 26 – Manifestações Patológicas no Nível 2 .....	63
Quadro 27 – Manifestações Patológicas no Nível 2 .....	63
Quadro 28 – Manifestações Patológicas no Nível 2 .....	64
Quadro 29 – Manifestações Patológicas no Nível 2 .....	64
Quadro 30 – Manifestações Patológicas no Nível 2 .....	65
Quadro 31 – Manifestações Patológicas no Nível 2 .....	65

Quadro 32 – Manifestações Patológicas no Nível 2.....	66
Quadro 33 – Manifestações Patológicas no Nível 2.....	66
Quadro 34 – Manifestações Patológicas no Nível 2.....	67
Quadro 35 – Manifestações Patológicas no Nível 2.....	67
Quadro 36 – Manifestações Patológicas no Nível 2.....	68
Quadro 37 – Manifestações Patológicas no Nível 2.....	68
Quadro 38 – Manifestações Patológicas no Nível 2.....	69
Quadro 39 – Manifestações Patológicas no Nível 2.....	69
Quadro 40 – Manifestações Patológicas no Nível 2.....	70
Quadro 41 – Manifestações Patológicas no Nível 2.....	70
Quadro 42 – Manifestações Patológicas no Nível 2.....	71
Quadro 43 – Manifestações Patológicas no Nível 2.....	71
Quadro 44 – Manifestações Patológicas no Nível 2.....	72
Quadro 45 – Manifestações Patológicas no Nível 2.....	72
Quadro 46 – Manifestações Patológicas no Nível 2.....	73
Quadro 47 – Manifestações Patológicas no Nível 2.....	73
Quadro 48 – Manifestações Patológicas no Nível 2.....	74
Quadro 49 – Manifestações Patológicas no Nível 2.....	74
Quadro 50 – Manifestações Patológicas no Nível 2.....	75
Quadro 51 – Manifestações Patológicas no Nível 2.....	75
Quadro 52 – Manifestações Patológicas no Nível 2.....	76
Quadro 53 – Manifestações Patológicas no Nível 2.....	76
Quadro 54 – Manifestações Patológicas no Nível 2.....	77
Quadro 55 – Manifestações Patológicas no Nível 3.....	78
Quadro 56 – Manifestações Patológicas no Nível 3.....	78
Quadro 57 – Manifestações Patológicas no Nível 3.....	79
Quadro 58 – Manifestações Patológicas no Nível 3.....	79
Quadro 59 – Manifestações Patológicas no Nível 3.....	80
Quadro 60 – Manifestações Patológicas no Nível 3.....	80
Quadro 61 – Manifestações Patológicas no Nível 3.....	81
Quadro 62 – Manifestações Patológicas no Nível 3.....	81
Quadro 63 – Manifestações Patológicas no Nível 3.....	82
Quadro 64 – Manifestações Patológicas no Nível 3.....	82
Quadro 65 – Manifestações Patológicas no Nível 3.....	83



Quadro 66 – Manifestações Patológicas no Nível 3.....	83
Quadro 67 – Manifestações Patológicas no Nível 3.....	84
Quadro 68 – Manifestações Patológicas no Nível 3.....	84
Quadro 69 – Manifestações Patológicas no Nível 3.....	85
Quadro 70 – Manifestações Patológicas no Nível 3.....	85
Quadro 71 – Manifestações Patológicas no Nível 3.....	86
Quadro 72 – Manifestações Patológicas no Nível 3.....	86
Quadro 73 – Manifestações Patológicas no Nível 3.....	87
Quadro 74 – Manifestações Patológicas no Nível 3.....	87
Quadro 75 – Manifestações Patológicas no Nível 3.....	88
Quadro 76 – Manifestações Patológicas no Nível 3.....	88
Quadro 77 – Manifestações Patológicas no Nível 3.....	89
Quadro 78 – Manifestações Patológicas no Nível 3.....	89
Quadro 79 – Manifestações Patológicas no Nível 3.....	90
Quadro 80 – Manifestações Patológicas no Nível 3.....	90
Quadro 81 – Manifestações Patológicas no Nível 3.....	91
Quadro 82 – Manifestações Patológicas no Nível 3.....	91
Quadro 83 – Manifestações Patológicas no Nível 3.....	92
Quadro 84 – Carbonatação.....	97
Quadro 85 – Carbonatação.....	97
Quadro 86 – Carbonatação.....	98
Quadro 87 – Carbonatação.....	98
Quadro 88 – Carbonatação.....	99
Quadro 89 – Carbonatação.....	99
Quadro 90 – Carbonatação.....	100
Quadro 91 – Carbonatação.....	100
Quadro 92 – Carbonatação.....	101

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Manifestações no pavimento 1 .....	49
Gráfico 2 – Manifestações no pavimento 2 .....	55
Gráfico 3 – Manifestações no pavimento 3 .....	77
Gráfico 4 – Manifestações por níveis .....	92
Gráfico 5 – Manifestações na edificação .....	93
Gráfico 6 – Resultados esclerometria .....	95
Gráfico 7 – Comparativo esclerometria e ensaio de compressão .....	103

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>17</b>
1.1.	OBJETIVO	18
1.1.1.	<b>Objetivo Geral</b>	<b>18</b>
1.1.2.	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>18</b>
1.2.	JUSTIFICATIVA	18
1.3.	DELIMITAÇÃO	19
1.4.	DELINEAMENTO	20
<b>2.</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRAFICA</b>	<b>21</b>
2.1.	CONCRETO ARMADO	21
2.1.1.	<b>Concreto</b>	<b>22</b>
2.1.2.	<b>Aço</b>	<b>24</b>
2.2.	CONCRETO ARMADO AO LONGO DO TEMPO	26
2.2.1.	<b>Durabilidade</b>	<b>29</b>
2.2.2.	<b>Vida Útil</b>	<b>31</b>
2.3.	MÉTODOS AVALIATIVOS DO CONCRETO E DO AÇO	33
2.3.1.	<b>Semi - destrutivos</b>	<b>34</b>
2.3.1.1.	Extração de testemunhos	34
2.3.1.2.	Pull off	35
2.3.1.3.	Carbonatação	35
2.3.2.	<b>Não destrutivos</b>	<b>36</b>
2.3.2.1.	Ultrassonografia	36
2.3.2.2.	Esclerometria	37
2.3.2.3.	Pacometria	38
2.3.2.4.	Termografia	38
<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>39</b>
3.1.	ESCOLHA DO TEMA	40
3.2.	DEFINIÇÃO DO ESTUDO DE CASO	40
3.3.	LEVANTAMENTO DE SUBSIDIOS	43
3.3.1.	<b>Visita e mapeamento</b>	<b>43</b>
3.3.2.	<b>Ensaios</b>	<b>43</b>

3.3.2.1. Esclerometria .....	44
3.3.2.2. Carbonatação .....	44
3.3.2.3. Extração de testemunhos .....	45
<b>3.3.3. Análise dos resultados .....</b>	<b>45</b>
<b>4. RESULTADOS E ANÁLISES .....</b>	<b>46</b>
4.1. PROJETO x REALIZADOS .....	46
4.2. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS IDENTIFICADAS .....	49
<b>4.2.1. Pavimento nível 1 .....</b>	<b>49</b>
<b>4.2.2. Pavimento nível 2 .....</b>	<b>55</b>
<b>4.2.3. Pavimento nível 3 .....</b>	<b>77</b>
<b>4.2.4. Avaliação global das manifestações .....</b>	<b>92</b>
4.3. AVALIAÇÃO POR ENSAIO DE CAMPO E LABORATÓRIO .....	94
<b>4.3.1. Esclerometria .....</b>	<b>94</b>
<b>4.3.2. Carbonatação .....</b>	<b>96</b>
<b>4.3.3. Extração de testemunhos .....</b>	<b>102</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>105</b>
<b>REFÊRENCIAS .....</b>	<b>108</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>112</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O concreto é o compósito mais utilizado do mundo, estimou-se em 2009 que 11 bilhões de toneladas eram consumidas anualmente, ou seja, aproximadamente 1,9 toneladas de concreto por habitante por ano, sendo o segundo material mais consumido do mundo, depois da água. No Brasil a geração de concreto girava em torno de 30 milhões de metros cúbicos por ano (PEDROSO, 2009).

Mesmo este sendo o material estrutural mais utilizado do mundo, suas características técnicas podem ser comprometidas caso haja o não cumprimento de requisitos mínimos para a boa concepção e manutenção dele. Os principais danos causados em estruturas que utilizam esse compósito como matéria prima base, provem principalmente por meio de agentes agressivos externos presentes no ambiente em que este está inserido (RECENA, 2014).

Medeiros, Andrade e Helene (2011), afirmam que os métodos de previsão de vida útil e o conhecimento da durabilidade do concreto são de extrema importância para auxiliar na previsão do comportamento dele ao longo do tempo. Os autores salientam a importância das manutenções e do acompanhamento da estrutura.

A avaliação em estruturas é uma importante ferramenta para que se possa prever a vida útil da edificação, bem como prevenir danos que muitas vezes podem ser irreparáveis. Este tipo de avaliação também se torna essencial para que se possa dimensionar reforços na estrutura caso haja necessidade nos piores dos casos (MARQUES, 2002).

Mediante tais informações, se faz importante estudos que visam entender e aplicar diferentes metodologias presentes no mercado atual para a correta avaliação e correção de estruturas onde suas características potenciais possam ter sido comprometidas devido ao prolongado tempo expostas no ambiente sem qualquer proteção. Muitas vezes este tipo de avaliação é negligenciado, porém isso pode acarretar grandes prejuízos futuros, não só financeiros, mas também a vida humana.

## 1.1. OBJETIVOS

Os objetivos do trabalho proposto podem ser divididos em dois itens, o objetivo geral, em que uma visão macro é apresentada, e os objetivos específicos, permitindo um maior detalhamento da proposta desta pesquisa.

### 1.1.1. Objetivo Geral

O objetivo geral desta pesquisa é avaliar se as condições construtivas, e de resistência estrutural de uma edificação inacabada, há mais de vinte anos, possui características compatíveis com as do projeto original.

### 1.1.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos desta pesquisa estão divididos da seguinte forma:

- a) Identificar através de uma inspeção “*in loco*” divergências entre o projeto previsto versus o realizado da estrutura em estudo;
- b) Verificar as propriedades técnicas da estrutura através de ensaios “*in loco*” e em laboratório;
- c) Avaliar o projeto estrutural original da época frente aos resultados obtidos na inspeção e nos ensaios laboratoriais.
- d) Identificar a influência da exposição ao longo do tempo através das manifestações patológicas presentes na estrutura inacabada;

## 1.2. JUSTIFICATIVA

Segundo o tribunal de contas da união (TCU), no Brasil existem mais de quatorze mil obras públicas inacabadas, apontando que seria preciso desembolsar perto de R\$ 40 bilhões para que elas fossem concluídas. Estes dados trazem à tona um grande problema nacional, são recursos captados e mal injetados que acabam por várias vezes sendo totalmente desperdiçados, já que grande parte dessas obras nunca serão concluídas de fato (CAVALCANTI, 2019).

Quando um empreendimento é paralisado antes que ocorra a aplicação de camadas como o chapisco, emboço, reboco e pintura, que além de servirem para o embelezamento da obra servem para a proteção do concreto estrutural contra agentes agressivos externos, fica obvia a exposição á intempéries, promovendo assim altos índices de manifestações patológicas ao longo do tempo. Sabendo disso, antes que uma obra submetida a estas condições seja retomada, é prudente que seja realizada uma avaliação das condições construtivas e estruturais por um profissional habilitado, evitando assim possíveis complicações no futuro.

A obra estudada em questão se situa na cidade de Antônio Prado – RS, que conta com uma população estimada de 12.833 habitantes segundo o IBGE, localizada no meio urbano a classe de agressividade conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014) é considerada moderada. Este empreendimento está paralisado há mais de vinte anos por falta de recursos financeiros, sabe-se que no momento de sua paralização ele se encontrava em perfeitas condições, porém devido ao elevado intervalo de tempo em que a obra está inerte faz-se necessário um estudo de suas condições para que um futuro empreendimento possa ser considerado ocupando a estrutura já constituída até então.

### 1.3. DELIMITAÇÃO

A pesquisa reserva-se ao estudo de uma estrutura inacabada, no município de Antônio Prado - RS. Vistorias e ensaios foram realizados para a obtenção das características técnicas presentes na edificação, com intuito de investigar as propriedades mecânicas da estrutura, e uma comparação direta com o projeto original do empreendimento datado de 1997 foi realizada, buscando detectar através de manifestações patológicas presentes a influência da exposição da estrutura aos meios externos sem a correta proteção.

#### 1.4. DELINEAMENTO

O presente trabalho é apresentado em cinco capítulos, sendo eles: introdução, revisão bibliográfica, metodologia, resultados e análises e considerações finais.

No primeiro capítulo foi abordado o tema da pesquisa, objetivos gerais e específicos, a justificativa e a delimitação dele.

O segundo capítulo compreende os conceitos referentes a concreto armado, sua durabilidade e a influência de sua exposição ao tempo, bem como outros assuntos englobados neste tema.

Já no terceiro capítulo é apresentada a metodologia utilizada para a realização da pesquisa, planejamento, determinação dos ensaios, bem como a manipulação dos dados coletados.

No quarto capítulo foram apresentados todos os resultados obtidos a partir das visitas efetuadas ao empreendimento, ensaios realizados *in loco*, bem como os ensaios realizados em laboratório, uma análise destes também foi elaborada.

Finalmente no quinto capítulo as considerações finais foram expressas, de forma a cumprir com o intuito proposto pelo presente trabalho.



## 2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

Neste capítulo estão abordados assuntos relacionados ao concreto armado, com vistas a durabilidade, em função da exposição ao tempo, buscando dar um prévio entendimento a respeito de propriedades, características, conceitos e definições dentro da temática. Na parte inicial, a abordagem é relacionada ao concreto armado, após isso características do mesmo ao longo do tempo, fechando com as metodologias de ensaios de avaliação de estruturas de concreto armado.

### 2.1. CONCRETO ARMADO

A grande utilização do concreto armado nas mais diversas obras da construção civil se deve a algumas características que o tornam um compósito único. Características como a praticidade na execução dos mais diversos tipos de elementos, a disponibilidade vasta dos materiais que o compõem e o baixo custo quando comparados com outros tipos de matérias estruturais, como o aço, dão a ele esta característica (ANDRADE, 1997).

Pinheiro e Muzardo (2003), ressaltam que a aderência é uma das propriedades mais relevantes quando pensamos em concreto armado, é ela que possibilita o não escorregamento entre a barra de aço e o concreto. Juntamente com a compatibilidade de deformações entre estes, o concreto armado ganha características de resistência tanto a compressão como a tração. A ligação entre o aço e o concreto é indispensável frente ao comportamento estrutural como também é importante em relação a fissuração, que normalmente é provocada nos primeiros anos de vida do concreto, devido a retração e aos efeitos térmicos presentes no ambiente em que a estrutura está inserida (NEVILLE, 2016).

Segundo Pedroso (2009), o concreto pode ser denominado como uma pedra artificial, que após a hidratação tem suas características de resistência similar as de rochas. Outra característica importante é que este compósito possui uma elevada resistência a água, diferentemente da madeira e do aço que se deterioram mais facilmente frente a este agente.

Dentre todas as propriedades presentes no concreto a resistência a compressão é a mais valorizada em meio aos projetistas. Isso se deve em função da correlação que esta resistência tem frente a propriedades como durabilidade, porosidade e módulo de elasticidade. Outro fator que agrada é a facilidade de se avaliar esta resistência em laboratório (METHA e MONTEIRO, 2014).

### **2.1.1. Concreto**

Quando o concreto começou a ser empregado na construção civil, o meio técnico julgava não necessário maiores cuidados de manutenção com este produto, em função de suas excelentes características. Graças a isso, ele foi amplamente utilizado nos mais variados ambientes, sendo exposto as mais desfavoráveis condições. Contudo, ao passar dos anos esta ideia começou a ser questionada, pois observou-se um aumento significativo nas deteriorações de estruturas mais antigas (ANDRADE, 1997).

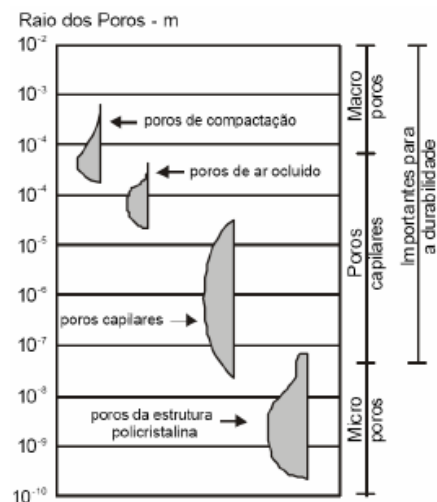
O concreto é um material que possui muitas características parecidas com as rochas, porém quando se trata de durabilidade, as rochas apresentam uma elevada resistência a agentes agressivos. Levando em consideração que a maior parte dos agregados são provenientes de rochas, quando ocorrem ataques ao concreto o componente mais afetado é a pasta de cimento (BRANDÃO, 1998).

Nos anos 60, para desenvolver um concreto com uma resistência a compressão de aproximadamente 30 MPa, eram necessários dosagens de cimento bem acima das que são praticadas atualmente, cerca de 450 kg/m<sup>3</sup>. Com o desenvolvimento de tecnologias que aprimoraram os meios de se produzir concreto, a indústria começou a ser capaz de constituir traços mais resistentes com uma menor relação água/cimento (a/c). No final da década de 80 o único parâmetro era a resistência a compressão, com isso a durabilidade, frente as intempéries, acabou ficando de lado (FERREIRA, 2000).

No momento da execução do concreto, o correto lançamento e sua vibração são de suma importância. Caso ocorra uma vibração exagerada pode haver exsudação, originando um acúmulo de água na transição agregado/pasta, aumentando o micro fissuramento interno da estrutura. Também pode ocorrer acúmulo de água na face externa do componente, que está em contato com a forma, aumentando pontualmente nesta região a relação a/c e elevando a permeabilidade do mesmo (SILVA FILHO, 1994).

A porosidade é um fator importante quando falamos de concreto, em função ao tamanho dos poros pode-se adotar uma classificação geral entre eles, classificando-os como macroporos, capilares e microporos. A rigor são os macroporos e os poros capilares que têm uma relevância significativa frente a durabilidade, como podemos observar na Figura 1, em poucas palavras, a resistência do concreto aos agentes externos é reduzida com os aumentos destes tipos de poros (FERREIRA, 2000).

Figura 1 – Estrutura porosa do concreto



Fonte: Ferreira (2000)

Atualmente uma correlação muito presente é a da permeabilidade e durabilidade frente a porosidade do compósito. Em outras palavras, quanto maior a porosidade do elemento mais ele está propício a entrada e saída de agentes externos, assim sendo a estrutura terá uma perda significativa de sua durabilidade, alterando diretamente sua vida útil (RIZZO, 2018).

Os concretos que apresentam uma menor relação a/c tendem a ser estruturas mais rígidas e resistentes. Quanto mais baixa a quantidade de água utilizada na mistura menor é a porosidade final, conseqüentemente havendo um ganho na capacidade do mesmo resistir as solicitações requeridas (GIDRÃO, 2015).

Segundo Castro (2002), o concreto é capaz de resistir tanto a compressões quanto á trações, quando se tratam de solicitações relativamente baixas, contudo é frente aos esforços de compressão que ele se destaca. Quando os esforços de tração aumentam consideravelmente o concreto passa a atingir sua resistência a tração máxima, fissurando, fazendo-se necessário o uso de aço para salientar esta demanda, já que é um material ao qual resiste de melhor forma a este tipo de esforço.

### **2.1.2. Aço**

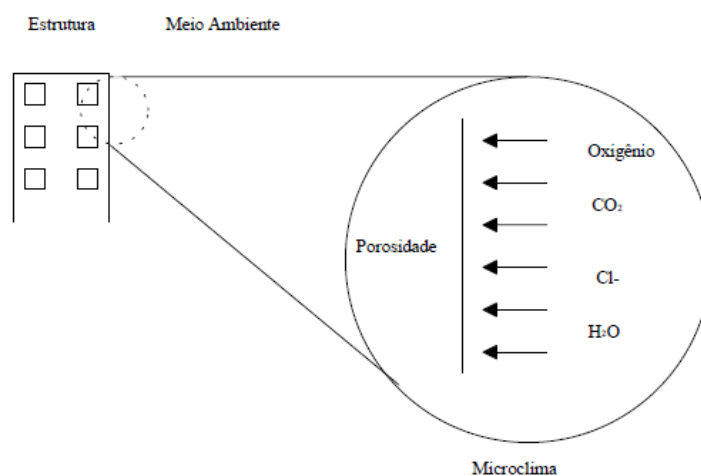
No Brasil a produção de vergalhões de aço para a construção civil é regulamentada pela NBR 7480 (ABNT, 2007), que estabelece características geométricas, de massa específica, massa linear, comprimento, mecânicas e de soldabilidade. A norma também classifica os tipos de vergalhões em três categorias, fazendo uma distinção quanto aos seus limites de escoamento, sendo elas:

- a) CA-25: Barras de aço lisas com limite de escoamento mínimo de 250 Mpa (25 kgf/mm<sup>2</sup>)
- b) CA-50: Barras de aço nervuradas com limite de escoamento mínimo de 500 Mpa (50 kgf/mm<sup>2</sup>)
- c) CA-60: Fios de aço lisos ou nervurados com limite de escoamento mínimo de 600 Mpa (60 kgf/mm<sup>2</sup>)

A categoria mais utilizada no mercado nacional é a CA-50, sabendo-se que a sigla CA é referente a uma abreviação de concreto armado (DAROIT, 2012).

Segundo Brandão (1998), todas as pessoas que de alguma forma estão envolvidas na obra devem deter de conhecimentos mínimos para tomadas de decisões corretas em meio ao empreendimento, visando a durabilidade dos elementos. O principal líquido dentre os que tem uma significativa relevância sobre a degradação do concreto armado é a água, e entre os principais gases que contribuem para a corrosão das armaduras estão o  $\text{CO}_2$  e  $\text{O}_2$ , na Figura 2 podemos observar uma ilustração destes agentes (AGUIAR, 2006).

Figura 2 – Microclima e ações atuantes nas edificações



Fonte: Andrade (1997)

A durabilidade de uma estrutura não depende somente do concreto, e sim de grande parte da armadura presente nestes elementos. O principal mecanismo que deteriora as armaduras é a corrosão, a degradação do concreto armado por corrosão da armadura é uma das manifestações patológicas mais comuns e graves que existem, se aprofundar e combater este tipo de degradação é essencial quando se busca uma maior durabilidade nos empreendimentos (BRANDÃO, 1998).

Quando falamos de manifestações patológicas estamos principalmente focando em materiais e métodos construtivos inadequados que causam estes tipos de problemas. Porém tudo isso é agravado quando adicionados ao fator tempo.

## 2.2. CONCRETO ARMADO AO LONGO DO TEMPO

Ao longo dos anos um grande número de pesquisas voltadas para a área de durabilidade nas edificações fora desenvolvido. Tal interesse se deve ao elevado número de patologias que estão sendo causadas pela combinação de ambientes agressivos e problemas estruturais, concebidos na execução dos elementos (ARANHA, 1994).

Segundo Brandão (1998), as condições ambientais em que o empreendimento está inserido correspondem as ações químicas e físicas, essas ações por sua vez podem ocasionando efeitos não inclusos no projeto. Caso estas condições sejam muito severas podem ocasionar ao longo do tempo até mesmo o colapso total da estrutura.

Aguiar (2006), reforça que a degradação superficial das estruturas em concreto está diretamente relacionada a aspectos ambientais, como o desgaste físico, a temperatura, a umidade e a lixiviação. As variações da temperatura das estruturas que estão expostas ao sol causam uma fissuração gradual nas áreas extremas. Ciclos de molhagem e secagem também geram fissuração e alterações na porosidade do concreto, sais penetram na estrutura por meio de poros e devido a entrada e saída de água ocorre uma hidratação e desidratação deles, levando a desintegração do elemento, com a permeabilidade sendo bastante influenciada.

Os fatores ambientais podem influenciar de maneira significativa o processo de deterioração das estruturas. Os mecanismos de transporte estão diretamente ligados com a porosidade do material, precisando destas passagens para realizar o transporte dos agentes agressivos ao interior da estrutura (SILVA FILHO, 1994).

A NBR 6118 (ABNT, 2014), estabelece diretrizes a serem seguidas quando a durabilidade de estruturas de concreto armado. A referida norma expõe as classificações de agressividades do ambiente, em que todos os empreendimentos devem se adequar. A norma também traz outros procedimentos que auxiliam na correta execução dos elementos visando sua maior qualidade.

A agressividade do ambiente em que as estruturas estão expostas está principalmente relacionado a ações físicas e químicas presentes naquele determinado meio. As obras devem ser classificadas seguindo a Figura 3 conforme a norma. (ABNT NBR 6118, 2014).

Figura 3 – Classes de agressividade

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 <sup>a, b</sup>	Pequeno
III	Forte	Marinha <sup>a</sup> Industrial <sup>a, b</sup>	Grande
IV	Muito forte	Industrial <sup>a, c</sup> Respingos de maré	Elevado

<sup>a</sup> 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).

<sup>b</sup> 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.

<sup>c</sup> Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: NBR 6118 (2014)

A qualidade do concreto tem uma importância relevante quando se trata de sua durabilidade, resistindo melhor frente a agentes externos agressivos presente no ambiente em que o elemento está inserido. Segundo a norma NBR 6118 (ABNT, 2014), deve-se adotar os requisitos mínimos de acordo com a Figura 4 em relação a proporção água/cimento, que está diretamente ligada a qualidade do concreto.

Figura 4 – Correlação entre água/cimento e classes de agressividade

Concreto <sup>a</sup>	Tipo <sup>b, c</sup>	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

<sup>a</sup> O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.  
<sup>b</sup> CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.  
<sup>c</sup> CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014)

As armaduras são parte fundamental da estrutura de concreto armado, sendo assim seu cobrimento se torna de suma importância. Para garantir este cobrimento mínimo ( $C_{min}$ ), o projetista deve considerar o cobrimento nominal ( $C_{nom}$ ), e mais um acréscimo de tolerância, devido aos diversos fatores que podem influenciar essas medidas na hora de sua execução, sendo este acréscimo de 10 mm para obras casuais e de 5 mm para obras com um controle de qualidade mais rígido. A Figura 5 apresenta a correlação entre o cobrimento e a classe de agressividade do ambiente em que a obra está inserida (ABNT NBR 6118, 2014).

Figura 5 – Correlação entre cobrimento e classes de agressividade

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

<sup>a</sup> Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.  
<sup>b</sup> Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.  
<sup>c</sup> Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.  
<sup>d</sup> No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014)



O principal desafio do projetista é elaborar projetos econômicos conseguindo atender todas as exigências impostas pela norma, contudo pode-se dizer que muitas vezes estes profissionais devem se valer do bom senso, pois nem todas as situações do dia a dia estão abrangidas pela normalização. Um exemplo disto é no caso da classificação de agressividade, onde a norma enquadra uma cidade urbana de cem mil habitantes com uma cidade urbana de um milhão de habitantes da mesma maneira. Devendo, portanto, ser interpretado pelo profissional da forma mais coerente possível (RIZZO, 2018).

### **2.2.1. Durabilidade**

Segundo Aguiar (2006), a preocupação em torno da durabilidade do concreto nos últimos anos se dá por conta do aumento significativo das obras precocemente degradadas, outro fato que agrava esta estatística é que a maioria destas foram constituídas nos últimos 25 anos. Sendo assim, se prevê que em pouco tempo mais da metade dos recursos envolvendo a construção civil será destinado a recuperação de empreendimentos já existentes, abrindo uma gama de oportunidades para profissionais da área. Os principais fatores que causam manifestações patológicas em estruturas de concreto armado conforme Ferreira (2000), podem ser classificados em mecânicos, biológicos, químicos, físicos e eletromagnéticos, como são apresentados na Figura 6.

Figura 6 – Fatores de degradação e efeitos sobre o desempenho

Fator de degradação	Processo	Degradação
<b>Mecânicos</b>		
Carregamento estático	Deformação	Deflexão, fissuração, ruptura
Carregamento cíclico	Fadiga, deformação	Deflexão, fissuração, ruptura
Carregamento por impacto	Fadiga	Vibração, deflexão, fissuração, ruptura
<b>Biológicos</b>		
Microorganismos	Produção de ácido	Lixiviação
Bactéria	Produção de ácido	Lixiviação
<b>Químicos</b>		
Água pura	Lixiviação	Desagregação do concreto
Ácido	Lixiviação	Desagregação do concreto
Ácido e gases ácidos	Neutralização	Despassivação do aço
Dióxido de carbono	Carbonatação	Despassivação do aço
Cloretos	Penetração, destruição de camada de passivação	Despassivação do aço
Despassivação do aço + H <sub>2</sub> O + O <sub>2</sub>	Corrosão	Expansão do aço, perda de aderência
Tensão + cloretos	Corrosão do aço	Ruptura dos tendões de pré-esforço
Sulfatos	Pressão dos cristais	Desagregação do concreto
Agregados (sílica) + alcalis	Reação da sílica	Expansão, desagregação
Agregados (carbonato) + alcalis	Reação da carbonato	Expansão, desagregação
<b>Físicos</b>		
Variação de temperatura	Expansão / Contração	Deformação restringida
Varição de umidade	Retração e expansão	Deformação restringida
Baixa temperatura + água	Formação do gelo	Desagregação do concreto
Sal descongelante + geada	Transferência de calor	Destacamento do concreto
Gelo (mar)	Abrasão	Destacamento, fissuração
Trânsito	Abrasão	Desgaste e ruptura
Água corrente	Erosão	Danos superficiais
Água turbulenta	Cavitação	Cavidades
<b>Eletromagnéticos</b>		
Eletricidade	Corrosão	Expansão do aço, perda de aderência
Magnetismo	Corrosão	Expansão do aço, perda de aderência

Fonte: Ferreira (2000)

Sabe-se que na maioria dos casos a deterioração do concreto armado acontece quando se unem dois ou mais fatores em um mesmo elemento, são processos que ocorrem devido as propriedades físico-químicas do composto. Estes processos comprometem a capacidade de o material cumprir suas funções, e em alguns casos não são visíveis a olho nu, na qual se destacam os problemas de fissuração o deslocamento e desagregação (AGUIAR, 2006).

Mehta e Monteiro (2014), afirmam que a durabilidade do concreto constituído através do cimento Portland é definida pela capacidade do elemento se restringir a ação das intempéries, abrasão, ataques químicos e outros processos de degradação. O concreto deve se conservar em sua forma original, capacidade de utilização e qualidade quando exposto ao meio ambiente.

Outro fator influenciador na durabilidade de uma estrutura é a temperatura externa do ambiente em que esta está inserido. Fator responsável pela velocidade das reações químicas, principalmente quando se diz respeito a corrosão das armaduras (FIGUEIREDO, 1994).

Muitos elementos concebidos em concreto armado estão sofrendo deteriorações precoces devido a erros cometidos na fase de execução e até mesmo na fase de projetos. Erros nas especificações dos materiais e dosagens, falta de reconhecimento da mão de obra, cura insuficiente, entre outros, acabam ocasionado a redução de vida útil da estrutura, uma vez que se destacam como principais componentes que levam a essa degradação precoce, a alta permeabilidade, a deficiência na camada de cobrimento das armaduras, e a baixa compactação (AGUIAR, 2006).

A NBR 15575-1 (ABNT, 2013) que trata sobre o desempenho de edificações relata que a durabilidade está diretamente relacionada ao custo da edificação, sabe-se que a durabilidade acaba se extinguindo a partir do momento em que os requisitos pré-estabelecidos no ato da compra não são mais atendidos, dando ao produto uma característica de estado insatisfatório de desempenho. Ainda segundo a norma o intervalo de tempo em que o produto é entregue e que ele deixa de atender seus requisitos pré-estabelecidos se chama vida útil.

### **2.2.2. Vida útil**

Até meados dos anos 80 as estruturas constituídas em concreto armado em geral eram mais robustas, esse fator se deve à evolução do concreto e de suas propriedades, que possibilitaram ao longo do tempo elementos mais esbeltos, que conseqüentemente causaram um menos cobrimentos as armaduras. A conseqüência direta do aumento da esbeltez foi a diminuição da durabilidade e da qualidade da estrutura, que é diferente da resistência da mesma (BRANDÃO, 1998). Segundo Helene (1993), existem tipos de vida útil, apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Tipos de vida útil

<b>Tipos de vida útil de uma estrutura</b>	
Vida útil do projeto	Nesta etapa, agentes agressivos como CO <sub>2</sub> , cloretos, sulfatos e outros, ainda estão tentando penetrar nas camadas de revestimento da armadura, sem causar danos a estrutura. Usualmente se adotam revestimentos que garantem 50 anos sem que os agentes ultrapassem estas camadas.
Vida útil de serviço	Neste momento as manifestações começam a ocorrer graças ao ataque de agentes agressivos as armaduras, patologias como fissuração e deslocamento começam a serem notadas.
Vida útil total	Corresponde ao colapso total ou parcial da estrutura.
Vida útil residual	É o período em que a estrutura irá desenvolver seu papel após uma intervenção/reforma.

Fonte: Helene (1993)

Deve-se salientar que a vida útil de uma edificação depende não somente do material empregado, mas também dos métodos construtivos utilizados e de sua execução no canteiro de obras (HELENE, 1993).

A vida útil de uma estrutura não é somente definida por aspectos com características estruturais, mais também por elementos construtivos não estruturais, como juntas, drenos, apoios, instalações bem-feitas entre outros. Estes tipos de elementos por si só normalmente tem uma vida útil menor do que a da estrutura, devendo ter as devidas manutenções afins de evitar problemas maiores (BRANDÃO, 1998).

Conforme a NBR 15575 (ABNT, 2013) a vida útil de uma edificação deve ser apresentada em projeto, atendendo períodos mínimos para cada um dos sistemas, podemos observar estes períodos na Figura 7.

Figura 7 – Vidas úteis de projeto mínimas

Sistema	VUP mínima em anos
Estrutura	≥ 50 Conforme ABNT NBR 8681
Pisos internos	≥ 13
Vedação vertical externa	≥ 40
Vedação vertical interna	≥ 20
Cobertura	≥ 20
Hidrossanitário	≥ 20
* Considerando periodicidade e processos de manutenção segundo a ABNT NBR 5674 e especificados no respectivo manual de uso, operação e manutenção entregue ao usuário elaborado em atendimento à ABNT NBR 14037.	

Fonte: NBR 15575 (2014)

Ainda segundo a NBR 15575 (ABNT, 2013) o edifício deve atender os requisitos de manutenibilidade, permitindo assim o bom procedimento quanto as inspeções e manutenções que devem ocorrer durante o tempo

### 2.3. MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DO CONCRETO ARMADO

Segundo Candian (2007), a caracterização dos elementos estruturais que necessitam de avaliações para possíveis intervenções são de extrema importância. Dados como resistência a compressão, modulo de elasticidade, taxa de armadura, homogeneidade do concreto e potencial de corrosão são alguns exemplos de características essenciais para a definição da avaliação.

A resistência do concreto é normalmente avaliada após um período de 28 dias, onde ocorre a total hidratação do compósito, porém em ocasiões especiais faz-se necessário avaliações em datas diferentes. Esta necessidade demanda a busca de novas metodologias seguras e de rápida execução para a leitura dos dados necessitados (CÂMERA, 2006).

Segundo Candian (2007), a combinação de ensaios destrutivos com ensaios semi-destrutivos possibilita uma melhor investigação. Isso acarreta a possibilidade de correlacionar valores obtidos por todos os métodos empregados, causando uma melhor qualidade e confiabilidade dos resultados.

No mercado encontramos uma ampla gama de métodos de ensaios, tanto semi-destrutivos como não destrutivos, porém há os que se destacaram ao longo do tempo, seja pela sua praticidade, confiabilidade ou até mesmo pelo seu custo-benefício. Abaixo estão relacionados os principais métodos avaliativos do concreto armado.

### **2.3.1. Semi-destrutivos**

Os ensaios semi-destrutivos são caracterizados pelo fato de necessitarem destruir parte da estrutura para que a aplicação deles sejam realizadas, na maioria dos casos essa destruição é relativamente pequena, não comprometendo a estrutura como um todo, estes tipos de ensaios são bastante confiáveis e muito utilizados. (CANDIAN, 2007)

#### **2.3.1.1. Extração de testemunhos**

A extração de testemunhos é considerada uma das técnicas mais comuns para avaliar estruturas de concreto, a principal vantagem deste tipo de metodologia consiste em seus resultados serem bastante precisos, porém apresentam desvantagens como alto custo, limitação da área investigada e necessidade de reparos (SAHUINCO, 2011).

Esta metodologia está estabelecida pela NBR 7680 (ABNT, 2015), estabelecendo critérios como dimensão e locais de onde devem ser extraídos os testemunhos, o ensaio de compressão e a formação de lotes, além dos coeficientes de correlação. O objetivo deste ensaio é poder identificar a resistência a compressão, porosidade, carbonatação, massa específica e módulo de elasticidade, entre outras características do concreto de uma estrutura antiga.

Segundo Cánovas (1998, apud CANDIAN, 2017), os corpos de prova extraídos e ensaiados em laboratório podem apresentar uma resistência inferior a corpos de prova moldado *in loco*, isso ocorre devido a condições não ideais de adensamento e cura durante a etapa de construção da obra. Além disso fatores que também contribuem para uma menor resistência apresentada são a dimensão dos testemunhos extraídos, as condições do contorno das peças.

### 2.3.1.2. Pull off

Este ensaio está diretamente relacionado com a ideia de que a força necessária para o arrancamento de um disco metálico colado na superfície do concreto está interligada com a resistência a compressão do componente. (CASTRO et al., 2009). A metodologia usada em concreto não é regularizada no Brasil, porém a NBR 13528 (ABNT, 2010) dá diretrizes para a execução deste ensaio no campo de argamassas.

Vários fatores interferem nos resultados obtidos com este ensaio, além das propriedades do concreto em si, fatores como a velocidade de aplicação da carga, orientação e posição do agregado, variação superficial e material, diâmetro e espessura do disco também são responsáveis pela saída de dados (PEREIRA, 1999).

Segundo Pereira e Medeiros (2012), devemos observar com atenção as normas a serem seguidas quando executamos esta metodologia, uma vez que a normatização para argamassas que encontramos no Brasil não leva em conta a interferência do agregado graúdo que é presente no concreto. Outro fato que também devemos observar é a presença de armaduras rentes à região onde será aplicada a tração, aconselhando-se o uso de equipamentos para localizar o aço e descartar as áreas onde o mesmo se encontrar presente.

### 2.3.1.3. Carbonatação

Segundo Pauletti (2019), a carbonatação é um processo físico-químico que através de reações com o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e outros gases ácidos, ocorre a substituição dos compostos do cimento. A principal reação ocasiona a redução do pH de 13 para aproximadamente 9.

Sahuinco (2011), afirma que para a determinação da profundidade de carbonatação consiste na aplicação de indicadores químicos para a observação das cores resultantes. O principal indicador químico empregado no ensaio de carbonatação é a fenolftaleína, que apresenta uma coloração rosa para materiais com um pH maior que 9,5 (PAULETTI, 2004).

A técnica de detecção de carbonatação é importante para se estimar a vida útil de uma estrutura. Com a diminuição do pH a camada que protege o aço dentro dos elementos é removida, criando assim condições ideais para que ocorra o início da corrosão das armaduras (RAMOS, 2019).

### **2.3.2. Não destrutivos**

Os ensaios não destrutivos são caracterizados pelo fato de não necessitarem destruir parte da estrutura para que as aplicações deles sejam realizadas, estes tipos de ensaios são os mais difundidos e com uma maior variação de metodologias.

#### **2.3.2.1. Ultrassonografia**

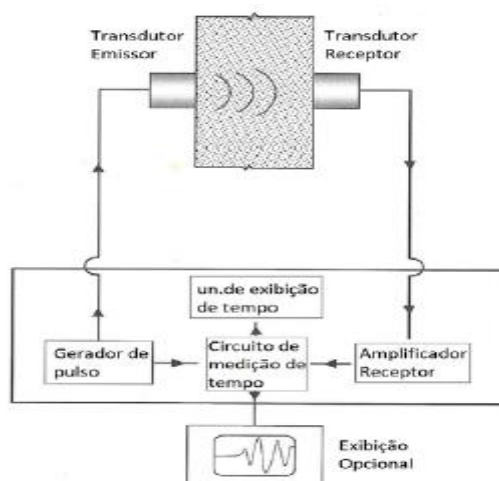
O ensaio de ultrassonografia já está consagrado no mercado, consistindo basicamente na medição do tempo em que ondas longitudinais percorrem determinada distância. Esta medição é realizada instalando dois transdutores, um emissor e o outro receptor, em contato com o concreto, fornecendo assim propriedades elásticas, de homogeneidade e possíveis danos presentes no elemento estrutural (NEVILLE, 2016).

Alguns cuidados devem ser tomados quando esta metodologia é aplicada a estruturas constituídas em concreto armado, pois o aço presente dentro destes componentes influencia significativamente a velocidade de propagação o pulso emitido (RAMOS, 2019).

Na Figura 8 podemos observar o esquema em que o ensaio é baseado, tendo em vista que ele é redigido e normalizado pela NBR 8802 (ABNT, 2019).



Figura 8 – Representação do circuito de um pulso no ensaio de ultrassom.

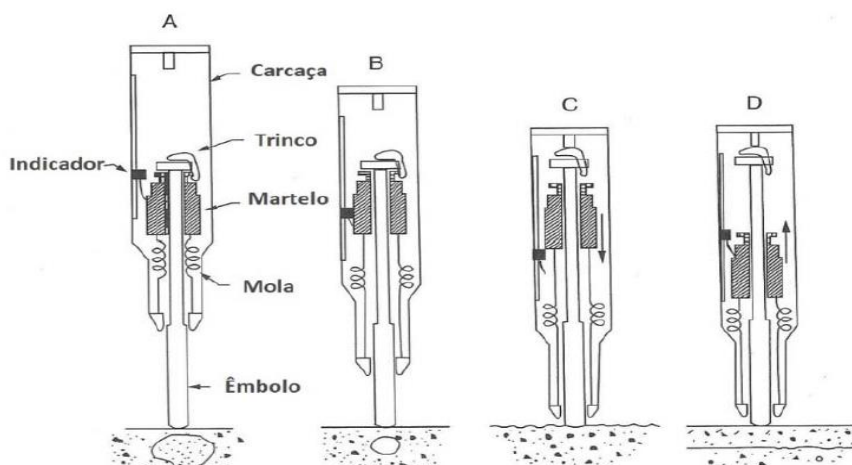


Fonte: Ramos (2019).

### 2.3.2.2. Esclerômetria

Um dos ensaios mais comuns no país é o ensaio de dureza superficial de Schmidt, esta metodologia consiste em um equipamento que causa um impacto na superfície do concreto, sabendo a massa e a energia com que o impacto ocorre avalia-se a resposta deste (CANDIAN, 2017). Na Figura 9 podemos observar uma ilustração do equipamento utilizado no ensaio, salientasse que todas as etapas devem seguir a norma NBR 7584 (ABNT, 2013) que rege este procedimento.

Figura 9 – Exemplo de esclerômetro.



Fonte: Ramos (2019).

Segundo Mehta e Monteiro (2014), esta metodologia pode ser considerada rápida, barata e simples. Com seu emprego obtemos a resistência a compressão do concreto e conseguimos identificação da fragilidade da estrutura, dando a ela uma característica de ensaio tanto quantitativo como qualitativo. Porém sua precisão pode variar de 15 a 25% nos casos em que os ensaios são feitos *in loco*, salientando a importância de o procedimento ser conduzido por um profissional capacitado.

#### 2.3.2.3. Pacômetria

Outro ensaio bastante utilizado em âmbito nacional é o que identifica a presença, profundidade, posição e diâmetro do aço dentro de elementos constituídos em concreto. A pacômetria consiste na geração de um campo eletromagnético, que quando se aproxima de um elemento metálico tem suas linhas de forças distorcidas, apontando a presença do material (CANDIAN, 2017).

#### 2.3.2.4. Termografia

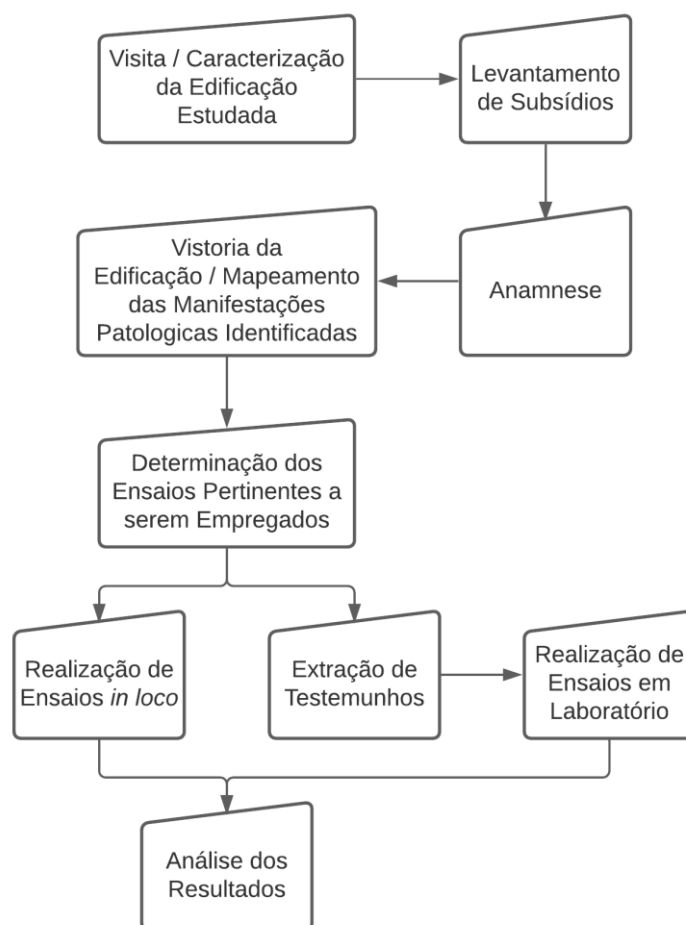
Segundo Garcia (2014), a termografia detecta as heterogeneidades presentes em um determinado corpo através da radiação infravermelha, sem precisar destruir o elemento em questão. Baseia-se na emissão da energia térmica emitida pela superfície do mesmo para identificar temperaturas que se encontram diferentes de um padrão pré-estabelecido.

Este ensaio é regulamentado no Brasil através da NBR 16818 (ABNT, 2020), que dá diretrizes quando aos procedimentos para aplicação do método. Utilizando uma câmera termográfica, o processo permite que tenhamos tanto uma análise qualitativa quanto uma análise quantitativa, a qualitativa é realizada de forma mais superficial, através da visualização dos termogramas, já a quantitativa, que permite maiores conclusões, é realizada de forma detalhada, levando em conta parâmetros como umidade, temperatura, distância e emissividade do material (GARCIA, 2014).

### 3. METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a forma de como esta pesquisa foi desenvolvida, expondo métodos e ensaios utilizados para a avaliação da estrutura estudada, bem como a forma de coleta e análise de dados obtidos. A presente pesquisa pode ser classificada quanto ao tipo como “aplicada” uma vez que segundo Gil (1999), a mesma tem o objetivo de resolver um problema real, buscando um objetivo final prático. Também pode ser classificada quanto a sua natureza como qualitativa ou quantitativa, já que conforme Cervo e Bervian (2002), o desenvolvimento deste tipo de pesquisa depende de uma interpretação mista para o mesmo ser adequadamente investigado. O fluxograma apresentado na Figura 10 retrata o formato de como esta pesquisa foi desenvolvida.

Figura 10 – Fluxograma da pesquisa



Fonte: Autor, 2021.

### 3.1. ESCOLHA DO TEMA

A escolha deste tema deve-se ao grande intervalo de tempo, cerca de vinte anos, que a edificação projetada para ser um hotel em Antônio Prado se encontra paralisada. Tal paralização pode trazer consigo diversos agravantes frente a manifestações patológicas, que por sua vez propiciam riscos a integridade da estrutura,

Segundo Andrade e Silva (2005), as manifestações patológicas identificadas na edificação, são função de dois aspectos principais, o tempo e as condições de exposição, associando estes aspectos os conceitos de durabilidade, desempenho e vida útil. Portanto, para uma possível retomada do empreendimento faz-se necessário uma investigação das reais condições da edificação.

### 3.2. DEFINIÇÃO DO ESTUDO DE CASO

O estudo de caso baseia-se em uma edificação situada na cidade de Antônio Prado – RS, inicialmente o empreendimento foi desenvolvido para se tornar um hotel, seus projetos são datados de 1997, mesmo ano em que a obra iniciou, com o intuito de ter um total de 3.373,00 m<sup>2</sup>, divididos em sete pavimentos. Sua paralização ocorreu aproximadamente três anos depois, por volta dos anos 2000, no terceiro pavimentos, com uma área de 1.500,00 m<sup>2</sup> constituídos até então, totalmente em concreto armado, em um ambiente que possui um nível de agressividade do tipo II de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014). Na Figura 11 está identificada a localização da edificação em estudo.

Figura 11 – Localização da edificação

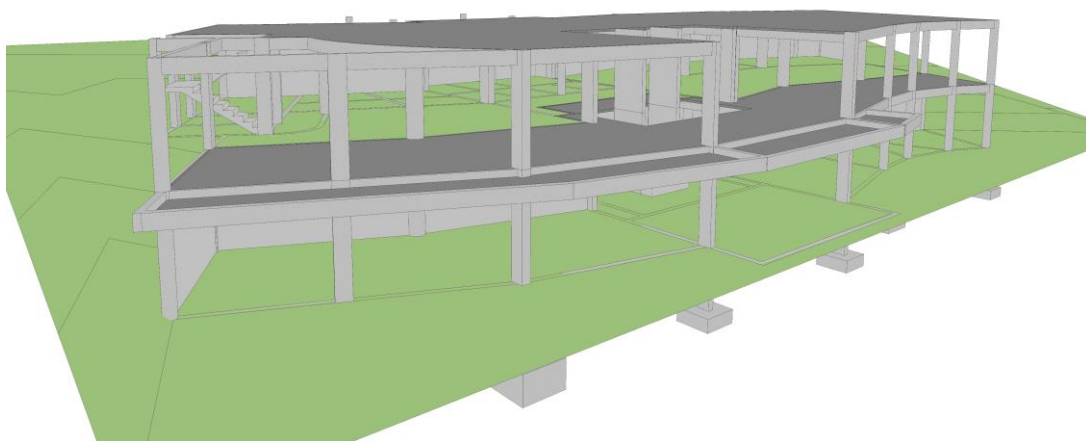


Fonte: Google Earth, 2021.

O método construtivo inicialmente empregado na edificação é de concreto armado, composto por pilares, vigas e lajes, elementos estes que tem como objetivo suportar sozinhos as cargas da edificação. Os fechamentos projetados na época eram de alvenaria cerâmica de vedação, revestida com chapisco emboco e reboco, e vidros, a edificação ainda contaria com um elevador panorâmico.

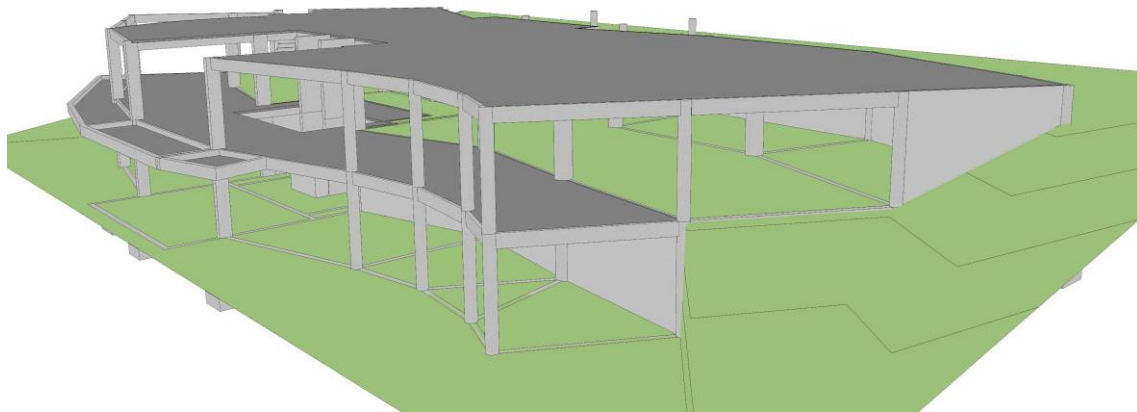
Para uma melhor interpretação da edificação o projeto original foi modulado no *software* Revit. Podemos observar a situação atual da construção nas Figuras 12, 13 e 14.

Figura 12 – Vista em perspectiva da fachada nordeste



Fonte: Autor, 2021.

Figura 13 – Vista em perspectiva da fachada noroeste



Fonte: Autor, 2021.

Figura 14 – Foto atual do empreendimento



Fonte: Autor, 2021.

A edificação estudada foi constituída sobre fundações do tipo sapata, também cabe dizer que parte da estrutura está diretamente em contato com o solo, uma vez que as lajes em cima das vigas baldrame ainda não foram executadas, e que existem dois níveis de cortinas de concreto, proporcionando o melhor aproveitamento do terreno.

### 3.3. LEVANTAMENTO DE SUBSÍDIOS

O levantamento de dados para o proposto estudo foi baseado na pesquisa bibliográfica apresentada anteriormente, sendo o trabalho dividido em cinco grandes etapas:

- a) Na primeira ocorreu uma visita ao local da edificação, para uma caracterização da mesma e de seu entorno.
- b) Posteriormente foi efetuada uma anamnese do empreendimento, realizando uma vistoria detalhada com o intuito de identificar visualmente e mapear as manifestações patológicas presentes na estrutura.
- c) O próximo passo se deu através da determinação dos ensaios que foram empregados, sendo realizados ensaios *in loco* e a extração de testemunhos para ensaios em laboratório.
- d) Após isso realizou-se os ensaios em laboratório.
- e) Por fim uma análise de todos os resultados obtidos foi empregada.

#### 3.3.1. Visita e mapeamento

Nesta etapa o objetivo é se familiarizar com o empreendimento e seu entorno, buscando mapear e caracterizar a edificação bem como as manifestações patológicas que poderão ser identificadas visualmente. Com o auxílio do *software Revit*, foi desenvolvido um mapa de danos, destacando o local onde as manifestações patológicas estão presentes, esse mapeamento também inclui o arquivamento de registros fotográficos para uma melhor compreensão da situação da edificação.

#### 3.3.2. Ensaios

Para uma melhor avaliação da estrutura em questão foram empregados diversos ensaios e diferentes metodologias, buscando uma coleta de dados mais diversificada, tornando assim o estudo mais confiável e consistente. Entre os ensaios, foram empregados os semi-destrutivos, como a extração de testemunhos e carbonatação, e os não destrutivos como a esclerometria.

### 3.3.2.1. Esclerometria

O ensaio de esclerometria, também conhecido como ensaio de dureza superficial, foi empregado neste estudo por um profissional capacitado, seguindo a NBR 7584 (ABNT, 2013) que rege este procedimento. Com a execução deste ensaio, além dos dados quantitativos, também obtivemos uma caracterização qualitativa quanto a fragilidade da estrutura, e através disso definimos os pontos de extração para o ensaio de resistência a compressão em laboratório. Levando em conta o mapeamento das manifestações patológicas elaborado, definiu-se vinte e quatro pontos para a realização do ensaio de esclerometria, buscou-se os locais visualmente mais danificado com o passar do tempo, pilares vigas e lajes, abrangendo os três níveis da edificação foram submetidos ao ensaio.

### 3.3.2.2. Carbonatação

Os ensaios de carbonatação foram realizados em diversos pontos da edificação, para a escolha de tais pontos levou-se em conta os resultados obtidos com a verificação da dureza superficial, sendo escolhidos os pontos mais frágeis e mais resistentes para uma futura comparação. Esse ensaio necessitou o uso do agente químico fenolftaleína, que apresenta uma coloração específica quando entra em contato com materiais que tenham um pH maior do que 9,5, sendo assim, a parte da estrutura em que a coloração não se alterou contatou-se a carbonatação.



### 3.3.2.3. Extração de testemunhos

A extração de testemunhos como dito anteriormente é uma das técnicas mais comuns e precisa para se avaliar a resistência do concreto, a extração ocorreu com o auxílio de pessoal capacitado e equipamentos específicos, conforme NBR 7680 (ABNT, 2015) que estabelece critérios como dimensão e locais de onde devem ser extraídos os testemunhos, o ensaio de compressão e a formação de lotes, além dos coeficientes de correlação. Com a extração do corpo de prova poderemos identificar a resistência a compressão real da estrutura em análise, a escolha dos locais de ensaio se deu de acordo com os ensaios de esclerometria, mas também se designou pontos em elementos ainda não ensaiados, escolhidos a partir dos mapeamentos das manifestações patológicas, buscando abranger o maior número de elementos possível, assim seis pontos de extrações foram definidos, sendo dois em pilares, dois em vigas e dois em lajes, com a finalidade de englobar todos os elementos presentes na edificação sem que haja danos a estrutura.

### 3.3.3. Análise dos resultados

Por fim uma análise dos dados obtidos foi realizada, contemplando todos os ensaios descritos, tendo como objetivo avaliar se a estrutura estudada está em plenas condições de receber as cargas projetadas da época em que ela foi consolidada. O intuito da avaliação é verificar qual é o estado atual da edificação, confrontar com os projetos originais e avaliar frente as normativas atuais. Com esta análise poderemos identificar a necessidade ou não de intervenções como reparos ou reforços estruturais, para a edificação.

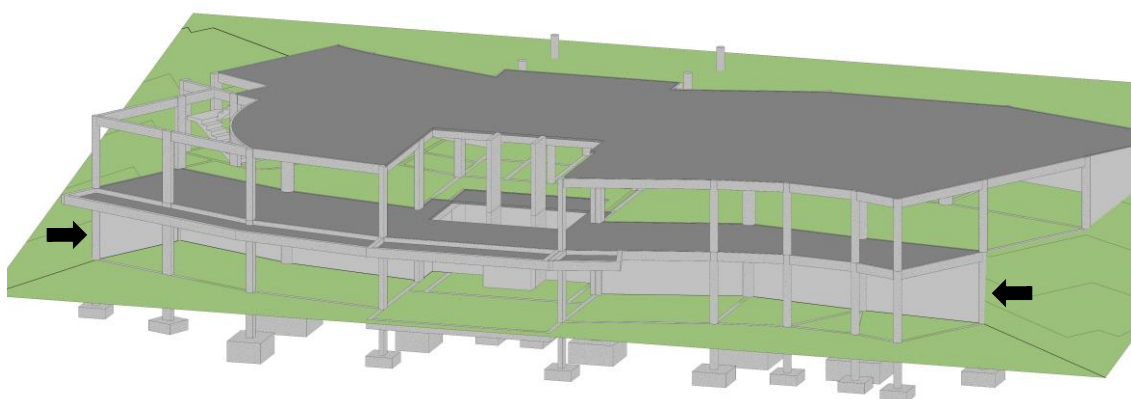
## 4. RESULTADOS E ANÁLISES

Para o desenvolvimento deste trabalho foram realizadas diversas vistorias *in loco*, com o intuito de comparar o projeto original da época com o empreendimento executado, buscando divergências entre ambos. As vistorias também foram de suma importância para a catalogação de todas as manifestações patológicas visualmente presentes na estrutura, resultando no mapeamento das áreas mais frágeis. Com estes locais devidamente identificados foram realizados ensaios de campo e a extração de corpos de prova para posteriores ensaios realizados em laboratório.

### 4.1. PROJETO x REALIZADO

Após uma anamnese realizada no empreendimento em questão, algumas divergências entre o projeto estrutural datado de 1997 e a estrutura consolidada *in loco* foram encontradas. Dentre elas a principal alteração foi a adição de um segundo subsolo, neste trabalho tratado como Nível 1, que possui aproximadamente 240,00 m<sup>2</sup>, podendo ser melhor observado de acordo com as indicações na Figura 15.

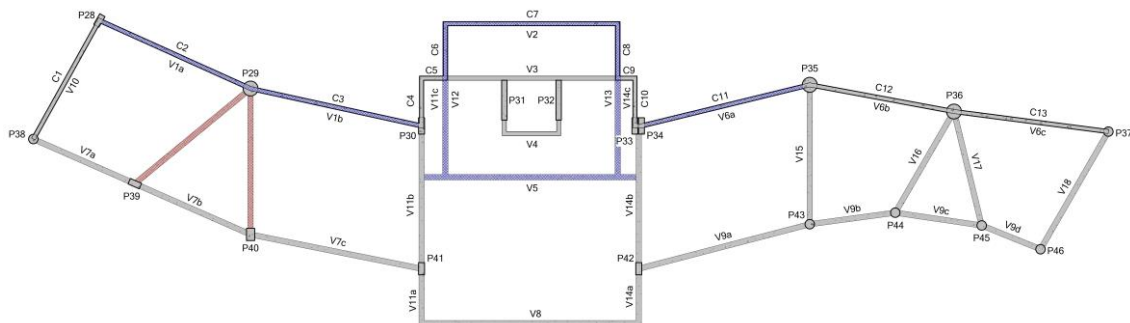
Figura 15 – Vista em perspectiva da fachada nordeste



Fonte: Autor, 2021.

O nível adicionado segue a topografia do terreno, e fez com que o empreendimento tivesse um melhor aproveitamento de área, além de ter diminuído a movimentação de terra necessária. Para a execução do pavimento adicional os projetos estruturais foram replicados, ou seja, a estrutura do primeiro subsolo foi copiada para a execução do segundo subsolo, com algumas alterações. Na Figura 16 podemos observar as alterações em questão, onde as estruturas em azul foram adicionadas em comparação ao projeto original e as estruturas em vermelho foram retiradas em comparação ao o projeto original, fora isso todas as dimensões de projeto foram rigorosamente seguidas sem nenhuma alteração.

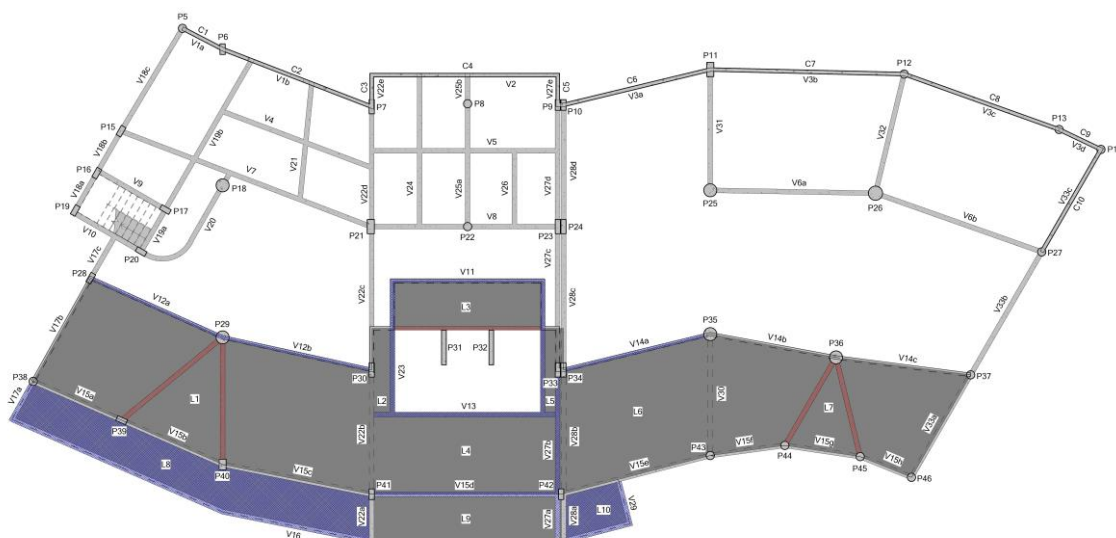
Figura 16 – Planta Baixa Nível 1 (segundo subsolo)



Fonte: Autor, 2021.

O primeiro subsolo, neste trabalho tratado como Nível 2, também apresentou algumas divergências em comparação ao projeto original, isso se deu justamente por causa da adição de um segundo subsolo, fazendo com que uma laje que inicialmente não estava projetada se tornasse necessária. Para a execução desta laje os projetos estruturais para o nível foram seguidos, com algumas alterações, entre elas a adição de uma sacada, que podemos observar na Figura 17, também podemos observar o resto das alterações, sendo que as estruturas em azul foram adicionadas em comparação ao projeto original e as estruturas em vermelho foram retiradas em comparação ao o projeto original, sem contar isso todas as dimensões de projeto foram rigorosamente seguidas sem nenhuma outra alteração.

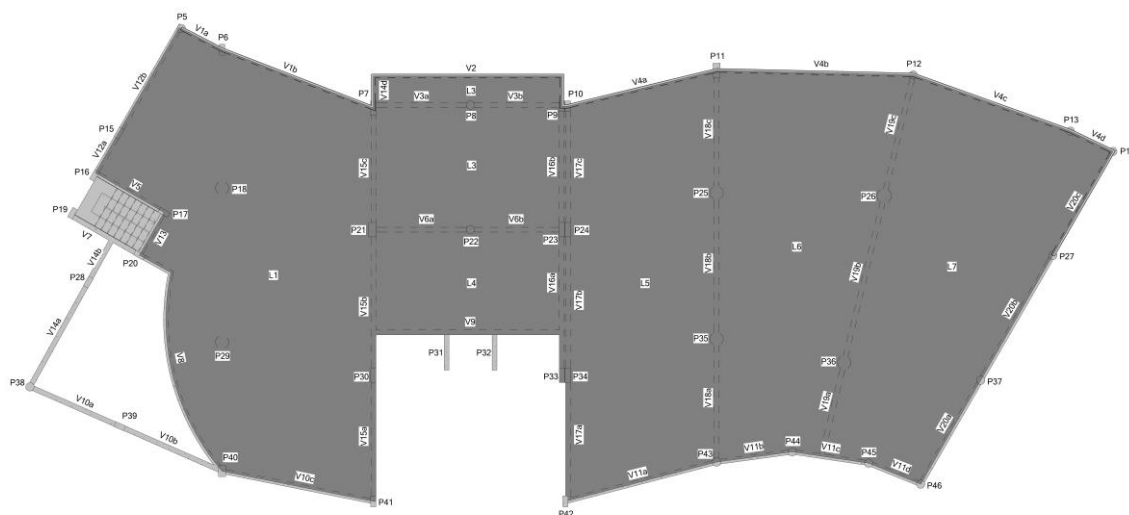
Figura 17 – Planta Baixa Nível 2 (primeiro subsolo)



Fonte: Autor, 2021.

O térreo, neste trabalho tratado como nível 3, não sofreu alteração alguma, seguindo rigorosamente com o projeto estrutural datado da época, na Figura 18 podemos observar a planta baixa do nível.

Figura 18 – Planta Baixa Nível 3 (térreo)



Fonte: Autor, 2021.

Conforme apresentado anteriormente, constatou-se algumas alterações significativas na estrutura já consolidada frente ao projeto estrutural original da obra, tais alterações podem não ter sido consideradas no dimensionamento da estrutura, possibilitando assim possíveis danos futuros, fazendo-se necessário um novo estudo avaliando a necessidade de reforços estruturais para que se garanta a estabilidade a edificação.

## 4.2. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS IDENTIFICADAS

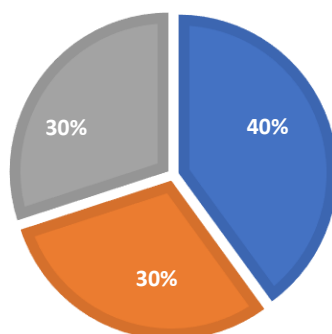
Através de uma inspeção visual enquadrando a totalidade da obra, foram identificadas manifestações patológicas presentes em pilares, lajes, vigas e cortinas de concreto. Este mapeamento foi primordial para a identificação das áreas mais frágeis da estrutura, que posteriormente nos auxiliou na decisão dos locais onde realizamos os ensaios de campo e nos locais onde extraímos os corpos de prova para ensaios em laboratório. Neste mapeamento também podemos visualizar as possíveis causas das manifestações.

### 4.2.1. Pavimento nível 1

Podemos observar no Gráfico 1 as porcentagens correspondentes das manifestações encontrados no primeiro pavimento da edificação, logo abaixo, do Quadro 1 ao 10 estão relacionadas as mesmas.


Gráfico 1 – Manifestações no pavimento 1

■ Falta de cobrimento ■ Segregação do concreto ■ Infiltração




Fonte: Autor, 2021.

Quadro 1 – Manifestações Patológicas no Nível 1

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Armadura exposta por falta de cobrimento	Falha na execução da concretagem	Pilar 34 – Nível 1
		

Fonte: Autor, 2021.


Quadro 2 – Manifestações Patológicas no Nível 1

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Armadura exposta por segregação do concreto	Falta de compatibilização entre o projeto de armação e o traço de concreto	Pilar 36 – Nível 1
		

Fonte: Autor, 2021.




Quadro 3 – Manifestações Patológicas no Nível 1

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Segregação do concreto	Adensamento insuficiente	Pilar 38 – Nível 1
		


Fonte: Autor, 2021.

Quadro 4 – Manifestações Patológicas no Nível 1

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Armadura exposta por falta de cobrimento	Falha na execução da concretagem	Pilar 39 – Nível 1
		


Fonte: Autor, 2021.

Quadro 5 – Manifestações Patológicas no Nível 1

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Reparo incorreto da armadura exposta por falta de cobrimento	Falha na execução da concretagem	Pilar 40 – Nível 1
		

Fonte: Autor, 2021.


Quadro 6 – Manifestações Patológicas no Nível 1

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Armadura exposta por falta de cobrimento	Ausência de espaçadores para garantir o cobrimento mínimo	Pilar 42 – Nível 1
		

Fonte: Autor, 2021.




Quadro 7 – Manifestações Patológicas no Nível 1

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Segregação do concreto	Adensamento insuficiente	Pilar 44 – Nível 1
		


Fonte: Autor, 2021.

Quadro 8 – Manifestações Patológicas no Nível 1

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Infiltração	Falha na execução de impermeabilização	Cortina 1 – Nível 1
		


Fonte: Autor, 2021.

Quadro 9 – Manifestações Patológicas no Nível 1

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Infiltração	Falha na execução de impermeabilização	Cortina 2 – Nível 1
		

Fonte: Autor, 2021.

Quadro 10 – Manifestações Patológicas no Nível 1

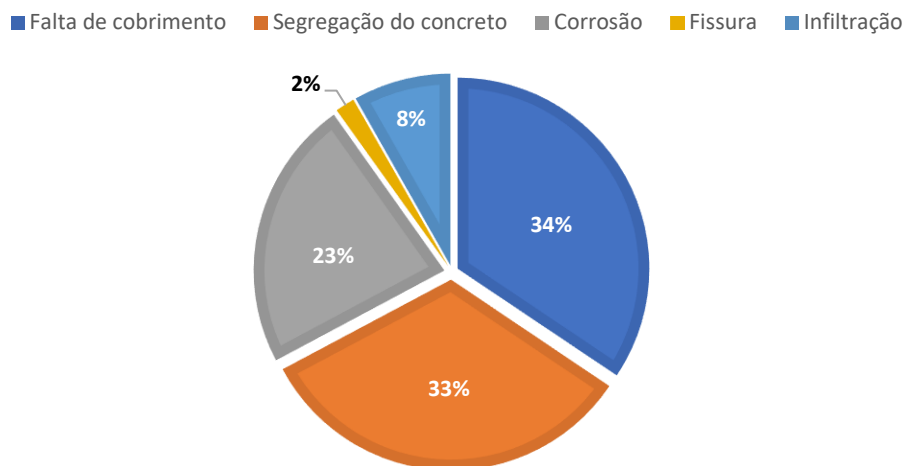
Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Infiltração	Falha na execução de impermeabilização	Cortina 4 – Nível 1
		

Fonte: Autor, 2021.

#### 4.2.2. Pavimento nível 2

Podemos observar no Gráfico 2 as percentagens correspondentes das manifestações encontrados no segundo pavimento da edificação, logo abaixo, do Quadro 11 ao 54 estão relacionadas as mesmas.

Gráfico 2 – Manifestações no pavimento 2



Fonte: Autor, 2021.

Quadro 11 – Manifestações Patológicas no Nível 2

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Armadura exposta por segregação do concreto	Falta de compatibilização entre o projeto de armação e o traço de concreto	Pilar 5 – Nível 2

Fonte: Autor, 2021.




Quadro 12 – Manifestações Patológicas no Nível 2

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Armadura exposta por segregação do concreto	Falta de compatibilização entre o projeto de armação e o traço de concreto	Pilar 15 – Nível 2
		


Fonte: Autor, 2021.

Quadro 13 – Manifestações Patológicas no Nível 2

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Armadura exposta por segregação do concreto	Ausência de espaçadores para garantir o cobrimento mínimo	Pilar 16 – Nível 2
		


Fonte: Autor, 2021.

Quadro 14 – Manifestações Patológicas no Nível 2

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Armadura exposta por segregação do concreto	Falta de compatibilização entre o projeto de armação e o traço de concreto	Pilar 18 – Nível 2
		


Fonte: Autor, 2021.

Quadro 15 – Manifestações Patológicas no Nível 2

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Armadura exposta por segregação do concreto	Ausência de espaçadores para garantir o cobrimento mínimo	Pilar 19 – Nível 2
		


Fonte: Autor, 2021.

Quadro 16 – Manifestações Patológicas no Nível 2

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Armadura exposta por falta de cobrimento	Ausência de espaçadores para garantir o cobrimento mínimo	Pilar 21 – Nível 2
		

Fonte: Autor, 2021.

Quadro 17 – Manifestações Patológicas no Nível 2

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Segregação do concreto	Lançamento incorreto do concreto, adensamento insuficiente ou escorrimento da massa do concreto pelas frestas da forma	Pilar 26 – Nível 2
		

Fonte: Autor, 2021.




Quadro 18 – Manifestações Patológicas no Nível 2

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Reparo incorreto da segregação do concreto	Falha na execução do reparo da segregação do concreto	Pilar 27 – Nível 2
		


Fonte: Autor, 2021.

Quadro 19 – Manifestações Patológicas no Nível 2

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Armadura exposta por segregação do concreto	Ausência de espaçadores para garantir o cobrimento mínimo	Pilar 33 – Nível 2
		

Fonte: Autor, 2021.

Quadro 20 – Manifestações Patológicas no Nível 2

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Armadura exposta por segregação do concreto	Falta de compatibilização entre o projeto de armação e o traço de concreto	Pilar 35 – Nível 2
		

Fonte: Autor, 2021.

Quadro 21 – Manifestações Patológicas no Nível 2

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Armadura exposta por segregação do concreto	Falta de compatibilização entre o projeto de armação e o traço de concreto	Pilar 36 – Nível 2
		

Fonte: Autor, 2021.




Quadro 22 – Manifestações Patológicas no Nível 2

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Reparo incorreto da segregação do concreto	Falha na execução do reparo da segregação do concreto	Pilar 37 – Nível 2
		


Fonte: Autor, 2021.

Quadro 23 – Manifestações Patológicas no Nível 2

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Armadura exposta por falta de cobrimento	Ausência de espaçadores para garantir o cobrimento mínimo	Pilar 38 – Nível 2
		


Fonte: Autor, 2021.

Quadro 24 – Manifestações Patológicas no Nível 2

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Armadura exposta por segregação do concreto	Adensamento insuficiente	Pilar 39 – Nível 2
		


Fonte: Autor, 2021.

Quadro 25 – Manifestações Patológicas no Nível 2

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Armadura exposta por segregação do concreto	Falta de compatibilização entre o projeto de armação e o traço de concreto	Pilar 40 – Nível 2
		

Fonte: Autor, 2021.

Quadro 26 – Manifestações Patológicas no Nível 2

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Armadura exposta por segregação do concreto e fissura	Adensamento insuficiente e corrosão da armadura por exposição ao ambiente	Pilar 42 – Nível 2
		

Fonte: Autor, 2021.

Quadro 27 – Manifestações Patológicas no Nível 2

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Armadura exposta por segregação do concreto	Adensamento insuficiente, falha na execução da concretagem e da estanqueidade da forma	Pilar 43 – Nível 2
		

Fonte: Autor, 2021.



Quadro 28 – Manifestações Patológicas no Nível 2

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Reparo incorreto da segregação do concreto	Falha na execução do reparo da segregação do concreto	Pilar 44 – Nível 2
		


Fonte: Autor, 2021.

Quadro 29 – Manifestações Patológicas no Nível 2

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Armadura exposta por falta de cobrimento	Ausência de espaçadores para garantir o cobrimento mínimo	Viga 13 – Nível 2
		


Fonte: Autor, 2021.

Quadro 30 – Manifestações Patológicas no Nível 2

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Segregação do concreto e corrosão da armadura por falta de cobrimento	Adensamento insuficiente e ausência de espaçadores para garantir o cobrimento mínimo	Viga 15a – Nível 2
		


Fonte: Autor, 2021.

Quadro 31 – Manifestações Patológicas no Nível 2

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Segregação do concreto e corrosão da armadura por falta de cobrimento	Adensamento insuficiente e ausência de espaçadores para garantir o cobrimento mínimo	Viga 15b – Nível 2
		


Fonte: Autor, 2021.

Quadro 32 – Manifestações Patológicas no Nível 2

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Corrosão da armadura por falta de cobrimento	Ausência de espaçadores para garantir o cobrimento mínimo	Viga 15c – Nível 2
		

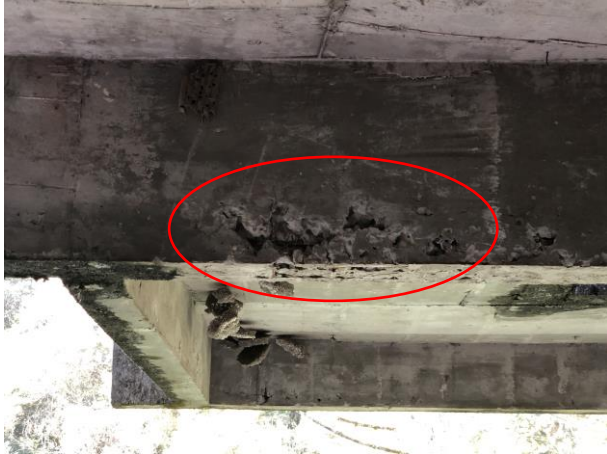
Fonte: Autor, 2021.

Quadro 33 – Manifestações Patológicas no Nível 2

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Corrosão da armadura por falta de cobrimento	Ausência de espaçadores para garantir o cobrimento mínimo	Viga 15d – Nível 2
		


Fonte: Autor, 2021.

Quadro 34 – Manifestações Patológicas no Nível 2

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Segregação do concreto	Adensamento insuficiente	Viga 15e – Nível 2
		

Fonte: Autor, 2021.

Quadro 35 – Manifestações Patológicas no Nível 2

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Armadura exposta por segregação do concreto	Falta de compatibilização entre o projeto de armação e o traço de concreto	Viga 15f – Nível 2
		

Fonte: Autor, 2021.




Quadro 36 – Manifestações Patológicas no Nível 2

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Armadura exposta por falta de cobrimento	Ausência de espaçadores para garantir o cobrimento mínimo	Viga 22b – Nível 2
		

Fonte: Autor, 2021.


Quadro 37 – Manifestações Patológicas no Nível 2

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Corrosão da armadura por falta de cobrimento	Ausência de espaçadores para garantir o cobrimento mínimo	Viga 22b – Nível 2
		

Fonte: Autor, 2021.




Quadro 38 – Manifestações Patológicas no Nível 2

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Corrosão da armadura por falta de cobrimento	Ausência de espaçadores para garantir o cobrimento mínimo e exposição a chuva	Viga 27a e 28a Nível 2
		


Fonte: Autor, 2021.

Quadro 39 – Manifestações Patológicas no Nível 2

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Corrosão da armadura por falta de cobrimento	Ausência de espaçadores para garantir o cobrimento mínimo e exposição a chuva	Viga 27b e 28b Nível 2
		


Fonte: Autor, 2021.

Quadro 40 – Manifestações Patológicas no Nível 2

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Armadura exposta por falta de cobrimento	Falta de concreto para garantir o cobrimento mínimo	Viga 27d – Nível 2
		


Fonte: Autor, 2021.

Quadro 41 – Manifestações Patológicas no Nível 2

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Armadura exposta por falta de cobrimento	Ausência de espaçadores para garantir o cobrimento mínimo	Viga 33a – Nível 2
		


Fonte: Autor, 2021.

Quadro 42 – Manifestações Patológicas no Nível 2

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Corrosão da armadura por falta de cobrimento	Ausência de espaçadores para garantir o cobrimento mínimo	Laje 1 – Nível 2
		

Fonte: Autor, 2021.


Quadro 43 – Manifestações Patológicas no Nível 2

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Infiltração	Ausência de impermeabilização e exposição a chuva	Laje 2 – Nível 2
		

Fonte: Autor, 2021.




Quadro 44 – Manifestações Patológicas no Nível 2

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Armadura exposta por falta de cobrimento	Falta de concreto para garantir o cobrimento mínimo	Laje 3 – Nível 2 Vista Superior
		


Fonte: Autor, 2021.

Quadro 45 – Manifestações Patológicas no Nível 2

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Corrosão da armadura por falta de cobrimento	Ausência de espaçadores para garantir o cobrimento mínimo e exposição a chuva	Laje 4 – Nível 2
		


Fonte: Autor, 2021.

Quadro 46 – Manifestações Patológicas no Nível 2

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Infiltração	Ausência de impermeabilização e exposição a chuva	Laje 5 – Nível 2
		


Fonte: Autor, 2021.

Quadro 47 – Manifestações Patológicas no Nível 2

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Corrosão da armadura por falta de cobrimento	Ausência de espaçadores para garantir o cobrimento mínimo	Laje 6 – Nível 2
		


Fonte: Autor, 2021.

Quadro 48 – Manifestações Patológicas no Nível 2

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Corrosão da armadura por falta de cobrimento	Ausência de espaçadores para garantir o cobrimento mínimo	Laje 7 – Nível 2
		

Fonte: Autor, 2021.


Quadro 49 – Manifestações Patológicas no Nível 2

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Corrosão da armadura por falta de cobrimento	Ausência de espaçadores para garantir o cobrimento mínimo e exposição a chuva	Laje 8 – Nível 2
		

Fonte: Autor, 2021.




Quadro 50 – Manifestações Patológicas no Nível 2

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Corrosão da armadura por falta de cobrimento	Ausência de espaçadores para garantir o cobrimento mínimo e exposição a chuva	Laje 9 – Nível 2
		


Fonte: Autor, 2021.

Quadro 51 – Manifestações Patológicas no Nível 2

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Corrosão da armadura por falta de cobrimento	Ausência de espaçadores para garantir o cobrimento mínimo e exposição a chuva	Laje 10 – Nível 2
		


Fonte: Autor, 2021.

Quadro 52 – Manifestações Patológicas no Nível 2

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Infiltração	Falha na execução de impermeabilização	Cortina 2 – Nível 2
		

Fonte: Autor, 2021.

Quadro 53 – Manifestações Patológicas no Nível 2


Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Infiltração	Falha na execução de impermeabilização	Cortina 4 – Nível 2
		

Fonte: Autor, 2021.



Quadro 54 – Manifestações Patológicas no Nível 2

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Infiltração	Falha na execução de impermeabilização	Cortina 8 – Nível 2



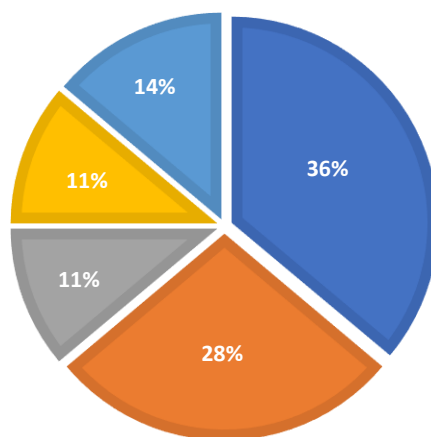
Fonte: Autor, 2021.

#### 4.2.3. Pavimento nível 3

Podemos observar no Gráfico 3 as porcentagens correspondentes das manifestações encontrados no terceiro pavimento da edificação, logo abaixo, do Quadro 55 ao 83 estão relacionadas as mesmas.

Gráfico 3 – Manifestações no pavimento 3

■ Falta de cobertura ■ Segregação do concreto ■ Infiltração ■ Fissura ■ Corrosão



Fonte: Autor, 2021.

Quadro 55 – Manifestações Patológicas no Nível 3

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Armadura exposta por segregação do concreto	Falta de compatibilização entre o projeto de armação e o traço de concreto	Viga 9 – Nível 3
		


Fonte: Autor, 2021.

Quadro 56 – Manifestações Patológicas no Nível 3

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Armadura exposta por falta de cobrimento	Ausência de espaçadores para garantir o cobrimento mínimo	Viga 10a – Nível 3
		

Fonte: Autor, 2021.

Quadro 57 – Manifestações Patológicas no Nível 3

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Armadura exposta por falta de cobrimento	Ausência de espaçadores para garantir o cobrimento mínimo	Viga 10b – Nível 3
		


Fonte: Autor, 2021.

Quadro 58 – Manifestações Patológicas no Nível 3

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Armadura exposta por falta de cobrimento	Ausência de espaçadores para garantir o cobrimento mínimo	Viga 10c – Nível 3
		


Fonte: Autor, 2021.

Quadro 59 – Manifestações Patológicas no Nível 3

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Segregação do concreto	Adensamento insuficiente	Viga 11a – Nível 3
		

Fonte: Autor, 2021.

Quadro 60 – Manifestações Patológicas no Nível 3

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Segregação do concreto	Adensamento insuficiente	Viga 11c – Nível 3
		


Fonte: Autor, 2021.

Quadro 61 – Manifestações Patológicas no Nível 3

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Armadura exposta por falta de cobrimento	Ausência de espaçadores para garantir o cobrimento mínimo	Viga 12b – Nível 3
		

Fonte: Autor, 2021.


Quadro 62 – Manifestações Patológicas no Nível 3

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Armadura exposta por falta de cobrimento	Ausência de espaçadores para garantir o cobrimento mínimo	Viga 14a – Nível 3
		

Fonte: Autor, 2021.

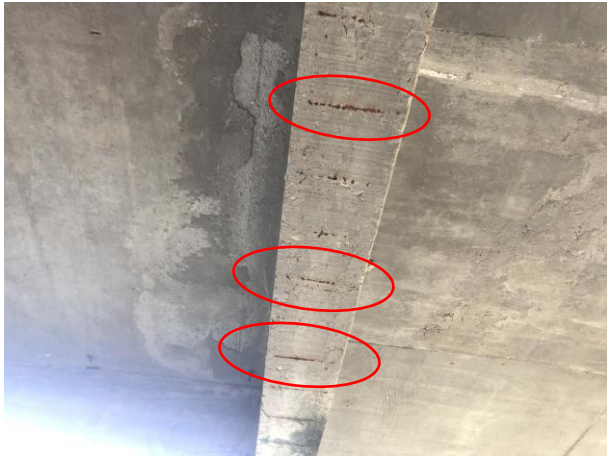


Quadro 63 – Manifestações Patológicas no Nível 3

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Segregação do concreto	Adensamento insuficiente	Viga 15a – Nível 3
		


Fonte: Autor, 2021.

Quadro 64 – Manifestações Patológicas no Nível 3

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Corrosão na armadura por falta de cobrimento	Ausência de espaçadores para garantir o cobrimento mínimo	Viga 15b – Nível 3
		


Fonte: Autor, 2021.

Quadro 65 – Manifestações Patológicas no Nível 3

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Segregação do concreto	Adensamento insuficiente	Viga 17a – Nível 3
		

Fonte: Autor, 2021.


Quadro 66 – Manifestações Patológicas no Nível 3

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Corrosão da armadura por infiltração	Ausência de espaçadores para garantir o cobrimento mínimo e exposição a chuva	Viga 16a e 17b Nível 3
		

Fonte: Autor, 2021.



Quadro 67 – Manifestações Patológicas no Nível 3

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Corrosão da armadura por infiltração	Ausência de espaçadores para garantir o cobrimento mínimo e exposição a chuva	Viga 16b e 17c Nível 3
		

Fonte: Autor, 2021.

Quadro 68 – Manifestações Patológicas no Nível 3

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Armadura exposta por segregação do concreto	Falta de compatibilização entre o projeto de armação e o traço de concreto	Viga 18a – Nível 3
		

Fonte: Autor, 2021.

Quadro 69 – Manifestações Patológicas no Nível 3

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Armadura exposta por falta de cobrimento	Ausência de espaçadores para garantir o cobrimento mínimo	Viga 19a – Nível 3
		


Fonte: Autor, 2021.

Quadro 70 – Manifestações Patológicas no Nível 3

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Armadura exposta por segregação do concreto	Falta de compatibilização entre o projeto de armação e o traço de concreto	Viga 19b – Nível 3
		


Fonte: Autor, 2021.

Quadro 71 – Manifestações Patológicas no Nível 3

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Segregação do concreto	Adensamento insuficiente	Viga 20b – Nível 3
		

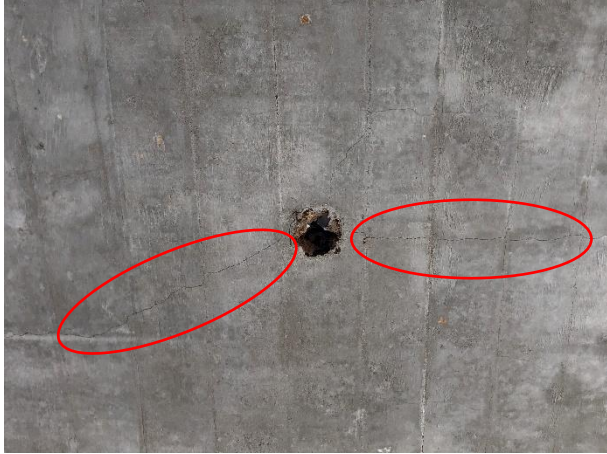
Fonte: Autor, 2021.

Quadro 72 – Manifestações Patológicas no Nível 3

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Segregação do concreto	Ausência de espaçadores para garantir o cobrimento mínimo e adensamento insuficiente	Laje 1 – Nível 3
		


Fonte: Autor, 2021.

Quadro 73 – Manifestações Patológicas no Nível 3

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Fissuras	Movimentação da laje	Laje 1 – Nível 3
		

Fonte: Autor, 2021.


Quadro 74 – Manifestações Patológicas no Nível 3

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Corrosão na armadura por falta de cobrimento	Ausência de espaçadores para garantir o cobrimento mínimo	Laje 1 – Nível 3
		

Fonte: Autor, 2021.




Quadro 75 – Manifestações Patológicas no Nível 3

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Armadura exposta por falta de cobrimento	Falta de concreto para garantir o cobrimento mínimo e exposição a chuva	Laje 1 – Nível 3 Vista Superior
		


Fonte: Autor, 2021.

Quadro 76 – Manifestações Patológicas no Nível 3

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Armadura exposta por falta de cobrimento	Falta de concreto para garantir o cobrimento mínimo e exposição a chuva	Laje 1 – Nível 3 Vista Superior
		


Fonte: Autor, 2021.

Quadro 77 – Manifestações Patológicas no Nível 3

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Fissuras	Movimentação da laje	Laje 4 – Nível 3
		

Fonte: Autor, 2021.


Quadro 78 – Manifestações Patológicas no Nível 3

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Segregação do concreto e fissuras	Ausência de espaçadores para garantir o cobrimento mínimo, adensamento insuficiente e movimentação da laje	Laje 4 – Nível 3
		

Fonte: Autor, 2021.

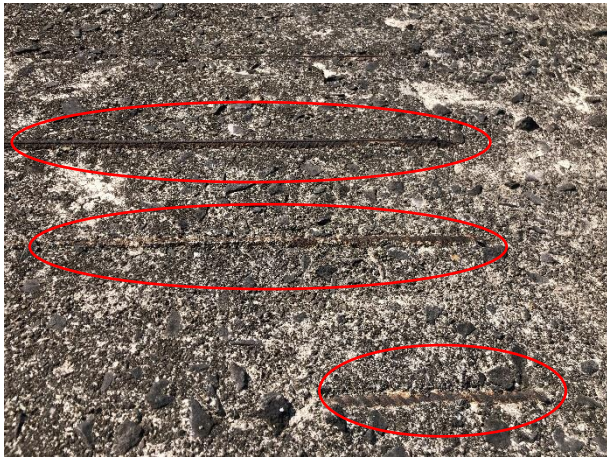


Quadro 79 – Manifestações Patológicas no Nível 3

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Corrosão na armadura por falta de cobrimento e fissuras	Ausência de espaçadores para garantir o cobrimento mínimo e movimentação da laje	Laje 5 – Nível 3
		


Fonte: Autor, 2021.

Quadro 80 – Manifestações Patológicas no Nível 3

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Armadura exposta por falta de cobrimento	Falta de concreto para garantir o cobrimento mínimo e exposição a chuva	Laje 5 – Nível 3 Vista Superior
		


Fonte: Autor, 2021.

Quadro 81 – Manifestações Patológicas no Nível 3

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Infiltração	Ausência de impermeabilização e exposição a chuva	Laje 6 – Nível 3
		


Fonte: Autor, 2021.

Quadro 82 – Manifestações Patológicas no Nível 3

Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Infiltração	Ausência de impermeabilização e exposição a chuva	Laje 7 – Nível 3
		

Fonte: Autor, 2021.

Quadro 83 – Manifestações Patológicas no Nível 3

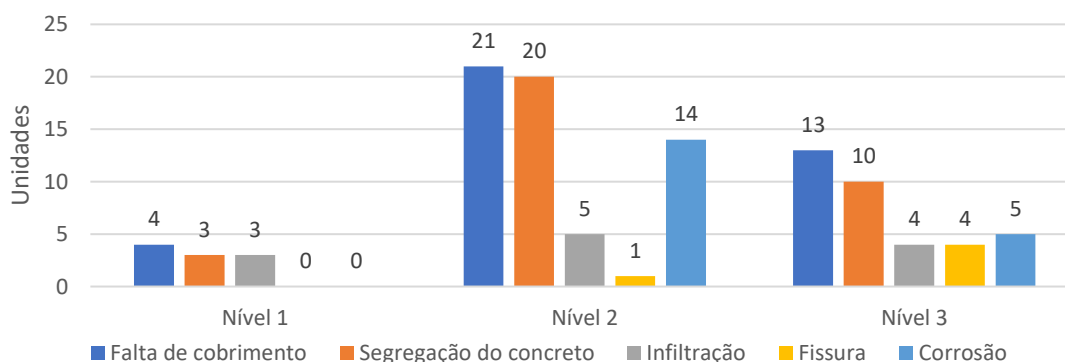
Manifestação detectada	Possível causa	Local da manifestação
Armadura exposta por falta de cobrimento	Falta de concreto para garantir o cobrimento mínimo e exposição a chuva	Laje 7 – Nível 3 Vista Superior
		

Fonte: Autor, 2021.

#### 4.2.4. Avaliação global das manifestações

Para um melhor entendimento da localização das manifestações patológicas apresentadas ao decorrer dos quadros anteriores, um mapa de danos contemplando todos os pavimentos foi elaborado, encontrando-se no Apêndice A. O Gráfico 4 demonstra as diferentes manifestações detectadas, separadas pelos níveis da edificação, possibilitando assim uma compreensão global da estrutura.

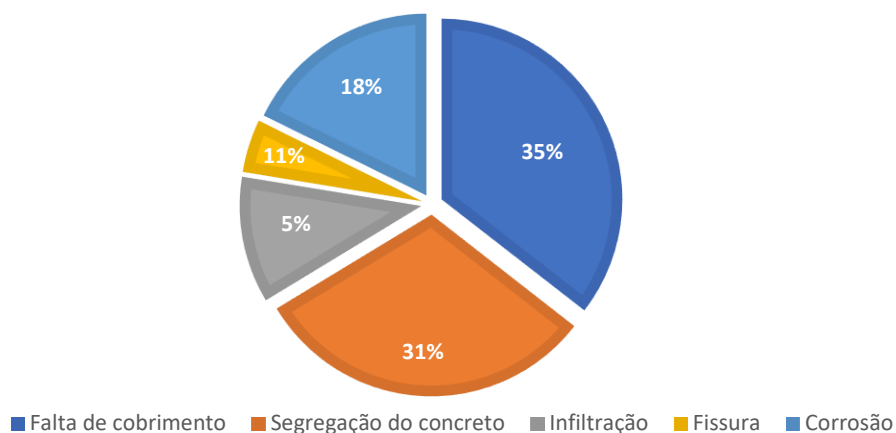
Gráfico 4 – Manifestações por níveis



Fonte: Autor, 2021.

Podemos observar que a maior incidência de manifestações patológicas se encontra no nível 2, isso provavelmente deve-se ao fato de que neste nível é onde se situam a maior parte dos elementos estruturais do empreendimento. No Gráfico 5 estão representadas as porcentagens correspondentes das manifestações patológicas encontradas na edificação.

Gráfico 5 – Manifestações na edificação



Fonte: Autor, 2021.

Detectamos que a falta de cobrimento e a segregação do concreto são as manifestações patológicas mais recorrentes no objeto de estudo, segundo Helene (2003), as patologias presentes em uma edificação não se manifestam de forma isolada e sem motivo, na maior parte das vezes elas se originam de erros cometidos durante o processo de concepção da estrutura.

Zuchetti (2015), destaca que manutenções preventivas e principalmente corretivas sempre devem ser realizadas, buscando minimizar o risco de a estrutura sofrer possíveis agravamentos ao longo do tempo, podendo estes em casos extremos levar o empreendimento até mesmo a ruína. Ainda sobre a importância dos reparos, Gonçalves (2015), salienta que a falta destes acarretam em altos custos quando negligenciados por muito tempo.

### 4.3. AVALIAÇÕES POR ENSAIOS DE CAMPO E LABORATÓRIO

Neste item estão apresentados os resultados e análises referentes aos ensaios realizados *in loco* e em laboratório, o ensaio de esclerometria, sendo o único empregado não destrutivo, foi o primeiro a ser realizado, buscando referências para a execução dos ensaios restantes. Após a análise dos resultados de esclerometria definiu-se os locais onde seriam realizados os ensaios de carbonatação. Finalmente analisando todos resultados até ali obtidos os pontos de extração de testemunhos foram determinados.

#### 4.3.1. Esclerometria

O ensaio de esclerometria, também intitulado de ensaio de dureza superficial, seguiu a NBR 7584 (ABNT, 2013). Este processo foi repetido em diversos elementos da edificação, buscando uma amostragem global da mesma, no Apêndice B podemos visualizar todos os dados extraídos para a obtenção dos resultados expressos na Tabela 2, onde podemos observar os locais onde os ensaios foram realizados e os resultados finais.

Tabela 2 – Resultados esclerometria

(continua)

Localização	$I_m$	+10%	-10%	$I_{mf}$	Posição ( $\Delta$ )	Resistencia Superficial (Mpa)	
<b>Nível 1</b>	<b>P39</b>	37	40,2	32,9	36	0°	<b>31</b>
	<b>P42</b>	34	36,9	30,2	33	0°	<b>26</b>
	<b>P44</b>	35	38,3	31,3	35	0°	<b>29</b>
	<b>V7b</b>	37	41,1	33,6	37	0°	<b>32</b>
	<b>V11b</b>	36	39,4	32,2	37	0°	<b>32</b>
<b>Nível 2</b>	<b>L9</b>	56	61,2	50,1	56	90°	<b>66</b>
	<b>P15</b>	41	45,0	36,8	41	0°	<b>40</b>
	<b>P21</b>	39	43,3	35,4	39	0°	<b>36</b>
	<b>P36</b>	41	44,8	36,7	41	0°	<b>40</b>
	<b>P38</b>	35	38,1	31,2	35	0°	<b>29</b>
	<b>P42</b>	43	47,2	38,6	43	0°	<b>44</b>
	<b>V15b</b>	42	45,7	37,4	42	0°	<b>42</b>
	<b>V15d</b>	48	52,4	42,9	47	0°	<b>51</b>
	<b>V22b</b>	42	45,9	37,5	42	0°	<b>42</b>
	<b>V28a</b>	42	46,7	38,2	43	0°	<b>44</b>



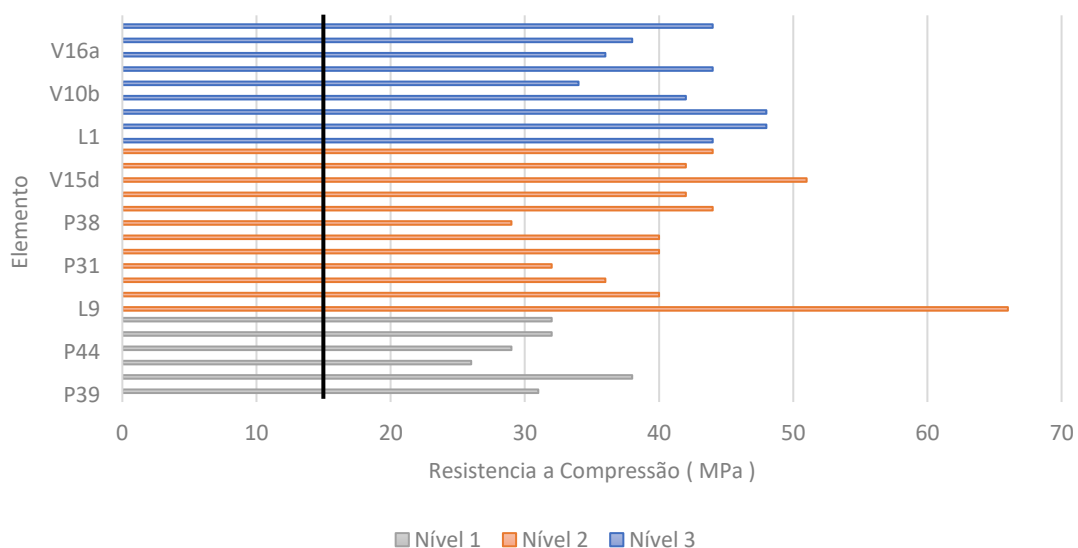
(conclusão)

Localização	$I_m$	+10%	-10%	$I_{mf}$	Posição ( $\Delta$ )	Resistencia Superficial (Mpa)	
<b>Nível 3</b>	<b>L1</b>	47	51,7	42,3	47	90°	<b>44</b>
	<b>L5</b>	50	54,5	44,6	49	90°	<b>48</b>
	<b>L7</b>	49	53,8	44,0	49	90°	<b>48</b>
	<b>V10b</b>	42	46,1	37,7	42	0°	<b>42</b>
	<b>V14a</b>	38	42,0	34,4	38	0°	<b>34</b>
	<b>V15a</b>	43	46,8	38,3	43	0°	<b>44</b>
	<b>V16a</b>	40	43,7	35,7	39	0°	<b>36</b>
	<b>V18a</b>	40	43,9	35,9	40	0°	<b>38</b>
	<b>V19b</b>	44	48,8	39,9	44	0°	<b>44</b>

Fonte: Autor, 2021.

Como pode-se observar na Tabela 2, todos tipos de elementos presentes em todos os níveis da edificação foram ensaiados, as resistências apresentadas se mostraram heterogêneas, pois se trata de uma edificação onde a concretagem foi realizada com o auxílio de betoneiras manuais, justificando a variação entre os resultados ainda sobre as resistências tivemos sua grande maioria dentro de um intervalo entre 30 a 45 MPa, no Gráfico 6 podemos vislumbrar melhor os resultados obtidos dentro deste intervalo.

Gráfico 6 – Resultados esclerometria



Fonte: Autor, 2021.



A linha vertical cruzando as barras do Gráfico 6 representa a resistência mínima do concreto requerida no projeto original, com a obtenção destes resultados constatamos que segundo os ensaios de esclerometria o concreto confere resistências muito superiores as previstas em projeto.

Segundo Silva (2007), as resistências elevadas podem ser explicadas devido a possibilidade de o ensaio de esclerometria estar sendo mascarado devido ao processo de carbonatação da estrutura, que por sua vez causa um endurecimento superficial do concreto com o passar do tempo. Isso ocorre por que o próprio agente degradante estanca os poros superficiais com o Carbonato de Cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), que apresenta menor porosidade e maior resistência (HOPPE FILHO, 2008). Cabe salientar que esta estrutura abordada na pesquisa está construída a aproximadamente 21 anos, e exposta ao ambiente.


Helene (2002), destaca outros fatores que influenciam os resultados obtidos a partir desta metodologia, e que podem explicar o auto índice de variação entre os resultados apresentados, sendo eles o tipo e a quantidade de agregado graúdo presente no elemento, as condições da superfície, a umidade a esbeltez do mesmo e a carbonatação já citada anteriormente. Os ensaios foram aplicados tanto em elementos internos, sendo assim mais protegidos do ambiente, como em elementos externos, mais exposto ao ambiente, se tratando de uma estrutura antiga, as condições superficiais dos elementos mais expostos se encontram em diferente estágio de degradação, podendo ter interferido nos resultados finais, também sabe-se que todos os elementos tinham suas dimensões diferentes entre si, e que o concreto produzido na época foi elaborado manualmente com o auxílio de betoneiras, propiciando a possibilidade de diferentes índices de agregado graúdo em seus lotes.

#### **4.3.2. Carbonatação**

Os ensaios de carbonatação foram realizados em diversos pontos da edificação, com a auxílio do agente químico fenolftaleína, que apresentara uma coloração específica quando entra em contato com materiais que tenham um pH maior do que 9,5, os elementos que apresentaram uma menor resistência superficial frente aos ensaios de esclerometria foram analisados, bem como alguns elementos que apresentaram as maiores resistências.


Nos Quadros de 84 a 92 podemos observar a o antes e o depois dos ensaios, em todos os casos o concreto foi rompido até que se encontrasse a armadura existente, os pontos não destacados, que se encontram com a coloração neutra, apresentam um pH menor do que 9,5, acusando assim a carbonatação da área.

Quadro 84 – Carbonatação

Local do ensaio de carbonatação	Resistencia superficial medida pelo esclerometro (MPa)	Carbonatação detectada
Pila 42 – Nível 1	26	3 cm
		


Fonte: Autor, 2021.

Quadro 85 – Carbonatação

Local do ensaio de carbonatação	Resistencia superficial medida pelo esclerometro (MPa)	Carbonatação detectada
Pila 44 – Nível 1	29	4,5 cm
		

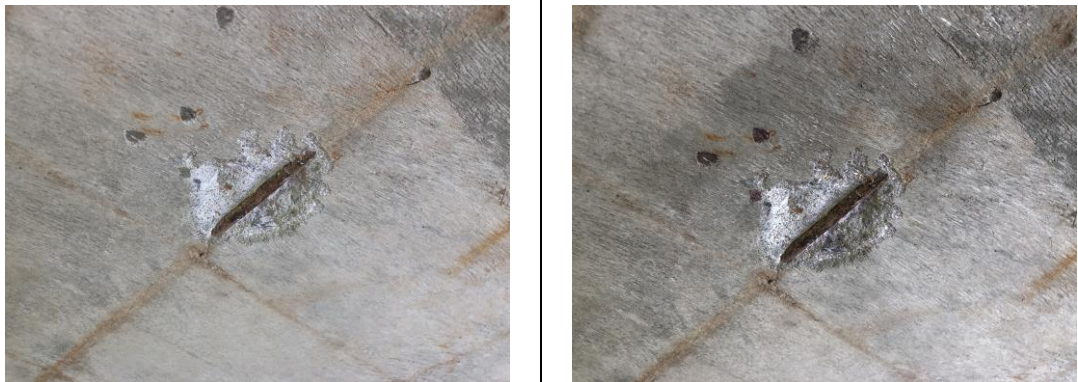
Fonte: Autor, 2021.

Quadro 86 – Carbonatação

Local do ensaio de carbonatação	Resistencia superficial medida pelo esclerometro (MPa)	Carbonatação detectada
Viga 7b – Nível 1	32	Até o rompimento
		

Fonte: Autor, 2021.


Quadro 87 – Carbonatação

Local do ensaio de carbonatação	Resistencia superficial medida pelo esclerometro (MPa)	Carbonatação detectada
Laje 9 – Nível 2	66	Até o rompimento
		

Fonte: Autor, 2021.

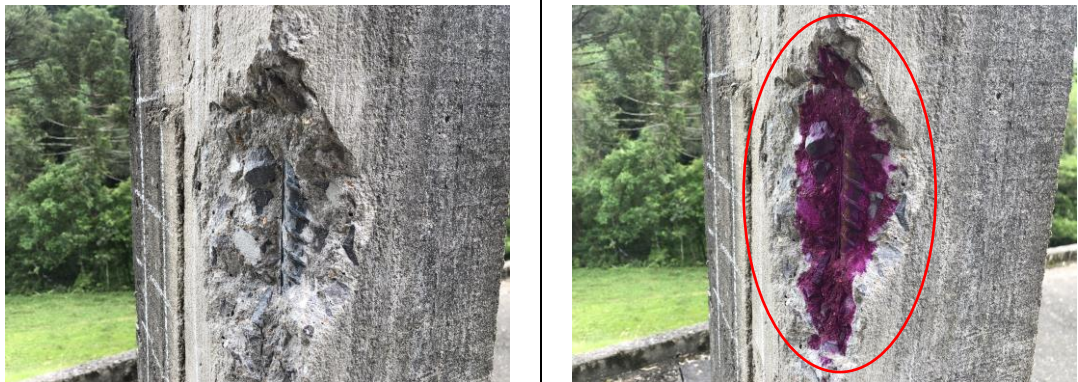


Quadro 88 – Carbonatação

Local do ensaio de carbonatação	Resistencia superficial medida pelo esclerometro (MPa)	Carbonatação detectada
Pila 38 – Nível 2	29	1,5 cm
		



Fonte: Autor, 2021.

Quadro 89 – Carbonatação

Local do ensaio de carbonatação	Resistencia superficial medida pelo esclerometro (MPa)	Carbonatação detectada
Pila 42 – Nível 2	44	2,5 cm
		



Fonte: Autor, 2021.

Quadro 90 – Carbonatação

Local do ensaio de carbonatação	Resistencia superficial medida pelo esclerometro (MPa)	Carbonatação detectada
Viga 15d – Nível 2	51	Até o rompimento
		

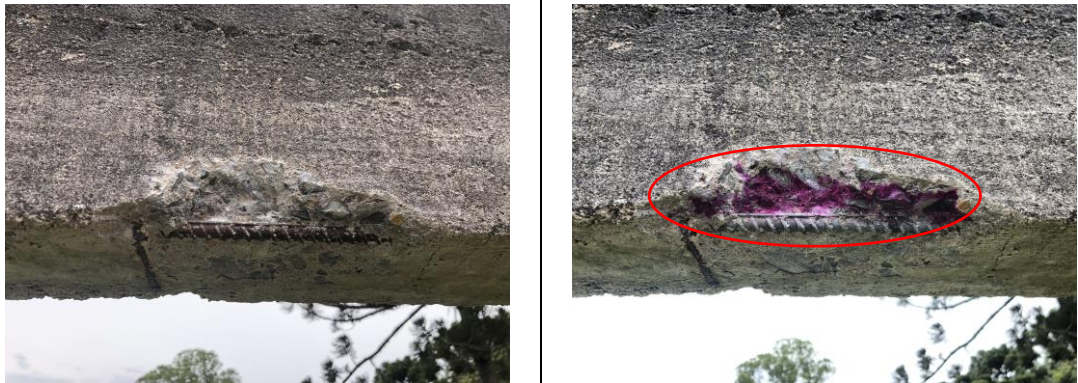
Fonte: Autor, 2021.

Quadro 91 – Carbonatação

Local do ensaio de carbonatação	Resistencia superficial medida pelo esclerometro (MPa)	Carbonatação detectada
Laje 1 – Nível 3	44	Até o rompimento
		

Fonte: Autor, 2021.

Quadro 92 – Carbonatação

Local do ensaio de carbonatação	Resistencia superficial medida pelo esclerometro (MPa)	Carbonatação detectada
Viga 14a – Nível 3	34	1 cm
		

Fonte: Autor, 2021.

Analisando os ensaios, detectamos alguns elementos que apresentaram uma maior profundidade de carbonatação em relação aos outros. Figueiredo (1994), afirma que vários fatores podem influenciar tal profundez, entre eles a relação a/c utilizada para a confecção do concreto. Sabendo-se que neste empreendimento a elaboração do mesmo não seguiu um rigoroso controle de qualidade, possibilitando diferentes relações aos lotes, esclarecendo assim as variações identificadas. Elementos internos e externos foram submetidos ao ensaio de carbonatação, sendo assim outro fator que pode ter contribuído para tais variações é a umidade relativa do ar, que propicia a difusão do Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ), determinando a quantidade de umidade dentro dos poros.

Segundo Réus (2016), podemos correlacionar esta profundidade com a resistência a compressão do elemento, isso por que as estruturas com uma menor resistência a compressão geralmente apresentam uma maior porosidade, colaborando com a entrada de  $\text{CO}_2$  no concreto.

Pudemos observar que a grande maioria dos elementos apresentaram carbonatação até a armadura existente, chegando a 4,5 cm em alguns pontos. Analisando estes resultados juntamente com os resultados obtidos por meio do esclerometro, os pontos de extração foram determinados.



### 4.3.3. Extração de testemunhos

A extração de testemunhos, sendo uma das técnicas mais comuns e precisas para se avaliar a resistência do concreto foi empregada neste trabalho, todo o processo seguiu a NBR 7680 (ABNT, 2015) que estabelece as diretrizes para o mesmo. Com base nos ensaios de esclerometria e carbonatação do concreto, seis pontos foram definidos para que se houvesse a extração dos corpos de prova, na Figura 19 podemos observar estes já devidamente identificados e retificados, prontos para o ensaio de compressão.

Figura 19 – Corpos de prova extraídos



Fonte: Autor, 2021.

Após a identificação e a retificação dos corpos de prova conforme a NBR 7680 (ABNT, 2015), seguiu-se os passos nela estabelecida, obtendo-se os seguintes dados para cada elemento: massa, diâmetro médio, altura média, relação h/d e os coeficientes de correção k1, k2, k3 e k4. Além destes também se obtiveram as áreas superficiais do topo e da base do corpo de prova, bem como a força máxima aplicada e a tensão máxima aplicada no mesmo, todos os dados e resultados descritos podem ser observados melhor nos Apêndices C e D. Na Tabela 3 podemos vislumbrar os resultados finais de cada elemento, corrigidos pelos coeficientes k1, k2, k3 e k4 estabelecidos pela norma.

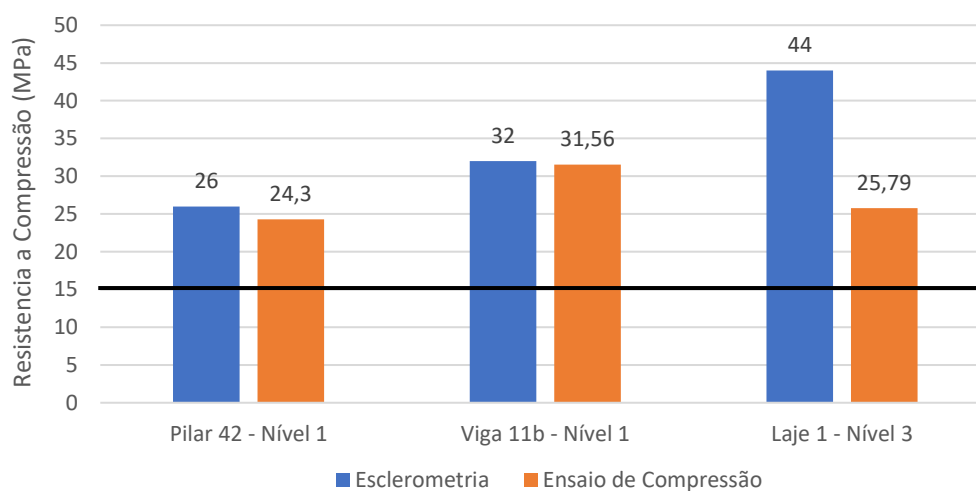
Tabela 3 – Resultados ensaios de compressão

Identificação	Tensão Máxima Corrigida (MPa)
<b>P42-N1</b>	<b>24,30</b>
<b>V11b-N1</b>	<b>31,56</b>
<b>L1-N2</b>	<b>17,13</b>
<b>P31-N2</b>	<b>32,34</b>
<b>L1-N3</b>	<b>25,79</b>
<b>V18a-N3</b>	<b>25,31</b>

Fonte: Autor, 2021.

Os pontos ensaiados englobaram todos os níveis da estrutura em questão, também se tomou o cuidado de ensaiar todos os tipos de elementos, lajes vigas e pilares. Alguns elementos foram submetidos ao ensaio de esclerometria e também ao de compressão em laboratório, no Gráfico 7 podemos observar a comparação entre os resultados dos dois ensaios.

Gráfico 7 – Comparativo esclerometria e ensaio de compressão



Fonte: Autor, 2021.

Os ensaios de compressão realizados em laboratório, que nos apresentam resultados mais precisos se comparados com os ensaios de esclerometria, nos entregaram resistências menores, o que já era de se esperar, uma vez que detectamos carbonatação nos elementos, acarretando em um aumento da dureza superficial e por sua conta mascarando o ensaio realizado anteriormente.

Segundo Mehta e Monteiro (2014), um dos principais fatores que influenciam a resistência do concreto é a porosidade, quando não se há um controle de qualidade na confecção do mesmo os elementos ficam propícios a apresentarem diferentes índices, e conseqüentemente diferentes resistências, além disso outros fatores como adensamento, temperatura, condições de cura, dimensões e mineralogia do agregado, condições de umidade e aditivos também podem influenciar suas características frente a resistência.

Contudo Giammusso (1992), explica que dificilmente um elemento está sob influência de somente um destes fatores, de modo que temos na maior parte das vezes vários fatores combinados agindo sobre o mesmo, podendo eles estarem se somando ou se compensando.

Neville (1997), revela que o aumento acelerado da temperatura durante a concretagem de diferentes elementos também pode influenciar em suas resistências iniciais e subseqüentes, de modo que a hidratação inicial mais rápida forma uma estrutura mais porosa, interferindo em seu desempenho após a completa cura. Portanto, as condições de temperatura interferem diretamente na confecção do concreto, sendo a temperatura de cura muito mais importante do que a temperatura do lançamento (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

A resistência do concreto também é influenciada pela cura que o elemento é submetido, busca-se sempre impedir a retração, evitando a perda de água superficial, vários processos podem ou não ser utilizados nas diferentes etapas construtivas, entre eles, molhagem continua da superfície exposta, cobertura com lonas plásticas, proteção com tecidos ou papéis úmidos ou aplicação de emulsão impermeabilizante (GIAMMUSSO, 1992).

No Gráfico 6 ainda podemos observar uma linha horizontal, representando a resistência mínima do concreto requerida no projeto original, dando-nos a convicção de que os elementos apresentam tal resistência solicitada na época.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do trabalho realizado, anamnese da estrutura, mapeamento das manifestações patológicas e análise dos resultados obtidos com a execução dos ensaios empregados, podemos considerar que a estrutura possui características mecânicas do concreto compatíveis e superiores ao do projeto estrutural original, uma vez que o mesmo requeria uma resistência mínima para o concreto em 15 MPa, e os resultados obtidos no local e em laboratório apresentaram resistências acima deste valor.

Contudo, salienta-se que para o prosseguimento da obra, deve-se concluir anteriormente todos os reparos necessários na edificação, estes são precisos nas manifestações patológicas identificadas e mapeadas nesta pesquisa, onde identificamos altos índices de segregação do concreto e de falta de cobrimento das armaduras, causando assim uma corrosão superficial nas mesmas, também é fundamental reparar os elementos onde houve a realização de ensaios semi-destrutivos. Com isso, de maneira mais detalhada, pode-se concluir que:

- Com relação ao projeto original versus a estrutura realizada.

Algumas divergências foram encontradas, dentre elas a inclusão de algumas vigas e lajes, também se observou a retirada de algumas vigas, porém as alterações mais significativas se deu por conta da adição de um segundo subsolo, o qual usou o projeto original do primeiro subsolo como base para concepção de sua estrutura. Devido ao fato de tal subsolo não estar projetado previamente, faz-se necessária uma nova avaliação frente ao cálculo estrutural da edificação.

- Com relação as manifestações patológicas presentes na estrutura inacabada.

Observou-se grande incidência de falta de cobrimento das armaduras, segregação do concreto e corrosão, com isso constatou-se que tais manifestações devem ser reparadas o quanto antes, a fim de que se reestabeleça a saúde da estrutura.

- Com relação aos ensaios “in loco” e em laboratório.

Buscou-se uma complementação entre eles, sendo desenvolvidos ensaios de esclerometria, carbonatação e resistência a compressão. O ensaio de esclerometria apresentou resistências superiores as requeridas no projeto original, e deu subsídios para que se definisse os locais onde foram realizados os ensaios de carbonatação e as extrações de testemunho para posterior rompimento em laboratório. Quanto a carbonatação na maioria dos elementos contatou-se o avanço até a armadura, o que é justificável uma vez que a estrutura se encontra ao relento a mais de vinte anos, estes resultados também nos esclareceram as resistências elevadas encontradas no ensaio de dureza superficial. Por fim o ensaio de resistência a compressão, realizado em laboratório com as amostras extraídas, apresentou resistências mais modestas em relação ao ensaio de esclerometria, uma vez que o mesmo não é influenciado pela carbonatação do elemento, e nos dá resultados mais precisos, salienta-se que mesmo as resistências obtidas a partir do ensaio de resistência a compressão realizadas em laboratório foram superiores aos 15 MPa requeridas no projeto

- Com relação ao projeto estrutural original frente aos resultados obtidos na inspeção e nos ensaios.

Com o auxílio dos resultados obtidos, concluiu-se que as resistências do concreto em questão atendem sim as requeridas no projeto estrutural original do empreendimento, uma vez que a requerida pelo projeto é de 15 Mpa e os ensaios apresentaram resistência sempre superiores a esta, como dito anteriormente, contudo uma vez que um novo nível foi adicionado a edificação, se faz necessária uma avaliação voltada ao dimensionamento da estrutura, garantindo assim estabilidade a ela.

Ao final deste trabalho concluiu-se a importância da avaliação de edificações por muito tempo paralisadas, bem como a diversificação das metodologias empregadas para tal avaliação, buscando sempre resultados complementares e mais precisos. Quanto ao objeto de estudo, constatou-se a capacidade de continuidade mediante reparos necessários, sabendo-se que por meio de um novo projeto avaliando a necessidade de reforços estruturais, a edificação já executada também pode servir com outro intuito, que não seja a locação de um hotel.



## REFÊRENCIAS

AGUIAR, J. E. Avaliação dos ensaios de durabilidade do concreto armado a partir de estruturas duráveis. UFMG, Belo Horizonte, pág. 18, 2006.

ANDRADE, J. J. O. Durabilidade das estruturas de concreto armado: Análise das manifestações patológicas nas estruturas no estado de Pernambuco. UFRGS, Porto Alegre, pág. 56, 1997.

ANDRADE, T.; SILVA, A. J. C. Concreto: ensino, pesquisa e realizações. IBRACON, São Paulo, 2005.

ARANHA, P. M. S. Contribuição ao estudo das manifestações patológicas nas estruturas de concreto armado na região amazônica. UFRGS, Porto Alegre, pág. 144, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Aço destinado a armadura para estruturas de concreto armado. NBR 7480. Especificações. Rio de Janeiro, ABNT, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Argamassa e concreto endurecidos - Determinação de absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica. NBR 9778. Rio de Janeiro, ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão. NBR 7584. Método de ensaio. Rio de Janeiro, ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica. NBR 8802. Procedimento. Rio de Janeiro, ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Determinação do módulo de deformação estática e diagrama tensão x deformação. NBR 8522. Rio de Janeiro, ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. NBR 15575. Rio de Janeiro, ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Ensaio não destrutivo – Termografia infravermelha. NBR 16818. Rio de Janeiro, ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto. NBR 7680. Concreto. Rio de Janeiro, ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto e execução de obras em concreto armado. NBR 6118. Procedimento. Rio de Janeiro, ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Revestimento de paredes de argamassa inorgânica – Determinação da resistência de aderência a tração. NBR 13528. Rio de Janeiro, ABNT, 2010.

BRANDÃO, A. M. S. Qualidade e durabilidade das estruturas de concreto armado. USP, São Paulo, pág. 59, 1998.

CÂMERA, E. Avaliação da resistência a compressão de concretos utilizados na grande Florianópolis através de ensaios não destrutivos. UFSC, Florianópolis, pág. 7, 2006.

CANDIAN, A. L. Metodologia para avaliação de estruturas de concreto armado degradadas utilizando ensaios dinâmicos. UFV, Viçosa, pág. 29, 2017.

CASTRO, A. L.; ÂNGULO, S. C.; BILESKY, P. C.; SANTOS, R. F. C.; HAMASSAKI, L. T.; SILVA, E. Métodos de ensaios não destrutivos para estruturas de concreto. Revista Técnica, São Paulo, 2009.

CASTRO, C. M. Concreto de alto desempenho: Estudo da aderência com a armadura sob ações repetidas. USP, São Paulo, pág. 45, 2002.

CAVALCANTI, H. Mais de 14 mil obras inacabadas afetam economias da união, estados e municípios. Rede Brasil Atual, 2019. Disponível em: <https://www.redebrasilatual.com.br/politica/2019/11/obras-inacabadas-no-brasil/>. Acesso em: 29 mar. 2021.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A. Metodologia científica. Prentice Hall, São Paulo, 2001.

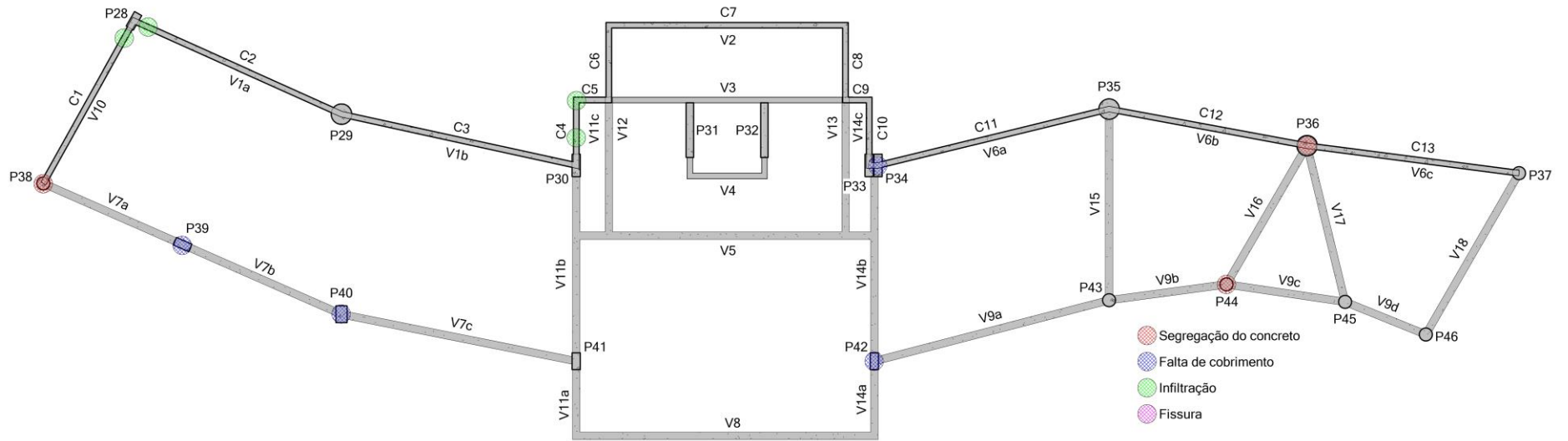
DAROIT, M. Estudo de aço microligado ao vanádio para a produção de barras nervuradas para concreto armado com características de soldabilidade segundo a norma ABNT NBR 8695:1985. UFRGS, Porto Alegre, 2012.

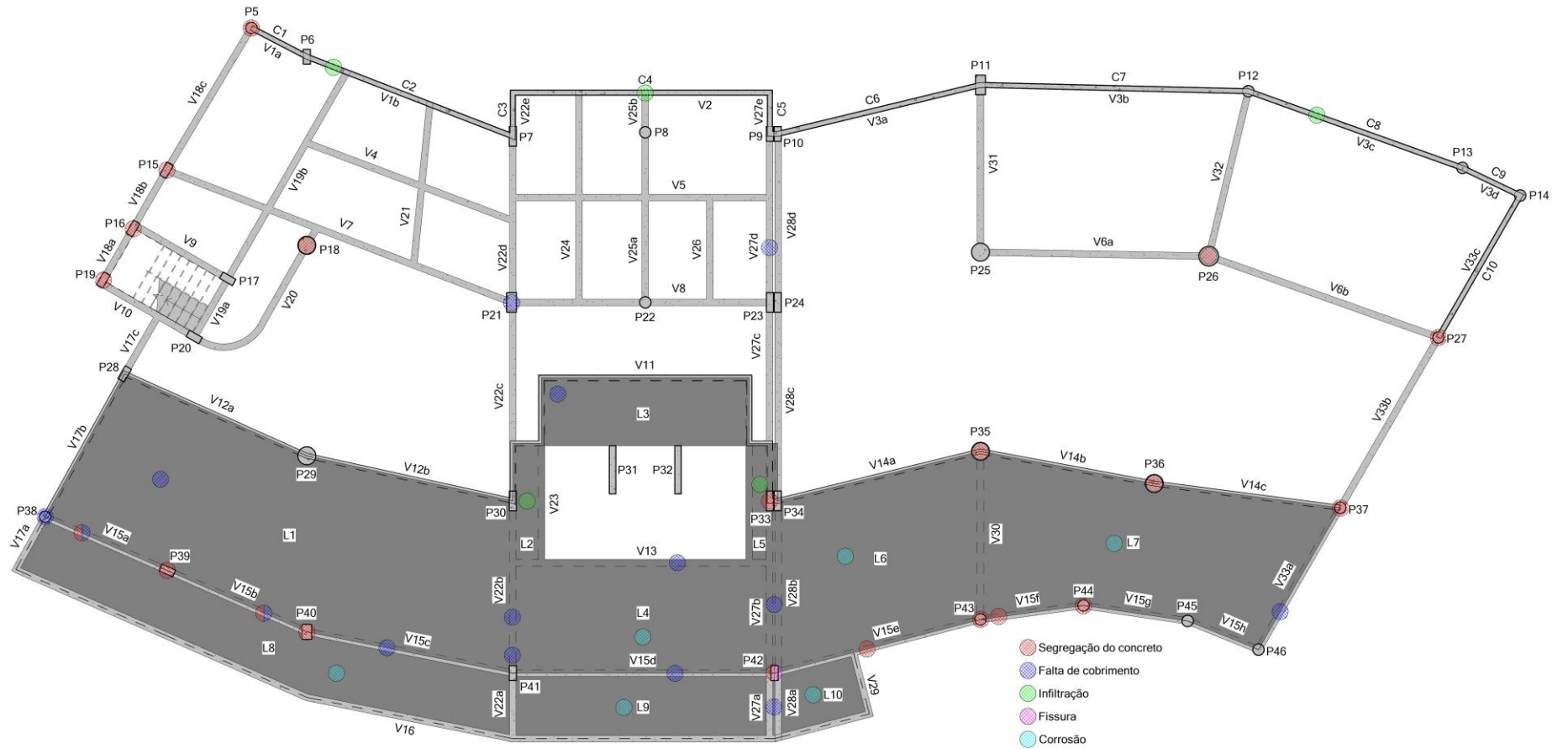
FERREIRA, R. M. Avaliação dos ensaios de durabilidade do betão. Universidade do Minho, Braga, pág. 246, 2000.

- FIGUEIREDO, E. J. P. Avaliação de desempenho de revestimentos para proteção da armadura contra a corrosão através de técnicas eletroquímicas – Contribuição ao estudo de reparo de estruturas de concreto armado. POLI-SP, São Paulo, pág. 423, 1994.
- GARCIA, J. R. R. Potencialidades para o diagnóstico e patologias em edifícios. U. Porto, Porto, 2014.
- GIAMMUSSO, S. E. Manual do concreto. Pini, São Paulo, 1992.
- GIDRÃO, G. M. S. Propriedades dinâmicas do concreto com sua microestrutura. Unesp, São Paulo, pág. 36, 2015.
- GIL, A. C. Métodos de técnicas de pesquisa social. Atlas, São Paulo, 1999.
- GONÇALVES, E. A. B. Estudo de patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações. UFRJ, Rio de Janeiro, 2015.
- HELENE, P. Manual de dosagem e controle do concreto. Pini, Rio de Janeiro, 2002.
- HELENE, P. R. L. Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado. USP, São Paulo, pág. 231, 1993.
- HELENE, P. R. Manual de reparo, proteção e reforço de estruturas de concreto. Red Rehabilitar, São Paulo, 2003.
- HOPPE F. J. Sistemas cimento, cinza volante e cal hidratada: mecanismo de hidratação, microestrutura e carbonatação de concreto. USP, São Paulo, 2008.
- MADEIROS, M.H.F.; ANDRADE, J.J.O.; HELENE, P. Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto. Ibracon, São Paulo, 2011.
- MARQUES, J. R. F. Dimensionamento de reforço mediante retro análise de avaliações estruturais não destrutivas. USP, São Paulo, pág. 21, 2002.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais. Ibracon, São Paulo, 2014.
- NEVILLE, A. M. Tecnologia do concreto. 2ª ed. Bookman, Porto Alegre, 2013.
- NEVILLE, A.M. Propriedades do concreto. 5ª ed. Bookman, Porto Alegre, 2016.
- PAULETTI, C. Análise comparativa de procedimentos para ensaios de carbonatação. URGs, Porto Alegre, 2004.
- PEDROSO, F. L. Concreto: As origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. Concreto e Construções, São Paulo, vol. 53, pág. 14, jan. fev. mar. 2009.

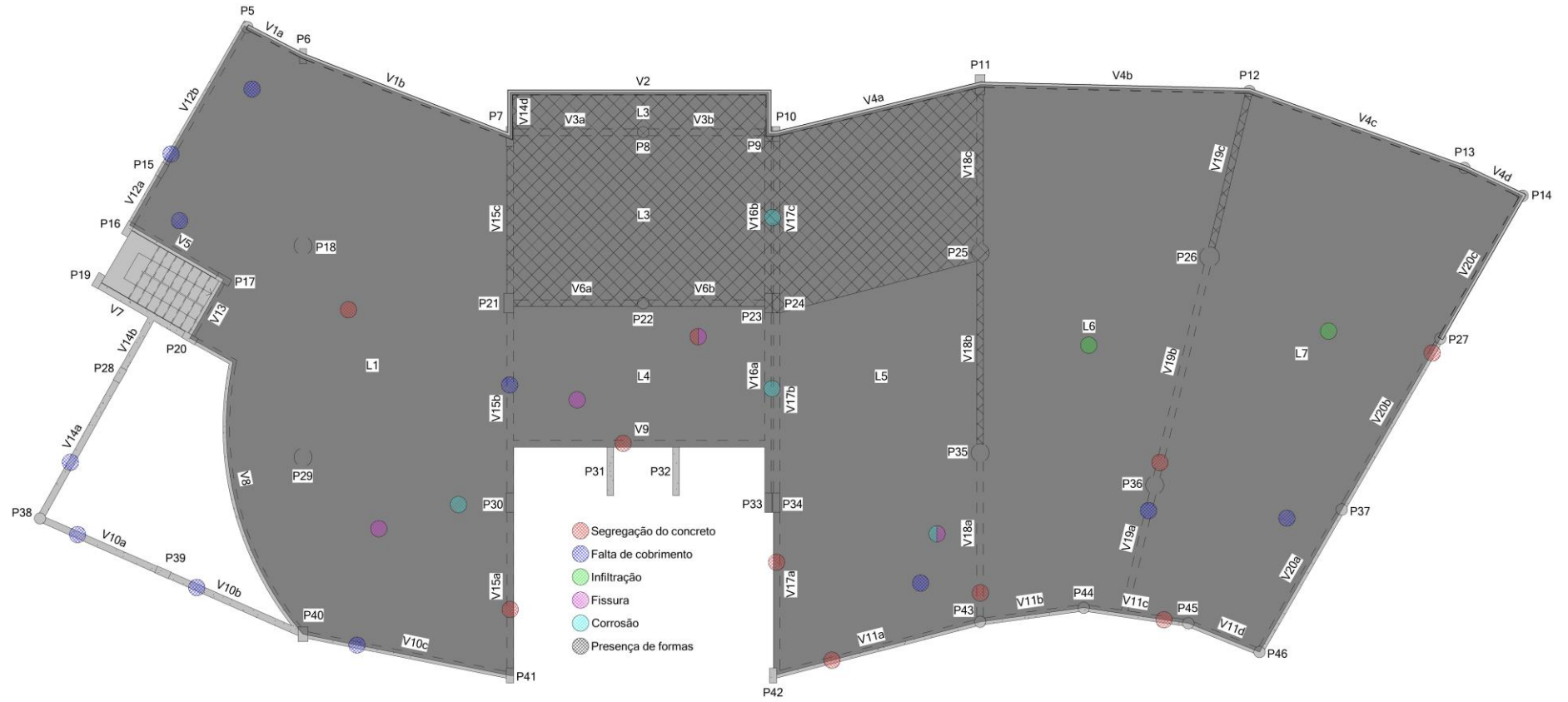
- PEREIRA, E.; MEDEIROS, M. H. F. Ensaio de “Pull Off” para avaliar a resistência a compressão do concreto: uma alternativa aos ensaios normalizados no Brasil. Revista Ibracon, Curitiba, 2012.
- PEREIRA, J.P.V.V. Avaliação da resistência á compressão do betão através de ensaios não destrutivos. Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal, 1999.
- PINHEIRO, L. M. MUZARD, C. D. Aderência e ancoragem. USP, São Paulo, 2003.
- RAMOS, D. H. Avaliação de ensaios não destrutivos aplicados as concreto armado. POLI-SP, São Paulo, pág. 29, 2019.
- RECENA, F. A. P. Retração do concreto. PUC-RS, Porto Alegre, pág. 151, 2014.
- RÉUS, G. C. Influência da frente de carbonatação na resistência superficial do concreto obtida pelo método da esclerometria. CBPAT, Paraná, pág. 5, 2016.
- RIZZO, G. F. Durabilidade de concretos com agregados reciclados. PUC-Campinas, São Paulo, 2018.
- SAHUINCO, M. H. C. Utilização de métodos não destrutivos e semi-destrutivos na avaliação de pontes de concreto. POLI-SP, São Paulo, pág. 170, 2011.
- SAHUINCO, M. H. C. Utilização de métodos não destrutivos e semi-destrutivos na avaliação de pontes de concreto. POLI-SP, São Paulo, pág. 170, 2011.
- SILVA FILHO, L. C. P. Durabilidade do concreto a ação de sulfatos: Análise de efeitos de permeação de água e de adição de micros sílica. UFRGS, Porto Alegre, pág. 143, 1994.
- SILVA, V. M. Ação da carbonatação em vigas de concreto armado em serviço, construídas em escala natural e reduzida. EESC-USP, São Paulo, 2007.
- ZUCHETTI, P. A. B. Patologias da construção civil: investigação patológica em edifício corporativo de administração pública no Vale do Taquari/RS. UNIVATES, Lajeado, 2015.

### APÊNDICE A – MAPA DE DANOS









## APÊNDICE B – RESULTADOS ESCLEROMETRIA

																		I <sub>m</sub>	+10%	-10%	I <sub>mf</sub>	Posição (Δ)	Resistencia Superficial (Mpa)	
Nível 1	P39	42	40	35	36	36	36	37	35	37	35	35	35	38	34	35	38	37	40,2	32,9	36	0°	31	
	P42	32	33	32	32	31	32	38	34	36	32	34	35	35	30	32	38	34	36,9	30,2	33	0°	26	
	P44	34	35	33	34	38	32	35	34	36	35	33	35	32	36	37	38	35	38,3	31,3	35	0°	29	
	V7b	36	40	33	33	42	40	33	35	35	35	40	44	34	42	34	42	37	41,1	33,6	37	0°	32	
	V11b	36	37	37	36	30	32	35	38	38	37	38	36	38	38	32	35	36	39,4	32,2	37	0°	32	
Nível 2	L9	54	56	58	52	52	61	54	55	57	51	54	58	57	56	55	60	56	61,2	50,1	56	90°	66	
	P15	44	33	42	42	43	42	40	38	43	42	40	41	42	42	42	38	41	45,0	36,8	41	0°	40	
	P21	41	40	39	40	38	39	39	37	38	40	40	39	39	41	40	38	42	39	43,3	35,4	39	0°	36
	P36	42	42	37	38	39	43	42	44	42	40	40	38	40	40	43	42	41	44,8	36,7	41	0°	40	
	P38	32	36	34	32	30	30	36	32	28	38	36	32	36	38	42	42	35	38,1	31,2	35	0°	29	
	P42	37	40	43	42	40	46	46	44	48	46	44	40	44	40	44	43	43	47,2	38,6	43	0°	44	
	V15b	40	39	42	40	41	42	44	42	42	42	40	42	42	41	44	42	42	45,7	37,4	42	0°	42	
	V15d	43	50	46	54	42	44	40	52	54	54	54	51	44	48	42	44	48	52,4	42,9	47	0°	51	
	V22b	40	38	44	44	44	44	42	44	40	40	40	44	38	42	44	39	42	45,9	37,5	42	0°	42	
V28a	40	41	44	38	42	46	44	46	41	42	40	45	41	46	41	42	42	46,7	38,2	43	0°	44		
Nível 3	L1	44	44	46	48	52	47	46	45	49	50	45	48	44	48	48	48	47	51,7	42,3	47	90°	44	
	L5	50	55	51	52	48	48	52	52	46	48	52	50	47	46	48	47	50	54,5	44,6	49	90°	48	
	L7	48	44	52	48	53	46	53	52	47	48	52	45	53	45	48	48	49	53,8	44,0	49	90°	48	
	V10b	39	42	43	45	44	44	40	43	40	41	42	42	41	42	44	38	42	46,1	37,7	42	0°	42	
	V14a	36	38	35	36	36	40	40	40	42	40	39	37	36	41	37	38	38	42,0	34,4	38	0°	34	
	V15a	38	38	41	42	44	43	45	45	45	42	42	43	43	43	43	43	43	46,8	38,3	43	0°	44	
	V16a	38	39	39	46	38	36	38	43	40	44	40	38	38	40	40	38	40	43,7	35,7	39	0°	36	
	V18a	41	40	38	39	44	38	42	36	43	36	43	36	42	40	41	40	40	43,9	35,9	40	0°	38	
	V19b	52	46	43	49	52	42	46	43	44	50	39	40	40	48	39	37	44	48,8	39,9	44	0°	44	



### APÊNDICE D – RESULTADOS ENSAIOS COMPRESSÃO

Identificação	Massa (g)	D <sub>Médio</sub>	H <sub>Médio</sub>	Área (mm <sup>2</sup> )	Força Máxima (N)	Tensão Máxima (MPa)	h/d	k1	k2	k3	k4	Tensão Máxima Corrigida (MPa)
<b>P42-N1</b>	3455	103,86	180,07	8479,00	196479,00	23,17	1,73	-0,02	0,06	0,05	-0,04	<b>24,30</b>
<b>V11b-N1</b>	3080	103,77	144,21	8462,00	276263,00	32,65	1,39	-0,05	0,06	0,00	-0,04	<b>31,56</b>
<b>L1-N2</b>	2120	103,69	108,82	8413,00	161402,00	19,18	1,05	-0,13	0,06	0,00	-0,04	<b>17,13</b>
<b>P31-N2</b>	3665	103,90	191,38	8446,00	258380,00	30,59	1,84	-0,01	0,06	0,05	-0,04	<b>32,34</b>
<b>L1-N3</b>	2840	103,70	144,85	8446,00	225137,00	26,66	1,40	-0,05	0,06	0,00	-0,04	<b>25,79</b>
<b>V18a-N3</b>	3510	103,47	186,56	8462,00	214017,00	25,29	1,80	-0,02	0,06	0,00	-0,04	<b>25,31</b>