

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**Helena Szortika Quadros**

**INFLUÊNCIA DOS MICROCLIMAS NAS MANIFESTAÇÕES  
PATOLÓGICAS DAS ESTRUTURAS DE PONTES E  
VIADUTOS**

Porto Alegre  
dezembro 2020

**HELENA SZORTIKA QUADROS**

**INFLUÊNCIA DOS MICROCLIMAS NAS MANIFESTAÇÕES  
PATOLÓGICAS DAS ESTRUTURAS DE PONTES E  
VIADUTOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul,  
como parte dos requisitos para obtenção de Mestre em  
Engenharia na modalidade de Acadêmico

**Orientadores: Luiz Carlos Pinto da Silva Filho e Ângela Gaio Graeff**

Porto Alegre  
dezembro 2020

**HELENA SZORTIKA QUADROS**

**INFLUÊNCIA DOS MICROCLIMAS NAS MANIFESTAÇÕES  
PATOLÓGICAS DAS ESTRUTURAS DE PONTES E  
VIADUTOS**

Essa dissertação de mestrado foi julgada adequada para obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA e aprovada em sua forma final pelos professores orientador e coorientadora pelo programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Porto Alegre, 15 de dezembro de 2020

**Prof. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho**  
PhD pela University of Leeds, UK  
Orientador

**Profa. Ângela Gaio Graeff**  
PhD. pela University of Sheffield, UK  
Coorientadora

BANCA EXAMINADORA

**Profa. Denise Carpena Coitinho Dal Molin**  
Dra. pela Universidade de São Paulo

**Prof. Pedro Castro Borges**  
Pós Dr. pelo Instituto de Ciências dela Construcción Eduardo Torroja

**Profa. Leila Cristina Menghetti Valverdes**  
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Denise Martins Chagas**  
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho à minha família  
que sempre me apoiou  
incondicionalmente

## AGRADECIMENTOS

Quando decidi que faria o mestrado em paralelo ao trabalho tinha consciência de que não seria fácil, porém sabia que com disciplina e a contribuição de minha família, amigos, colegas e professores conseguiria obter o título e mestre.

Agradeço aos meus orientadores Luiz Carlos e Ângela por terem acreditado em mim, pelas contribuições a este trabalho e, por mesmo em meio a pandemia tendo disponibilizado todos os equipamentos de que eu precisava.

Ao Engenheiro Toniolo do DAER sem o qual a realização deste trabalho não seria possível. Obrigada por me auxiliar na programação logística das vistorias e pesquisa por dados a respeito das obras. Agradeço também por ter conseguido espaço em sua agenda para durante um mês me acompanhar na vistoria das dez obras estudadas.

A equipe do DAER, em especial o Eng<sup>o</sup> Richard Lesh Polo da Diretoria de Infraestrutura Rodoviária e o Eng<sup>o</sup>. Jorge Henrique Vieira Fernandes da Superintendência de Obras de Arte Especiais – SOA os quais foram cruciais na aprovação da realização dos ensaios em campo. Agradeço da 1<sup>a</sup> Superintendência Regional de Esteio o Eng<sup>o</sup>. Ernesto Luiz Vasconcellos Eichler, o Eng<sup>o</sup>. Rodrigo Stieler Rodrigues e os ajudantes Lucas Vanz e Jian Bernardo da STE que juntamente com o Eng<sup>o</sup> Toniolo me acompanharam em campo para a vistoria das quatro primeiras pontes. Da 3<sup>a</sup> Superintendência Regional – Santa Cruz do Sul o Eng<sup>o</sup>. Leonardo do Amaral Ribeiro, o Eng<sup>o</sup>. Bruno Goettert da Magna e os ajudantes Gelson Luís dos Santos Velche e Ricardo Leal de Almeida também da Magna que juntamente com o Eng<sup>o</sup> Toniolo me acompanharam em campo para a vistoria de seis pontes.

A minha família por todo o apoio e incentivo durante toda a etapa e desenvolvimento deste trabalho.

Aos amigos, principalmente Ruane, que me serviu como inspiração e a quem eu estava sempre pedindo dicas. Aos meus colegas de mestrado, especialmente Anna, Bruna e Helena que romperam a minha barreira de sempre querer fazer trabalho sozinha devido a ter pouco tempo disponível, e sempre se adaptavam a minha agenda, mesmo que isso significasse ir a minha casa as 10h da noite para estudar.

Agradeço a todas as pessoas com quem trabalhei que sempre contribuíram para aumentar a minha paixão pelas Obras de Arte Especiais.

## RESUMO

As Obras de Arte Especiais, embora robustas, podem ser consideradas como o elo frágil das vias, pois o mau funcionamento de um dos seus elementos pode levar a estrutura inteira ao colapso. A Vida Útil mínima de Projeto (VUP) hoje normatizada no Brasil é de 50 anos, porém existem OAE's em utilização que possuem mais de 100 anos. É necessária a realização de manutenções periódicas para garantir que a curva de degradação fique sempre acima do nível mínimo necessário para o cumprimento da VUP. A demanda destas manutenções é gerada através das inspeções rotineiras que devem ser realizadas anualmente. O órgão detentor do maior número de obras de artes no Brasil (DNIT) possui a estimativa do estado de conservação de somente 25,3% das suas obras nos últimos cinco anos. Frente ao grande número de OAE's existentes em nosso país e a importância de torná-las mais duráveis assim como a necessidade de otimizar a sua vistoria e conservação, buscou-se com a realização deste trabalho a caracterização da influência dos microclimas nas manifestações patológicas nestas estruturas. Foram realizadas vistorias conforme a NBR 9452:2019 em dez pontes, onde foram mapeadas as manifestações patológicas, coletados dados ambientais de temperatura, umidade relativa do ar e nível de dióxido de carbono e realizados ensaios de carbonatação. De forma geral, os dados ambientais apresentaram umidade relativa e quantidade de dióxido de carbono menores onde a temperatura era maior. Na análise das manifestações patológicas das obras estudadas constatou-se que as lajes estão no mesmo microclima. Nos demais elementos não foi possível detectar através somente das manifestações patológicas uma tendência para a amostra estudada. A profundidade de carbonatação variou conforme o tipo de elemento estudado e o ano de construção. Notou-se que as lajes foram os elementos com menor profundidade carbonatada, o que pode ser atribuído ao microclima onde este elemento está inserido. Ou seja, as lajes recebem incidência direta da água da chuva, e embora também sejam atingidas por luz solar direta, a umidade relativa do macroclima e a frequência e volume de precipitações faz com que os poros do concreto estejam normalmente saturados. As vigas não são atingidas diretamente por chuva ou sol e recebem incidência perpendicular de vento, o que contribui para o aumento da taxa de carbonatação. As dimensões dos pilares fazem que haja o desprendimento do vento, assim embora nas mesmas condições ambientais que as vigas, este elemento apresentou menor profundidade carbonatada. Em 90% das obras estudadas a curva de deterioração para carbonatação encontra-se acima do esperado. Para o concreto utilizado o cobrimento mostrou-se ineficiente.

**Palavras-chave:** obra de arte especial; ponte; manifestação patológica; carbonatação; microclima; vistoria; concreto armado

## ABSTRACT

Although robust, the bridges can be considered the weak link of the roads since the malfunction of one of its elements can cause the entire collapse of the structure. The Project Lifespan standardized in Brazil is 50 years; however, there are bridges over 100 years old. Periodic maintenance is necessary to ensure that the degradation curve is always above the minimum level required to comply with the project's life. The demand for this maintenance is generated through routine inspections that must be carried out annually. In the last five years, the government agency with the highest number of bridges in Brazil (DNIT) has an estimate of the state of conservation of only 25.3% of the bridges. Considering many bridges existing in our country and the requirement to make them more durable and optimize their inspection and maintenance, we sought to characterize microclimates' influence on pathological manifestations in these structures. Inspections were carried out according to NBR 9452:2019 in ten bridges, pathological manifestations were mapped, environmental data of temperature, relative humidity, and carbon dioxide level being collected, and carbonation tests were carried out. In general, the environmental data showed lower relative humidity and the amount of carbon dioxide where the temperature was higher. In the analysis of the pathological manifestations of the studied bridges, it was found that the slabs are in the same microclimate. It was not possible to detect a propensity for the studied sample only by pathological manifestations in the other elements. The carbonation depth varied according to the element studied and the year of construction. It was noted the slabs were the elements with the lowest carbonated depth, which can be attributed to the microclimate where this element is inserted. That is, the slabs receive direct incidence of rainwater, and although they are also affected by direct sunlight, the macroclimate's relative humidity and the frequency and volume of rainfall cause the concrete pores to be commonly saturated. The beams are not directly affected by rain or sun and receive a perpendicular incidence of wind, contributing to the increase in the carbonation rate. The column dimensions cause the wind to detach, although, in the same environmental conditions as the beams, this element presented less carbonated depth. In 90% of the bridges studied, the deterioration curve for carbonation is above expectations. For the concrete used, the covering proved to be inefficient.

**Keywords: bridge; deterioration; damage; carbonation; microclimate; bridge inspection; reinforcement concrete**

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO .....	11
1.2 DELINEAMENTO DA PROPOSTA DE PESQUISA .....	15
1.3 OBJETIVOS .....	17
1.4 LIMITAÇÕES .....	18
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	18
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>20</b>
2.1 PRINCIPAIS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DE PONTES E VIADUTOS ....	20
2.1.1 Fissuras .....	20
2.1.2 Deformações - flecha.....	22
2.1.3 Corrosão de armaduras .....	23
2.1.4 Anomalias no concreto .....	24
2.1.4.1 Eflorescências .....	24
2.1.4.2 Manchas de umidade - biodeterioração .....	25
2.1.4.3 Desgaste superficial do concreto .....	26
2.1.4.4 Vazios ou Ninhos de concretagem .....	26
2.1.5 Aparelhos de apoios inoperantes .....	27
2.1.6 Juntas de dilatação obstruídas.....	28
2.1.7 Deslizamento de encontros e recalque de apoios .....	29
2.2 CORROSÃO POR CARBONATAÇÃO .....	30
2.3 VIDA ÚTIL DAS OAE'S .....	32
2.3.1 Modelos determinísticos.....	33
2.3.2 Modelos probabilísticos.....	34
2.4 FATORES QUE INFLUENCIAM O QUADRO PATOLÓGICO EM OAE'S EXISTENTES .....	37
2.4.1 Temperatura e incidência solar.....	37
2.4.2 Vento .....	38
2.4.3 Umidade Relativa .....	39
2.4.4 Chuva.....	39
2.4.5 Dióxido de Carbono CO <sub>2</sub> .....	40
2.4.6 Tensões atuantes nos elementos .....	41
2.4.7 Elementos verticais e horizontais .....	42
<b>3. MÉTODO DE PESQUISA .....</b>	<b>44</b>
3.1 OBRAS ESTUDADAS .....	45
3.2 COLETA DE DADOS .....	51

3.3	METODO PARA VISTORIA.....	51
3.4	METODOLOGIA PARA ENSAIOS .....	52
<b>4.</b>	<b>APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>59</b>
4.1	CONDIÇÕES DO MACROCLIMA .....	59
4.2	QUADRO PATOLÓGICO DAS OBRAS .....	60
4.2.1	Manifestações patológicas OAE 01 Ponte sobre o arroio Barnabé antiga .....	63
4.2.2	Manifestações patológicas OAE 02 Ponte sobre o arroio Barnabé nova .....	64
4.2.3	Manifestações patológicas OAE 03 Ponte sobre o arroio Sapucaia.....	65
4.2.4	Manifestações patológicas OAE 04 Ponte sobre a várzea dos Ferreiros.....	65
4.2.5	Manifestações patológicas OAE 05 Ponte sobre o Arroio Pinheiral.....	67
4.2.6	Manifestações patológicas OAE 06 Ponte sobre o arroio Passo do Sobrado.....	68
4.2.7	Manifestações patológicas OAE 07 Ponte sobre o arroio Passo das Carretas.....	69
4.2.8	Manifestações patológicas OAE 08 Ponte sobre o Arroio Zeca .....	70
4.2.9	Manifestações patológicas OAE 09 Ponte sobre o Arroio Quebrado .....	71
4.2.10	Manifestações patológicas OAE 10 Ponte sobre o Arroio Sabiá .....	72
4.2.11	Resumo da avaliação das manifestações patológicas .....	73
4.3	GRUPAMENTO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS .....	74
4.4	RESULTADOS DOS ENSAIO DE CARBONATAÇÃO.....	75
4.5	DADOS AMBIENTAIS MEDIDOS .....	80
4.6	ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS .....	83
4.6.1	Análise dos dados de carbonatação em comparação com a curva de evolução da carbonatação esperada .....	84
4.6.2	Comparativo entre o cobrimento encontrado e o cobrimento especificado .....	88
4.6.3	Análise dados ambientais .....	90
4.6.4	Análise dados do ensaio de carbonatação.....	91
4.6.5	Microclimas identificados .....	93
<b>5.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>94</b>
5.1	CONCLUSÕES.....	94
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	96
<b>6.</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>97</b>
<b>7.</b>	<b>APÊNDICE A – FICHAS DE INSPEÇÃO.....</b>	<b>103</b>
<b>8.</b>	<b>APÊNDICE B – DADOS PLANILHADOS .....</b>	<b>123</b>
<b>9.</b>	<b>APÊNDICE C – FOTOS ENSAIO CARBONATAÇÃO.....</b>	<b>132</b>
<b>10.</b>	<b>ANEXO A.....</b>	<b>162</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma resultados esperados. ....	17
Figura 2: Ocorrência de fissuras por expansão da armadura. ....	21
Figura 3: Fissuras geradas por reações expansivas na laje e viga (a) e fissuras geradas por reações expansivas no pilar (b). ....	22
Figura 4: Fissuras devido à flecha excessiva. ....	23
Figura 5: Armadura corroída no fundo da viga (a) armadura corroída na laje em balanço. ....	24
Figura 6: Eflorescências (a) e (b). ....	25
Figura 7: Mancha de umidade ocasionada pela falta de estanqueidade da junta de dilatação (a) e mancha de umidade ocasionada por dreno com comprimento insuficiente (b). ....	25
Figura 8: Desgaste superficial por erosão (a), desgaste superficial por cavitação (b) e desgaste superficial por abrasão (c). ....	26
Figura 9: Ninho de concretagem na intersecção da transversina com a viga (a) e ninho de concretagem na lateral da viga (b). ....	27
Figura 10: Manifestação patológica em neoprenes (a) e manifestação patológica em roletes metálicos (b). ....	28
Figura 11: Manifestação patológica em junta de dilatação (a) e manifestação patológica em junta de dilatação com exposição de armaduras. ....	28
Figura 12: Ala rompida no encontro (a) e erosão com perda de apoio da fundação (b) ....	30
Figura 13: Representação do avanço da frente de carbonatação ao longo do tempo ....	31
Figura 14: Representação dos dados de entrada e saída em um modelo determinístico. ....	33
Figura 15: Representação dos dados de entrada e saída em um modelo probabilístico. ....	35
Figura 16: Grau de carbonatação x Umidade relativa do ar. ....	39
Figura 17: Temperatura interna x Umidade. ....	40
Figura 18: Fissuras de flexão e cisalhamento em vigas. ....	42
Figura 19: Localização das obras. ....	45
Figura 20: Seção transversal da obra 01 (a) e Vista longitudinal da obra 01 (b). ....	46
Figura 21: Seção transversal da obra 02 (a) e Vista longitudinal da obra 02 (b). ....	46
Figura 22: Seção transversal da obra 03 (a) e Vista longitudinal da obra 03 (b). ....	47
Figura 23: Seção transversal da obra 04 (a) e Vista longitudinal da obra 04 (b). ....	47
Figura 24: Seção transversal da obra 05 (a) e Vista longitudinal da obra 05 (b). ....	47
Figura 25: Seção transversal da obra 06 (a) e Vista longitudinal da obra 06 (b). ....	48
Figura 26: Seção transversal da obra 07 (a) e Vista longitudinal da obra 07 (b). ....	48
Figura 27: Seção transversal da obra 08 (a) e Vista longitudinal da obra 08 (b). ....	49
Figura 28: Seção transversal da obra 09 (a) e Vista longitudinal da obra 09 (b). ....	49
Figura 29: Seção transversal da obra 10 (a) e Vista longitudinal da obra 10 (b). ....	49
Figura 30: Detector de CO <sub>2</sub> portátil. ....	52
Figura 31: Perfil longitudinal das obras estudadas. ....	53

Figura 32: Seção no balanço.....	53
Figura 33: Seção no apoio. ....	53
Figura 34: Pacômetro utilizado para verificação das armaduras (a), ensaio de pacometria em pilar (b) e marcação do ponto de extração com identificação (c).....	54
Figura 35: Extração do CP em viga (a), extração em laje (b), extração do CP em viga (c) e remoção do CP com marreta e formão (d). ....	55
Figura 36: Pesagem do indicador (a) e frasco da fenolftaleína (b).....	56
Figura 37: Etapa 01 ensaio carbonatação - limpeza com pincel (a) e medição (b). ....	56
Figura 38: Etapa 02 ensaio carbonatação - asperção de fenol (a) e registro do fundo do furo (b). ....	57
Figura 39: Etapa 03 ensaio carbonatação - rompimento do CP (a) e medição da profundidade carbonatada (b). ....	57
Figura 40: Etapas excepcionais - medição da profundidade (a) e ensaio das lascas (b). ....	58
Figura 41: Etapa 04 fechamento da viga (a) e do pilar (b).....	58
Figura 42: Imagem manifestações patológicas da obra 01.....	63
Figura 43: Imagem manifestações patológicas da obra 02.....	64
Figura 44: Imagem manifestações patológicas da obra 03.....	65
Figura 45: Imagem manifestações patológicas da obra 04.....	66
Figura 46: Imagem manifestações patológicas da obra 05.....	67
Figura 47: Imagem manifestações patológicas da obra 06.....	68
Figura 48: Imagem manifestações patológicas da obra 07.....	69
Figura 49: Imagem manifestações patológicas da obra 08.....	70
Figura 50: Imagem manifestações patológicas da obra 09.....	71
Figura 51: Imagem manifestações patológicas da obra 10.....	72
Figura 52:Tipos de pingadeira. A esquerda pingadeiras de projetos de 1975 a 1975 e a direita de projetos a partir de 1975. ....	75
Figura 53:Gráfico por elemento. ....	76
Figura 54: Gráfico % cobertura carbonatado vs tempo em anos para as lajes. ....	85
Figura 55: Gráfico % cobertura carbonatado vs tempo em anos para os pilares. ....	86
Figura 56: Gráfico % cobertura carbonatado vs tempo em anos para as vigas.....	87
Figura 57: Gráfico diferença percentual entre o k real e o k teórico calculado conforme parâmetros da tabela 7.2 da NBR 6118:2014.....	88
Figura 58: Gráfico diferença cobertura real para cobertura projetado em porcentagem....	89
Figura 59: Gráfico diferença cobertura real para cobertura da norma atual em porcentagem.....	90
Figura 60: Classificação profundidade de carbonatação. ....	93

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comparativo entre normas de inspeção brasileiras. ....	12
Tabela 2: Resumo características obras 01 a 05. ....	50
Tabela 3: Resumo características obras 06 a 10. ....	50
Tabela 4: Pontos analisados para o ensaio de carbonatação.....	53
Tabela 5: Média dos dados mensais das Estações Automáticas entre os anos de 2009-2018. Estação Automática:A801, Porto Alegre/RS e A813, Rio Pardo/RS. ....	59
Tabela 6: Quadro resumo obras com notas da vistoria de 2017.....	61
Tabela 7: Classificação da condição de OAE segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade. ....	62
Tabela 8: Resumo notas obras 01 a 05. ....	74
Tabela 9: Resumo notas obras 06 a 10. ....	74
Tabela 10: Cores classificação ensaio. ....	76
Tabela 11: Resultado ensaio carbonatação Obra 01.....	77
Tabela 12: Resultado ensaio carbonatação Obra 03.....	77
Tabela 13: Resultado ensaio carbonatação Obra 02.....	77
Tabela 14: Resultado ensaio carbonatação Obra 04.....	78
Tabela 15: Resultado ensaio carbonatação Obra 05.....	78
Tabela 16: Resultado ensaio carbonatação Obra 06.....	79
Tabela 17: Resultado ensaio carbonatação Obra 07.....	79
Tabela 18: Resultado ensaio carbonatação Obra 08.....	79
Tabela 19: Resultado ensaio carbonatação Obra 09.....	80
Tabela 20: Resultado ensaio carbonatação Obra 10.....	80
Tabela 21: Dados ambientais medidos Ponte sobre o arroio Barnabé antiga (OAE 01).....	80
Tabela 22: Dados ambientais medidos Ponte sobre o arroio Barnabé nova (OAE 02).....	81
Tabela 23: Dados ambientais medidos Ponte sobre o arroio Sapucaia (OAE 03). ....	81
Tabela 24: Dados ambientais medidos Ponte sobre a várzea dos Ferreiros (OAE 04). ....	81
Tabela 25: Dados ambientais medidos Ponte sobre o Arroio Pinheiral (OAE 05). ....	82
Tabela 26: Dados ambientais medidos Ponte sobre o arroio Passo do Sobrado (OAE 06). ....	82
Tabela 27: Dados ambientais medidos Ponte sobre o arroio Passo das Carretas (OAE 07). ....	82
Tabela 28: Dados ambientais medidos Ponte sobre o Arroio Zeca (OAE 08).....	83
Tabela 29: Dados ambientais medidos Ponte sobre o Arroio Quebrado (OAE 09).....	83
Tabela 30: Dados ambientais medidos Ponte sobre o Arroio Sabiá (OAE 10).....	83
Tabela 31: Resultado das análises ANOVA para os dados ambientais.....	91
Tabela 32: Resumo ANOVA ambiental.....	91
Tabela 33: Resumo das análises ANOVA para os dados de carbonatação. ....	92

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

AASHTO American Association of State Highway and Transportation Officials

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANOVA Analysis of Variance

BR Rodovia Federal

DNIT Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

DAER Departamento Autônomo de Estradas e Rodagem

FHWA Federal Highway Administration

FIB Fédération Internationale du Béton

NBR Norma Brasileira

OAE Obra de Arte Especial

OAE's Obras de Arte Especiais

SGO Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais

RILEM Reunion Internationale de Laboratoires d'Essais et Materiaux

T Temperatura

TCU Tribunal de Contas da União

UF Localização

UR Umidade Relativa

VDM Volume médio de tráfego

VUP Vida útil de projeto



## 1. INTRODUÇÃO

O presente capítulo apresenta a contextualização e justificativa para o tema escolhido, o delineamento da proposta, os objetivos, a estratégia da pesquisa, as limitações e a organização do trabalho. Primeiramente é realizada a fundamentação teórica da escolha do tema da pesquisa e sua importância, os demais subitens demonstram os passos para elaboração do trabalho.

### 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Obras de arte especiais como Pontes e Viadutos são estruturas construídas para transpor obstáculos, como rios, vales, outras vias, entre outros. Estes elementos são instalados ao longo do traçado de uma via para permitir a sua continuidade. A geometria das pontes e viadutos são definidas de acordo com a posição das cabeceiras, do tipo de obstáculo que transpõem, as demandas de tráfego, as medidas mínimas estabelecidas (geometria), nível de cheia máxima nas pontes entre outros aspectos (PFEIL, 1983; O'CONNOR, 1978, LEONHARDT, 1979 e MASON, 1977).

Acredita-se que as primeiras pontes surgiram de forma natural, este processo foi imitado pelo homem, inicialmente de forma rudimentar. As primeiras construções eram feitas em Pedra e algumas existem até hoje, por exemplo a Ponte da Caravana sobre o rio Meles em Izmir, na Turquia, que foi construída por volta de 850 a.C.. No início do século XVII iniciaram as construções de pontes de aço, porém se observou que essa estrutura exposta acabava sofrendo corrosão. Foram desenvolvidos novos materiais e novas técnicas construtivas buscando evitar essa manifestação patológica. Com o surgimento do concreto armado no século XX, pensou-se que o problema da corrosão estava resolvido através da adição de uma proteção física e química ao aço. Ao longo da vida útil das obras notou-se que o aço, mesmo dentro do concreto, continuava a corroer. A deterioração do concreto armado tornou-se um novo problema a ser resolvido.

A preocupação para que as pontes projetadas possuam durabilidade já existe desde a antiguidade. A obra de arte especial é o elo frágil de uma rodovia, embora estas construções sejam robustas, a falência de um elemento estrutural pode levar a estrutura inteira a colapso. Além das questões diretamente ligadas à queda como o dano à estrutura e a provável perda de vidas, a queda de uma ponte faz com que seja necessário realizar o desvio do trânsito para

estradas adjacentes, podendo vir a acrescentar quilômetros na rotina diária dos usuários. Mesmo uma obra contratada em caráter emergencial pode vir a levar anos para ser recomposta. Algumas inclusive não são reconstruídas e os usuários acabam por adotar medidas alternativas, como uso de balsas ou estradas vicinais. Por exemplo, a Ponte sobre o Rio do Peixe localizada em Alto Bela Vista, Santa Catarina, que colapsou em julho de 1983 e até hoje não foi reconstruída. Neste local os moradores de Alto Bela Vista utilizam uma balsa (35 min) para ir até Marcelino Ramos, ou fazem um trajeto de 56 km (1h) quando o original era de 7 km (10 min).

A malha viária do Brasil é composta por aproximadamente 1.735.621 km, dos quais 55.958 km são de pontes e viadutos (CNT, SEST SENAT, 2018). As rodovias brasileiras são divididas em federais, estaduais e municipais. Em nível federal o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT possui atualmente sob sua jurisdição 8157 estruturas (DNIT, 2017).

Para manter uma obra de arte especial em perfeito funcionamento é necessário que sejam realizadas manutenções regulares como desobstrução de drenos, limpeza de juntas e remoção de vegetações. Além destas manutenções, alguns itens das OAEs devem ser substituídos periodicamente, como aparelhos de apoio e juntas de dilatação, entre outros. A demanda de manutenções deve ser gerada através de vistorias. As duas principais normativas para a inspeção são a NBR 9452:2019 “Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimento” e a DNIT 010/2004 - Pro “Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido”.

Ambas as normas dividem as inspeções em cadastral, rotineira, extraordinária e especial. A periodicidade das vistorias é similar para quatro das cinco categorias, porém elas divergem quanto à vistoria rotineira, como mostra a Tabela 1.

**Tabela 1: Comparativo entre normas de inspeção brasileiras.**

<b>Tipo de vistoria</b>	<b>Periodicidade pela norma</b>	<b>Periodicidade pela norma</b>
	<b>NBR 9452:2019</b>	<b>DNIT 010/2004</b>
<b>CADASTRAL</b>	Única – no momento da construção	Única – no momento da construção
<b>ROTINEIRA</b>	Um ano	Dois anos
<b>EXTRAORDINÁRIA</b>	Não programada – avaliação de dano estrutural excepcional	Não programada – avaliação de dano estrutural excepcional
<b>ESPECIAL</b>	Cinco anos	Cinco anos

Através da análise dos últimos cinco anos do relatório de Gestão do DNIT constatou-se que foram realizadas 713 vistorias em 2018, 38 vistorias em 2017, 282 vistorias em 2016, 356 vistorias em 2015 e 672 em 2014, totalizando 2061 inspeções (DNIT, 2018;2017;2016). Existe estimativa do estado de conservação nos últimos cinco anos de somente 25,3% das obras. Isso demonstra que nenhuma das normas citadas está sendo seguida. O reflexo da falta de inspeção, diagnóstico e conservação das obras pode ser visto através dos acidentes que ocorreram nos últimos anos.

O Viaduto da Galeria dos Estados desabou em Brasília no ano de 2018 e, conforme trecho do relatório pericial, “Havia sinais externos de deterioração na estrutura típicos e passíveis de identificação técnica por profissionais devidamente habilitados, sendo possível apontar e corrigir as manifestações patológicas nas estruturas, não havendo que se falar em vício oculto” (CARONE, 2018). O Viaduto na Marginal Pinheiros cedeu 2 metros no dia 15 de novembro de 2018 e, conforme laudo do IPT “a degradação do viaduto nos pilares e na estrutura foi provocada pela falta de manutenção periódica pelos órgãos responsáveis” (IPT, 2019)

A cada obra de arte especial vistoriada é atribuída uma nota de 01 a 05, sendo 05 a OAE que se encontra em ótimo estado de conservação e 01 a OAE que se encontra em situação precária (DNIT, 2004a). A utilização da obra, exposição ao meio ambiente, falta de manutenções, entre outros fatores, interferem na degradação. Existem medidas necessárias para que as obras de arte especiais mantenham suas características resistentes, funcionais e estéticas para as quais foram projetadas. Para que a conservação das obras seja realizada, devem ser feitas inspeções que gerem a demanda. Teoricamente, o acompanhamento da evolução das notas deveria ser realizado através da atualização dos dados gerados nas vistorias anuais conforme preconiza a norma NBR 9452:2019.

Em trabalho desenvolvido em Pernambuco, Vítório e Barros (2013) analisou os danos estruturais e as condições de estabilidade de 100 pontes rodoviárias no Brasil. As condições de estabilidade das estruturas avaliadas foram de 0% em bom estado de conservação, 24% sem problemas importantes, 38% potencialmente problemática, 35% em estado grave (sofrível) e 3% em estado precário. O estudo indica que o nível de conservação está muito abaixo do necessário para manter a funcionalidade estrutural das obras.

Os países desenvolvidos já estão utilizando efetivamente os sistemas de gestão e conservação de Obras de Arte Especiais, por exemplo o NDOT do Departamento de Transporte de Nevada.

Estes são subsidiados por sistemas de inspeção, para assegurar que se tenham as informações necessárias para os processos de decisão relativos ao entendimento de demandas, sua priorização e programação. Através destes sistemas, torna-se possível manter as obras em um nível aceitável com o emprego otimizado de recursos, uma ótica de conservação e manutenção sustentável. Esta abordagem segue o recomendado por Frangopol (2018), que afirma que a gestão da infraestrutura rodoviária deve considerar a alocação de recursos escassos.

No Brasil, o sistema de gestão utilizado pelo DNIT é o SGO. Este sistema visa a obtenção de um inventário completo, atualizado e permanentemente disponível de todas as obras de arte especiais sob jurisdição deste órgão. Esta metodologia é voltada para o registro e análise de dados de inspeção.

Como mencionado anteriormente, para a alimentação dos sistemas de gestão devem ser realizadas as vistorias periódicas das obras de arte especiais. Buscando uma forma de se obter um diagnóstico mais completo das vistorias realizadas, foi identificada a necessidade do desenvolvimento de modelos de degradação. Esta metodologia visa, através dos dados das inspeções, calcular a evolução das notas por modelos matemáticos. Conforme Mocosó (2017), é necessário “Elaborar a previsão da condição das OAE’s, não só considerando as inspeções visuais, mas também tendo em conta resultados obtidos de ensaios não destrutivos.”

Frente à realidade do estado de conservação das obras de arte especiais existentes no Brasil e com base no exposto anteriormente, decidiu-se observar as manifestações patológicas em diferentes pontos de uma mesma obra de arte especial. Esse estudo busca a diminuição dos custos de vistoria, projetos e medidas de conservação.

As vistorias, quando otimizadas através da inserção do ensaio de carbonatação *in situ* e a aquisição de mais dados (ambientais), poderão gerar um diagnóstico mais preciso. Através de um melhor entendimento dos microclimas e estudo do real avanço da frente de carbonatação nos diferentes microclimas, é possível projetar a estrutura com um cobrimento maior nas zonas onde este avança com uma velocidade acima da prevista em norma e assim tornar a obra mais durável. A conservação da obra será mais sustentável e economicamente otimizada se for possível averiguar, através da realização dos ensaios, quais os pontos da estrutura estão carbonatados e necessitam de uma intervenção para que sua curva de deterioração volte aos níveis mínimos necessários.

## 1.2 DELINEAMENTO DA PROPOSTA DE PESQUISA

Conforme evidenciado anteriormente, frente à real falta de manutenção e conservação das OAE's Brasileiras, deve-se buscar entender melhor as estruturas e a forma com que as manifestações patológicas se manifestam. É importante ter uma previsão de como elas evoluem em cada elemento. Com base nisso será possível realizar alterações nas concepções de projetos novos para evitar problemas futuros. Pode-se também saber quais os elementos de obras já existentes devem ter uma atenção especial do inspetor e em quais é adequado a realização de ensaios.

Para esta caracterização é necessário identificar o macroclima em que a OAE está inserida e a quais agentes ambientais ela encontra-se exposta e os microclimas dos elementos estruturais. Acredita-se que a evolução patológica ocorra de forma diferenciada de acordo com o tipo e posição do elemento na OAE.

Conforme Nilsson (1996), as condições climáticas na superfície do concreto podem ser definidas pelo termo microclima. Essas condições podem ser caracterizadas por temperatura, umidade relativa, umidade, incidência de vento, salinidade, nível de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), entre outros. Trabalhos recentes abordaram a diferença da evolução patológica de Pontes e Viadutos expostos a diferentes macro e microclimas. Mitre (2005), em sua proposta de uma metodologia para inspeção e diagnóstico de pontes e viadutos de concreto, realizou a inspeção de uma obra de arte especial. Nas condições de exposição ele destacou os macroclimas e microclimas em que a estrutura se encontrava inserida. Os microclimas foram definidos conforme as ocorrências de corrosão encontradas no local. As partes abrigadas da chuva, como a laje entre vigas e face interna das vigas compunham um conjunto. As superfícies expostas a chuvas e ventos como os guarda-rodas e borda em balanço da laje, formam o segundo grupo. Zonas submetidas às condições anteriores e à água salobra formam o terceiro e último conjunto, são estas: face lateral externa e fundo das vigas.

As obras expostas a ambientes marítimos estão mais suscetíveis ao ataque de cloretos. Conforme Conciatori, Denarié, Sadouki e Brühwiler (2003), a penetração de íons cloreto em uma estrutura depende da composição do concreto e do microclima no qual o elemento está exposto como umidade, temperatura, concentração de sais e de degelo. Ele investigou o transporte capilar de água (respingo) e a exposição somente à umidade (névoa) e demonstrou que os perfis de concentração de cloreto são significativamente diferentes para os dois tipos de

exposição. Na criação de um modelo de classificação de grau de corrosão por cloretos em estruturas expostas a ambientes marinhos, Ukrainczyk, Pecur e Bolf (2007) constatou que as condições de exposição e o microclima são tão relevantes para o cálculo quanto a porosidade, relação água-cimento, teor de cimento e tipo de cimento. Através do estudo de pontes de concreto armado em ambientes marítimos, Moe, Zhao e Chan (2009) demonstrou que para pilares de pontes a corrosão das armaduras será iniciada em primeiro lugar na parte exposta à zona de variação das marés. Isso ocorre devido à concentração de cloretos na superfície do concreto.

Yazigi (2008) realizou ensaios de profundidade de carbonatação em dois viadutos. Através destes testes foi comprovado que existe uma influência da profundidade carbonatada em função do microclima. O trabalho evidencia que os modelos de previsão de vida útil devem considerar esta diferença.

Uma comparação entre dois tipos de utilização foi elaborada por Kubzova, Krivy e Kreislova (2018), através da comparação entre um viaduto sobre uma rodovia e um sobre uma ferrovia. Os resultados demonstram que para um ano de exposição, a corrosão da obra sobre a rodovia é mais que o dobro da outra.

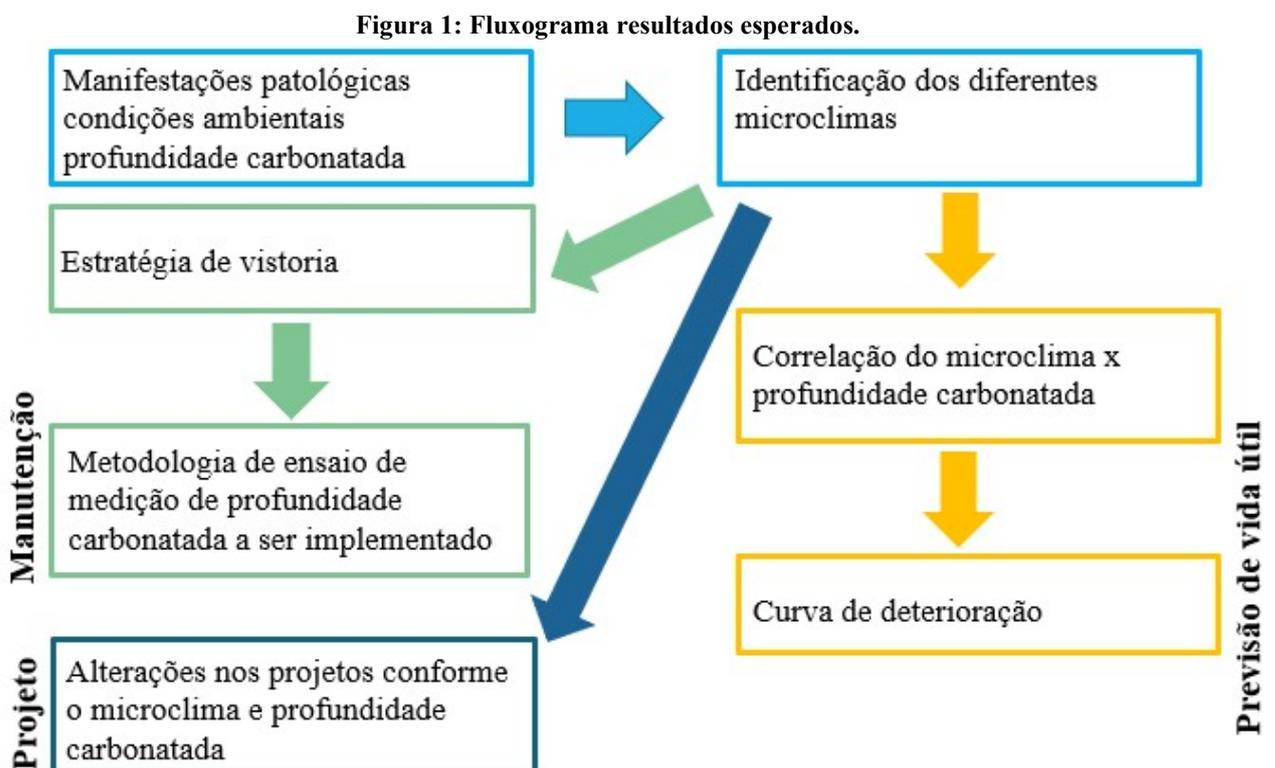
Visando a caracterização da evolução patológica de diferentes elementos em uma mesma OAE, busca-se respostas para as seguintes perguntas:

- Qual a correlação entre os microclimas e a evolução da profundidade de carbonatação?
- Conforme o quadro patológico, quais os diferentes microclimas de uma obra de arte especial?
- Como os resultados obtidos podem alterar a atual estratégia de vistoria?
- O que se deve alterar na atual concepção de projetos frente aos resultados obtidos?

Conforme demonstrado no esquema da Figura 1, através do levantamento das manifestações patológicas, condições ambientais e profundidade carbonatada dos elementos, será possível identificar os diferentes microclimas existentes em uma mesma obra de arte especial. Esta caracterização poderá subsidiar alterações na atual metodologia de vistoria, previsão de vida útil remanescente para carbonatação e concepção de projeto de obras novas.

Aferida a equivalência entre pontos estudados de uma mesma obra e os pontos cruciais (pontos que caso o recurso seja escasso devem ter seu ensaio priorizado) será possível desenvolver uma metodologia de ensaio de profundidade de carbonatação in situ a ser adotado nas vistorias atuais. Através da inclusão deste ensaio será possível aferir se a obra está acima ou abaixo da curva de deterioração prevista. Se esta estiver abaixo, as vistorias devem ser realizadas em um intervalo menor ou a obra deve passar por uma intervenção. Se estiver acima, as vistorias podem ser realizadas em um intervalo maior de tempo.

Através da caracterização dos microclimas, as obras podem ser projetadas levando em consideração as classes de agressividade da NBR 6118:2014, porém acrescentando cobertura ou mudando características nos elementos expostos a microclimas mais desfavoráveis para a durabilidade estrutural.



### 1.3 OBJETIVOS

Como objetivo principal deste trabalho busca-se, através da análise de 10 viadutos, correlacionar a incidência das manifestações patológicas com os diferentes microclimas em que uma Obra de Arte Especial está inserida e correlacionar o microclima com a evolução da profundidade de carbonatação. Como objetivos secundários busca-se, através da avaliação da

profundidade carbonatada encontrada, recomendar mudanças a serem realizadas no cobrimento das estruturas na fase de concepção de novos projetos e propor uma metodologia de ensaio de profundidade de carbonatação *in situ*.

#### 1.4 LIMITAÇÕES

As limitações desta pesquisa estão correlacionadas com a indisponibilidade de realizar estes estudos em todos os estados Brasileiros, estando ela limitada somente a dez obras presentes em uma mesma região climática do Rio Grande do Sul. O material constituinte das obras estudadas é somente o concreto armado.

#### 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

A pesquisa foi estruturada em cinco capítulos que serão descritos a seguir:

O primeiro capítulo engloba a contextualização, o delineamento da proposta de pesquisa, explicando a necessidade da realização de estudos sobre o surgimento das manifestações patológicas conforme o microclima em que o elemento está inserido e as suas implicações na rotina de vistorias, projetos e conservação das obras. Além dos objetivos a serem alcançados com o desenvolvimento do trabalho e as limitações.

No segundo capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica tratando de quatro temas específicos: (I) principais manifestações patológicas, (II) corrosão por carbonatação, (III) vida útil das OAEs e (IV) fatores que influenciam o quadro patológico em OAE's existentes. O primeiro visa embasar teoricamente a classificação das manifestações patológicas encontradas *in loco* nas dez obras estudadas. O segundo explica um pouco mais sobre o fenômeno que será estudado através dos ensaios realizados. O terceiro trata dos métodos de previsão de vida útil e os requisitos para que esta seja cumprida. A última parte contém os fatores que foram considerados relevantes para a definição dos microclimas.

No terceiro capítulo é descrito o método de pesquisa com a apresentação das obras que foram estudadas, procedimento da coleta de dados ambientais e do histórico do projeto, a metodologia utilizada para vistoria e ensaios.

No quarto capítulo é apresentada a análise dos resultados, sendo eles a condição do macroclima, o quadro patológico das obras, o grupamento de manifestações patológicas, os resultados dos ensaios de carbonatação, os dados ambientais medidos, a análise dos dados de carbonatação em comparação com a curva de evolução da carbonatação, o comparativo cobrimento encontrado e cobrimento especificado, a análise dos dados ambientais e a análise dos dados do ensaio de carbonatação.

Por fim, no quinto capítulo são apresentadas as considerações finais e sugestões para trabalhos futuros.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo apresenta-se primeiramente uma descrição detalhada das principais manifestações patológicas encontradas em Obras de Arte Especiais, com enfoque para as destacadas na norma NBR 9452:2019. Em seguida é descrito o processo de corrosão por carbonatação, manifestação patológica a ser abordada com maior enfoque nesta pesquisa. Também há uma explanação sobre requisitos de durabilidade e modelos de previsão de vida útil das OAE's. Por último são apresentadas as principais variáveis que influenciam na caracterização do microclima.

### 2.1 PRINCIPAIS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DE PONTES E VIADUTOS

A norma NBR 9452:2019 aponta como anomalias estruturais aspectos como: fissurações, flechas, anormalidades em armaduras, irregularidades no concreto, problemas nos apoios (mesoestrutura), desgastes nos aparelhos de apoio, falhas nas juntas e problemas nos encontros. Considerando os parâmetros funcionais das estruturas estas devem ser avaliadas quanto as anormalidades em elementos como drenagem, pistas, juntas, dispositivos de segurança e gabaritos.

#### 2.1.1 Fissuras

A Fissura é uma fratura linear no concreto que pode ser ocasionada por diversas origens. Segundo Souza e Ripper (1998) o concreto, por apresentar uma baixa resistência à tração, irá fissurar sempre que as tensões atuantes na peça ultrapassarem a sua resistência última, portanto, uma fissura somente será caracterizada como uma deficiência estrutural após a caracterização de sua origem e magnitude. Dal Molin (1988) caracteriza as fissuras em dois grupos, concreto fresco e concreto endurecido. As de concreto fresco são oriundas da fase de construção e podem ser divididas em assentamento plástico, dessecação superficial e movimentação das formas. O segundo tipo é originário de fatores climáticos e utilização, é composto por retração por secagem, movimentação térmica, corrosão da armadura, reações expansivas com sulfatos, reações expansivas com álcali/agregados, sobrecargas, detalhes construtivos e fundações.

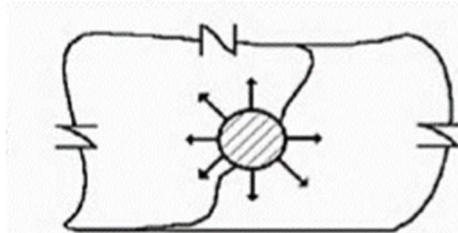
Conforme indicado na NBR 9452:2019, imediatamente após a conclusão da construção da obra de arte especial deve ser realizada uma inspeção cadastral. Neste trabalho não serão abordadas as fissuras ocasionadas na fase construtiva, pois estas já estarão registradas na ficha de inspeção cadastral.

Retração por secagem ocorre devido à saída da água do concreto em ar com baixa umidade relativa que ocasiona a contração volumétrica do concreto. Ela depende da umidade relativa do ar, relação água/cimento e do teor de agregado utilizado na mistura (DAL MOLIN, 1988).

As fissuras de movimentação térmica podem ser geradas pelos diferentes estados de tensões em uma mesma peça estrutural ocasionado pela variação de temperatura. Para evitar este tipo de fissura, as estruturas devem ser dimensionadas para as ações do meio ambiente e correta disposição de juntas de dilatação (SOUZA et al., 1998).

Há também as fissuras causadas pela corrosão de armaduras. Nesse caso, após a despassivação e corrosão da armadura, os produtos originários deste processo podem ocupar um volume seis vezes maior que o original (Figura 2), o que gera no concreto pressões de expansão que podem chegar a 40 MPa (CÁNOVAS, 1977). Conforme Souza et al. (1998), a corrosão pode se manifestar de três maneiras, generalizada, localizada e sob tensão.

**Figura 2: Ocorrência de fissuras por expansão da armadura. (SOUZA et al., 1988)**



Fissuras geradas por reações expansivas podem ser oriundas da reação do hidróxido de cálcio com sulfatos, de álcalis com sílica e de álcalis com carbono. As ocasionadas por sulfatos surgem na forma de pele de crocodilo aproximadamente seis meses após a concretagem. Esta reação ocorre conforme a disponibilidade de sulfatos solúveis, velocidade com que o sulfato removido pela reação é repostado, permeabilidade do concreto, quantidade de substâncias reativas presentes no cimento e água disponível (DAL MOLIN, 1988).

A ocorrência do fenômeno de RAA depende do teor de álcalis no concreto e da quantidade de agregados reativos. A reação álcali agregado gera um gel expansivo entre o agregado e a pasta, o que provoca tensões internas ao concreto que podem resultar em expansão e fissuração. Estas

fissuras normalmente surgem de uma a cinco anos após a construção. A fissuração se manifesta lentamente, de forma generalizada e em forma de mapa, podendo comprometer a capacidade estrutural da peça afetada (DAL MOLIN, 1988).

Segundo Souza et al. (1998), o concreto fissurado pode perder durabilidade dependendo do tipo de exposição, como ação das águas agressivas que penetram pelas fissuras e poros e o contato da armadura com o ar. Na Figura 3 (a) e (b) podem ser observadas fissuras geradas por reações expansivas.

Conforme Dal Molin (1988), as sobrecargas em estruturas geram fissuras que são caracterizadas de acordo com o esforço atuante, são estes tração, compressão, flexão e cisalhamento. Quando os esforços de tração ultrapassam a resistência do concreto surgem fissuras regulares e perpendiculares à direção do esforço. Ao contrário das fissuras originadas por tração, as de compressão surgem muito antes da peça estar próxima a sua ruptura. Nas fissuras de flexão, quando a tensão principal de tração atinge a resistência do concreto, ocorrem fissuras na fibra tracionada, conforme a magnitude dos carregamentos vai aumentando, as fissuras vão se expandindo. As fissuras de cisalhamento se manifestam na direção da fibra tracionada e podem ser caracterizadas por surgirem do apoio até o ponto de aplicação de carga.

**Figura 3: Fissuras geradas por reações expansivas na laje e viga (a) e fissuras geradas por reações expansivas no pilar (b). (fotos da autora)**



### 2.1.2 Deformações - flecha

Conforme a NBR 6118:2014, as flechas ocorrem de duas formas imediata ou diferida no tempo. As flechas imediatas ocorrem no momento da retirada dos escoramentos e aplicação da carga na estrutura, são função das dimensões das peças, vão e magnitude da carga aplicada. A flecha

diferida no tempo ocorre em função as cargas de longa duração e em função da fluência e da retração (Figura 4).

Quando as tensões na seção da viga excedem o valor da resistência do concreto à tração, este acaba por fissurar. Estas ocorrem perpendiculares às trajetórias das tensões principais de tração e tem a sua maior espessura próximo à base da viga e se expandem até a linha neutra do elemento, tendo na linha neutra a menor espessura (DAL MOLIN, 1988).

**Figura 4: Fissuras devido à flecha excessiva. (foto da autora)**



### 2.1.3 Corrosão de armaduras

A NBR 9452:2019 define como anomalias nas armaduras a corrosão e o rompimento deste elemento. O grau de criticidade da corrosão é dado pelo elemento onde essa se encontra e a porcentagem e perda de seção. A nota referente à ruptura também é dada de acordo com a classificação do elemento segundo a sua relevância no sistema estrutural. Conforme Helene (1993), a corrosão é associada a ações mecânicas ou físicas de degradação e pode ser de natureza química ou eletroquímica. No concreto armado ela pode se manifestar na forma de manchas superficiais oriundas dos produtos de corrosão, fissuras e deslocamento do concreto (Figura 5 (a) e (b)). A corrosão pode ser classificada segundo seu aspecto e distribuição, a generalizada, normalmente é causada quando a armadura é atingida pela frente de carbonatação e ocorre uniforme em uma mesma zona. A corrosão localizada é pontual e ocorre por ação de cloretos ou fissuras. E a corrosão sob tensão ocorre quando a solicitação no aço excede a sua tensão resistente. O tipo mais grave de corrosão é a localizada sob tensão de tração, pois neste caso a ruptura do elemento será de forma frágil, sem sintomatologia prévia antes de sua ruína.

A corrosão em estruturas de concreto armado é um dos problemas mais comuns nesta tipologia de obra. Esta anomalia diminui a resistência estrutural da peça e, conseqüentemente, reduz a

vida útil da estrutura. Além de gerar fissuras no concreto pela expansão dos produtos de corrosão, ela enfraquece a ligação entre concreto e aço, devido à perda da aderência (ISLAM, 2018).

**Figura 5: Armadura corroída no fundo da viga (a) armadura corroída na laje em balanço. (fotos da autora)**



#### 2.1.4 Anomalias no concreto

As principais manifestações patológicas do concreto são eflorescências, manchas de umidade, desgastes superficiais e ninhos de concretagem, além de fissuras e corrosão que já foram citadas anteriormente.

##### 2.1.4.1 Eflorescências

A infiltração da água no interior do concreto acaba por carrear o hidróxido de cálcio. A eflorescência em si é formada pelo acúmulo destes produtos na superfície do concreto, geralmente com coloração esbranquiçada, conforme é possível observar na Figura 6 (a) e (b).

De acordo com Dow e Glasser (2003), a eflorescência ocorre principalmente em superfícies verticais ou inclinadas. Os locais de surgimento desta manifestação patológica dependem do empoçamento ou acúmulo de água na superfície e do tempo que a ela permanece. A eflorescência provavelmente será mais severa em climas frios, pois a solubilidade do  $\text{CO}_2$  aumenta acentuadamente com a diminuição das temperaturas.

**Figura 6: Eflorescências (a) e (b). (fotos da autora)**



#### 2.1.4.2 Manchas de umidade - biodeterioração

Este tipo de deterioração pode se revelar através da formação de biofilme. Esta degradação compromete a durabilidade através do envelhecimento do concreto e interfere na integridade do elemento (SILVA e PINHEIRO, 2005).

Segundo Mitre (2005), a umidade proveniente da laje superior devido à falta de estanqueidade das juntas (Figura 7 (a)) é um problema típico dos dentes Gerber. Os drenos danificados (Figura 7 (b)) acabam por permitir a percolação de água na superfície da estrutura. Conforme NBR 7187:2003, estes dispositivos devem ser dimensionados de forma a permitir o perfeito escoamento de águas pluviais.

Ji-Dong, Tim, Neal e Ralph (1988) estudou a exposição do concreto a um fungo específico, o *Fusarium*, e os dados obtidos indicam que esta biodeterioração é capaz de degradar significativamente o concreto.

**Figura 7: Mancha de umidade ocasionada pela falta de estanqueidade da junta de dilatação (a) e mancha de umidade ocasionada por dreno com comprimento insuficiente (b). (fotos da autora)**

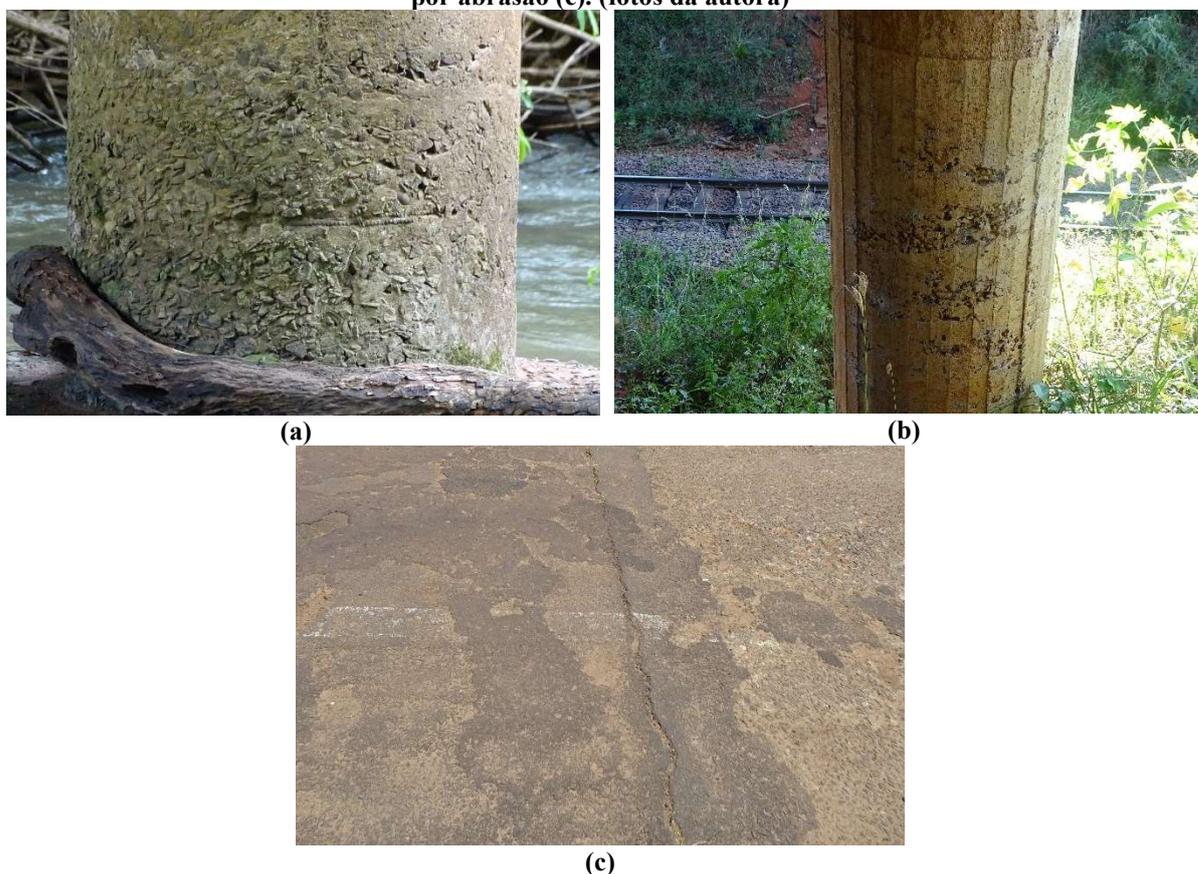


### 2.1.4.3 Desgaste superficial do concreto

De acordo com Mehta e Monteiro (2014), o desgaste superficial do concreto pode ocorrer de três formas distintas: pela erosão, abrasão e cavitação.

A ação abrasiva (Figura 8 (c)) é gerada principalmente pelos veículos trafegando sobre a obra. A erosão (Figura 8 (a)) normalmente é ocasionada através do impacto de partículas na estrutura que são carregadas por ar ou água. A cavitação (Figura 8 (b)) é a formação de pequenas cavidades oriundas do impacto de partículas carregadas por um meio fluido (SOUZA et al. 1998). Segundo Neville (1982) a abrasão e a erosão formam superfícies uniformemente desgastadas, já a cavitação é irregular.

**Figura 8: Desgaste superficial por erosão (a), desgaste superficial por cavitação (b) e desgaste superficial por abrasão (c). (fotos da autora)**



### 2.1.4.4 Vazios ou Ninhos de concretagem

Os vazios ou ninhos de concretagem podem surgir devido a inúmeros fatores como dosagem inadequada do concreto, diâmetro máximo do agregado graúdo inadequado, taxas excessivas de aço, configuração de armadura muito densa, espaçamento inadequado de armaduras,

lançamento realizado de forma ineficaz, adensamento ineficiente e perda de nata de cimento por problemas como aberturas nas formas ou falta de estanqueidade. Existem situações em que além dos agregados, as armaduras também ficam expostas. (VERLY, 2015).

Segundo Souza et al. (1998), quando ocorrem ninhos de concretagem estes devem ser preenchidos com concreto de resistência igual ou superior ao existente na estrutura. Esta correção dever ser realizada o mais breve possível.

Esta manifestação patológica é detectada na vistoria cadastral, porém como é possível observar na Figura 9 (a) e (b), algumas vezes estes vazios não são preenchidos. Nestes casos é necessário acompanhar a evolução da corrosão da armadura até que este nicho seja fechado.

**Figura 9: Ninho de concretagem na intersecção da transversina com a viga (a) e ninho de concretagem na lateral da viga (b). (fotos da autora)**



### 2.1.5 Aparelhos de apoios inoperantes

Conforme Poças (2009), os aparelhos de apoio são elementos utilizados para a transmissão de esforços na estrutura e na absorção de deslocamentos. O seu mau funcionamento pode ocasionar esforços originalmente não dimensionados nos elementos estruturais. Os apoios podem ser divididos em fixos, rotulados e deslizantes.

Durante a vistoria, deve ser verificado se existe mau funcionamento e desalinhamento dos apoios (WSDOT, 2018). Devido ao desgaste, em algumas situações, os aparelhos de apoio devem ser substituídos (WSDOT, 2017).

**Figura 10: Manifestação patológica em neoprenes (a) e manifestação patológica em roletes metálicos (b). (fotos da autora)**



Na Figura 10 (a) é possível observar um aparelho de apoio do tipo Neoprene fretado que sofreu um deslizamento no sentido longitudinal da obra. Na Figura 10 (b) um rolete que teve placas metálicas instaladas após alguns anos de uso da estrutura. Este travamento acabou gerando vínculos não dimensionados, o que provocou a quebra do topo do pilar.

### 2.1.6 Juntas de dilatação obstruídas

Os elementos instalados em pontes e viadutos para absorver esforços produzidos pelo vento, cargas de tráfego e expansão e retração geradas pelo aumento e diminuição de temperatura são denominados Juntas de dilatação (SUN e ZHANG, 2016). Segundo Kelly, Rebecca, Atadero, Hussam e Mahmoud (2018), as juntas de dilatação causam uma descontinuidade estrutural em uma obra.

**Figura 11: Manifestação patológica em junta de dilatação (a) e manifestação patológica em junta de dilatação com exposição de armaduras. (fotos da autora)**



Ramay e Wright (1997) ressalta que as juntas tendem a acumular sujeiras em seu interior. Quando a temperatura aumenta a estrutura expande e essa sujeira restringe o movimento da obra. Este impedimento acaba gerando tensões pontuais o que pode ocasionar no fraturamento das transversinas, das extremidades das vigas, e da cabeça dos pilares. Outro problema produzido pelo acúmulo de detritos pode surgir na ligação com a laje de transição, conforme é possível observar na Figura 11 (a).

Conforme este mesmo autor, as juntas também podem apresentar falta de estanqueidade, este problema acaba por permitir o escoamento de água nos elementos abaixo do tabuleiro, o que provoca degradação e falha prematura destes. Na Figura 11 (b) há outro caso apontado por Ramay et al. (1997), a exposição de armaduras em consequência do impacto dos pneus com um dos lados da estrutura.

A durabilidade das juntas de dilatação é uma constante preocupação para os gestores de OAE's, pois estes elementos sofrem danos com mais frequência do que os outros componentes da ponte (SUN et al., 2016). São elementos mais vulneráveis e que estão frequentemente necessitando de reparo e substituição (KELLY et al., 2018).

### 2.1.7 Deslizamento de encontros e recalque de apoios

Os recalques de fundações, conforme Souza et al. (1998), podem ser observados através do afundamento do solo no entorno do pilar e fissurações nas vigas. Estes podem ser detectados em inspeções especiais. De acordo com a magnitude do recalque e a sua evolução, é possível estimar a sua origem.

Conforme NBR 9452:2019 o “deslizamento de taludes de encontro gerando possível perda de base de apoio de fundações e ou empuxo ativo nos pilares” faz com que a essa obra seja atribuída a nota 01 – Crítica, ou seja, “A OAE encontra-se em elevado grau de deterioração, apontando problema já de risco estrutural.”

Na Figura 12 (a) é possível observar um encontro onde a ala encontra-se rompida em consequência de um empuxo ativo. Na Figura 12 (b) o pilar já perdeu a sua base de apoio e a estrada já apresenta erosão, estando uma pista superior interditada.

**Figura 12: Ala rompida no encontro (a) e erosão com perda de apoio da fundação (b) (fotos da autora).**

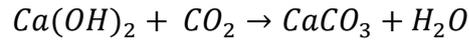


## 2.2 CORROSÃO POR CARBONATAÇÃO

Para subsidiar as notas atribuídas na realização da vistoria das dez estruturas avaliadas neste trabalho e o preenchimento da ficha de inspeção rotineira, foram apresentadas as manifestações patológicas mais recorrentes das obras de arte e suas caracterizações nos itens anteriores. Como foi possível observar, as manifestações patológicas como fissuras, flechas, armaduras expostas, biodeterioração, desgaste superficial do concreto, ninhos de concretagem, recalques de apoios, deslizamento dos taludes de encontros, problemas nos aparelhos de apoio e juntas de dilatação deficiente podem ser detectadas em análise visual. Existem processos físico-químicos não visíveis, que podem contribuir com a origem de muitas das manifestações patológicas citadas anteriormente, dentre estas pode-se citar carbonatação do concreto.

Os principais mecanismos de degradação nas pontes de concreto armado estão associados às situações de carbonatação e ao ataque de cloretos (BRANCO, 2012). O ataque de cloretos não será abordado neste trabalho, pois as obras estudadas estão inseridas em meios urbanos não localizados próximos a zonas marítimas.

Carbonatação é um complexo processo físico-químico onde o dióxido de carbono penetra nos poros do concreto e reage com compostos carbonatáveis do concreto (PARROTT, 1990; NBR 6118:2014; JIANG, ZHANG e ZOU, 2015). O dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) penetra nos poros através de difusão. Este reage com o hidróxido de cálcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) formando o carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ). O pH do concreto diminui devido ao produto da carbonatação  $\text{CaCO}_3$ . Na Equação 01 segue a reação química que ocorre na carbonatação:



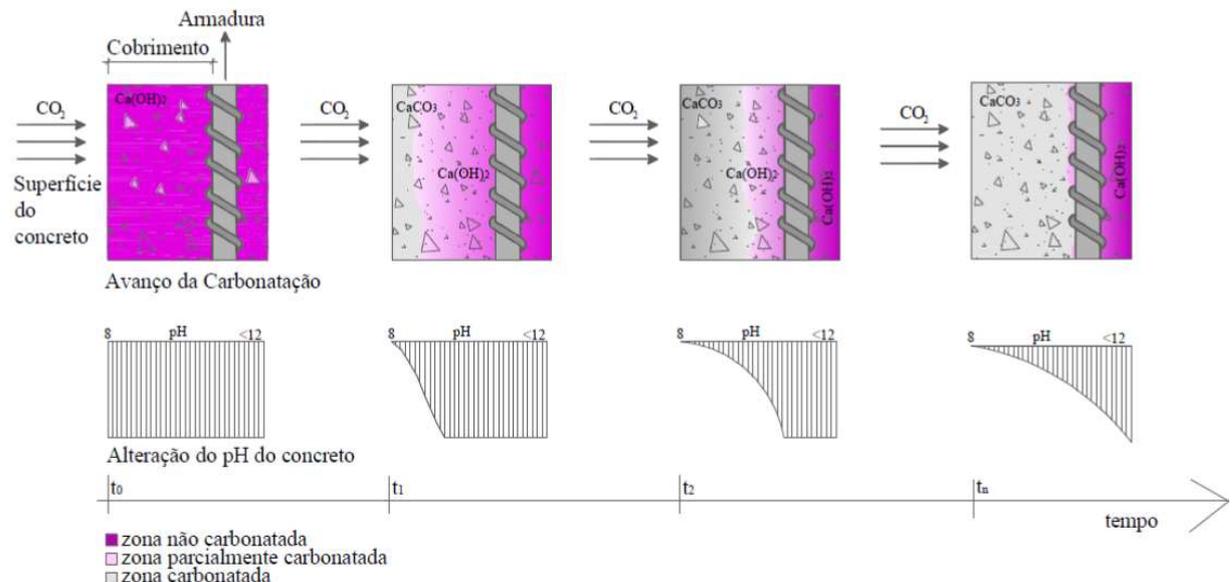
Equação 01

hidróxido de cálcio + dióxido de carbono → carbonato de cálcio + água

Normalmente o pH do concreto possui um valor aproximado de 12 ou maior, o que significa que este é básico - alcalino (PARROTT, 1990). Conforme Paul, Panda, Huang, Garg e Peng. (2010), após o fenômeno da carbonatação, o pH do concreto pode chegar a valores abaixo de 7, o que torna o material menos alcalino. Segundo Parrott (1990), a corrosão tende a iniciar quando o pH do concreto atinge 11, neste valor a camada protetora de óxido que circunda as barras de aço começa a desestabilizar e a corrosão tende a iniciar.

Na Figura 13 é possível observar o avanço da frente de carbonatação até o momento em que essa alcança a profundidade total do cobrimento e atinge as armaduras. Conforme Possan (2010), o avanço da carbonatação está diretamente ligado a fatores ambientais, condições de exposição e composição e execução do concreto. Estes fatores definem a facilidade que o dióxido de carbono possuirá para se alastrar no interior do elemento de concreto.

**Figura 13: Representação do avanço da frente de carbonatação ao longo do tempo, Possan (2010).**



“Para evitar este fenômeno o objetivo é dificultar a entrada dos agentes agressivos nos elementos de concreto, para isto, é essencial garantir o cobrimento das armaduras, controlar a fissuração e garantir a baixa porosidade do material;” NBR 6118:2014.

Para avaliar a carbonatação são utilizados modelos de cálculo que estimam a profundidade carbonatada. Os dados de entrada para estes, podem contemplar características do concreto, de execução, ambientais e de exposição. Os modelos para previsão de profundidade de

carbonatação e vida útil das estruturas e os fatores ambientais que influem na carbonatação e nas demais manifestações patológicas serão tratadas nos próximos subitens.

### 2.3 VIDA ÚTIL DAS OAE'S

Conforme a NBR 6118:2014, o requisito de desempenho em serviço de uma estrutura “Consiste na capacidade da estrutura manter-se em condições plenas de utilização durante a sua vida útil, não podendo apresentar danos que comprometam em parte ou totalmente o uso para qual foi projetada.” A Vida útil é o período decorrido em anos durante o qual a estrutura atende aos requisitos de uso e mantém suas características sem necessitar de reparos e intervenções. Para este conceito a estrutura pode ser avaliada como um elemento único ou por partes separadas. Alguns elementos, como juntas de dilatação, possuem vida útil muito inferior à do restante da estrutura e devem possuir um plano de manutenção diferenciado. Através da execução adequada, manutenção da estrutura e correta utilização, é possível atingir a VUP (NBR 6118:2014).

Os métodos para estimar a vida útil das estruturas de concreto armado por carbonatação, conforme Helene (1997), podem ser empíricos, com base em ensaios acelerados, por modelos numéricos e deterministas e por modelos probabilistas.

Os métodos empíricos buscam atingir a durabilidade da estrutura através do atendimento de exigências normatizadas que foram desenvolvidas com base em experiências anteriores (CARMONA, 2005). Os ensaios acelerados correlacionam estudos realizados em laboratório com estruturas expostas a condições reais, normalmente estes ensaios são mais aplicáveis ao auxílio na fase de projeto e construção (ANDRADE, 2001). Os modelos numéricos e deterministas consideram os fatores que promovem a degradação dos elementos estudados e a forma de manifestação, realizam a quantificação em função da degradação (SANTOS, 2010). Os modelos probabilistas realizam uma abordagem considerando as incertezas inerentes ao processo (ANDRADE, 2001).

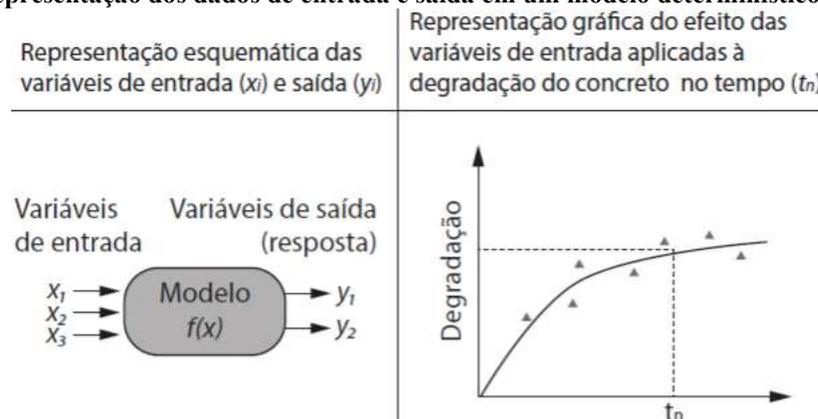
As normas de diversos países tratam de maneira diferenciada a previsão de vida útil de estruturas. A Norma americana - ACI 365-00 (2000) possui modelo de cálculo determinístico, semi probabilístico e probabilístico e apresenta fórmulas para obras novas e obras existentes. A Norma Japonesa - JSCE (2007) apresenta fórmula determinística e identifica a necessidade de um tratamento probabilístico ao problema da carbonatação. A Norma Espanhola - EHE (2010)

possui modelo de cálculo determinístico. A Norma Internacional - fib Model Code (2010) possui modelo de cálculo determinístico com abordagem probabilística. E a norma Brasileira - NBR 6118:2014 possui procedimento prescritivo para se obter a vida útil de projeto – abordagem empírica (deemed-to-satisfy).

### 2.3.1 Modelos determinísticos

Método baseado nos mecanismos físicos relacionados à deterioração das estruturas (HELENE, 1997). Estes modelos, conforme Lima, Mazer, Brito, Morelli e Lecioni (2016), são utilizados quando os indicadores do modelo geram um único resultado e não se considera a dispersão da degradação. Na Figura 14 pode ser observada a representação dos dados de entrada e saída em um modelo determinístico.

**Figura 14: Representação dos dados de entrada e saída em um modelo determinístico, Possan (2010).**



Os métodos determinísticos foram desenvolvidos através das equações de Darcy, Arrhenius, Laplace e das Leis de Fick que correlacionam o transporte dos íons através dos poros do concreto ao estudo do transporte dos gases (ANDRADE, 2001). Conforme Tuutti (1982), Fick foi o primeiro, em 1855, a descrever o fenômeno da difusão através da primeira lei de Fick. Este é o método mais antigo para prever a profundidade de carbonatação.

O modelo desenvolvido por Tuutti (1982) foi baseado na abordagem da raiz quadrada, conforme a equação 02.

$$e_c = k \cdot \sqrt{t} \quad \text{Equação 02}$$

onde,

$e_c$  = profundidade de carbonatação (mm);

$k$  = coeficiente de carbonatação m/s;

$t$  = tempo decorrido (anos).

O  $k$  é a relação entre a concentração de  $\text{CO}_2$  no ambiente, quantidade de substâncias passíveis de sofrerem carbonatação no concreto e a difusividade efetiva para  $\text{CO}_2$  do concreto. Para obras existentes, o  $k$  é a profundidade carbonatada em uma certa idade dividida pela raiz do tempo.

As abordagens deterministas baseiam-se no estudo dos fatores que influenciam a carbonatação, na compreensão de seus modos de ação e na transformação de seus efeitos em funções de degradação (SANTOS, 2010). Segundo Chang, Maguire e Sun (2017), esta metodologia assume que o desempenho das pontes ao longo da vida útil pode ser descrito através das variáveis idade e dados obtidos em inspeções.

Conforme Kazmierczak (1995), quando se utilizam métodos determinísticos para calcular a profundidade de carbonatação, a medida obtida normalmente é superior àquela realmente carbonatada.

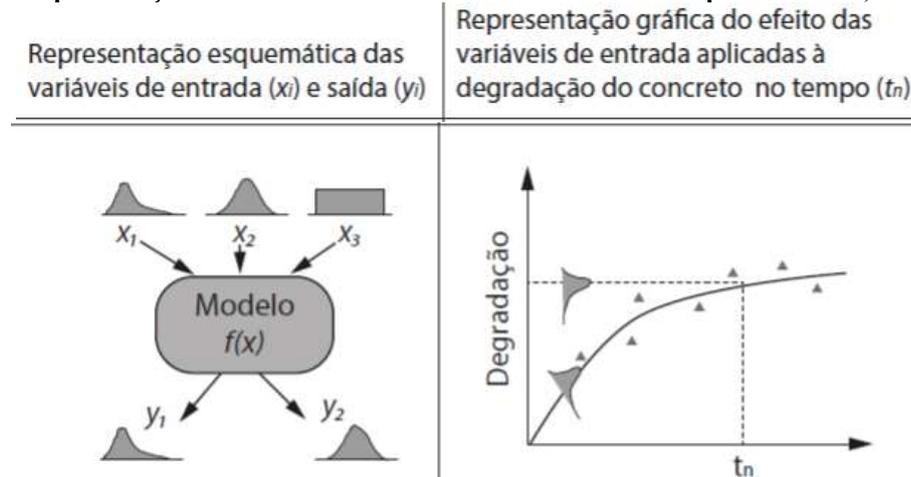
De acordo com Bush, Henning, Raith e Ingham (2017), a principal limitação do método determinístico é que um mesmo conjunto de entradas irá gerar sempre os mesmos resultados. Conseqüentemente duas pontes com as mesmas características de construção e inseridas no mesmo ambiente, terão como resultado os mesmos valores de profundidade de carbonatação ao longo do tempo.

### 2.3.2 Modelos probabilísticos

Os modelos probabilísticos são utilizados quando o objetivo da modelagem é determinar uma probabilidade de falha da estrutura, sendo também eficientes para avaliar a sensibilidade de diferentes parâmetros na vida de serviço (SUDRET, 2007). Os modelos probabilísticos estão sendo abordados, atualmente, através da teoria da confiabilidade (ANDRADE, 2001). Para a utilização desta abordagem é necessária à coleta de informações reais durante um período considerável (HELENE e CASTRO-BORGES, 2010). Estes modelos definem a probabilidade de degradação para cada propriedade durante um certo período (COUTO, 2017).

Para poder estimar a vida útil da estrutura calcula-se a probabilidade de ocorrência de falha através de uma função, em que é necessário o conhecimento da média, desvio padrão, e a distribuição de probabilidade das variáveis aleatórias consideradas (DAL MOLIN, 2010). Conforme a Figura 15, para este tipo de modelo são consideradas variabilidades nos dados de entrada e nas respostas obtidas.

**Figura 15: Representação dos dados de entrada e saída em um modelo probabilístico, Possan (2010).**



Na equação 03 é possível observar o formato do modelo probabilístico para o estado limite de despassivação da armadura e estado limite de fissuração causado pela carbonatação apresentada por Couto (2017).

$$p \{ \} = p_{des.} = p \{ c - x_c(t_{SL}) < 0 \} < p_0 \quad \text{Equação 03}$$

onde:

$p \{ \}$  = probabilidade de que a despassivação aconteça;

$c$  = cobrimento da armadura, em mm;

$x_c(t_{SL})$  = profundidade da frente de carbonatação no tempo  $t_{SL}$ , em mm;

$t_{SL}$  = vida útil de projeto, em anos;

$p_0$  = probabilidade de falha aceitável.

$$p \{ \} = p_{crack} = p \{ \Delta r(R) - \Delta r(S)(t_{SL}) < 0 \} < p_0 \quad \text{Equação 04}$$

onde:

$p \{ \}$  = probabilidade de que a fissuração induzida pela carbonatação ocorra;

$\Delta r(R)$  = Incremento máximo do raio da armadura induzido pela corrosão que pode ser acomodado pelo concreto sem formação de fissuras na superfície do concreto, em  $\mu\text{m}$ ;

$\Delta r(S)(\text{tSL})$  = Incremento do raio da barra de armadura pela corrosão, em  $\mu\text{m}$ ;

tSL = vida útil de projeto, em anos;

$p_0$  = probabilidade de falha aceitável;

$\Delta r(R)$  e  $\Delta r(S)(\text{tSL})$  as variáveis precisam ser definidas em termos probabilísticos.

O modelo do ACI 365-00 (2000) apresenta variabilidade na profundidade da carbonatação determinada por uma função de densidade normal.

$$f(x, x_0; t) = \frac{1}{\sigma(2\pi t^{1/2})} \exp\left\{-\frac{(x-x_0-\mu.t^{1/2})^2}{2.\sigma^2 t^{1/2}}\right\} \sigma^2(t_1) = \sum_{j=1}^n \left[\frac{\partial t_1}{\partial x_1}\right]^2 \quad \text{Equação 05}$$

onde,

$f(x, x_0; t)$  = função da profundidade de carbonatação e função do tempo;

t = idade do concreto;

$x - x_0 - \mu.t^{1/2}$  = média;

$2.\sigma^2 t^{1/2}$  = variância;

x = profundidade efetiva do cobrimento de concreto;

$\sigma(t_1)$  = desvio padrão da vida útil;

$\frac{\partial t_1}{\partial x_1}$  = derivada do tempo em relação ao cobrimento;

n = número de variáveis.

Através da abordagem probabilística é possível caracterizar a natureza do dano e o seu estado global na estrutura (CARMONA, 2005). Devido a inúmeras fontes de incerteza nos modelos de degradação, uma abordagem probabilística é mais adequada que uma determinística para a previsão de vida útil remanescente de estruturas (ALMEIDA, 2013). Conforme Chang et al.

(2017), a metodologia probabilística foi desenvolvida para englobar a incerteza e a aleatoriedade dos modelos e comportamentos de deterioração.

## 2.4 FATORES QUE INFLUENCIAM O QUADRO PATOLÓGICO EM OAE'S EXISTENTES

O projeto de uma OAEs deve considerar as características presentes no local de implantação que influenciam na sua vida útil. A NBR 6118:2014 define diferentes características de projeto em função da classe de agressividade ambiental. Conforme Nilsson (1996), a vida útil de uma estrutura de concreto não é dependente somente das propriedades dos materiais, a durabilidade é função de uma combinação entre características dos materiais empregados e parâmetros microclimáticos do ambiente onde encontra-se inserido. Segundo Moe et al. (2009), existem relações entre as condições microclimáticas e as condições climáticas do ambiente. Conforme este mesmo autor, os perfis microclimáticos atuando na superfície do concreto não podem ser caracterizados diretamente pelo clima regional.

Os fatores a serem abordados neste trabalho que influenciam no quadro patológico das obras são:

- a) variação de temperatura e incidência solar;
- b) incidência e velocidade do vento;
- c) umidade relativa do ar;
- d) incidência de chuva nas superfícies;
- e) dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>);
- f) tensões atuantes no elemento.
- g) posição do elemento;

### 2.4.1 Temperatura e incidência solar

Conforme Nilsson (1996), um dos fatores de grande influência nos processos de deterioração é a temperatura. Segundo o mesmo autor, a incidência direta da radiação solar ao longo do dia

aumenta a temperatura das superfícies, podendo esta ser maior que a temperatura do ambiente. O fluxo de calor depende da localização da obra, dos elementos do entorno que geram sombra sobre a estrutura, da incidência de vento e posição do elemento. Segundo Tuutti (1982), o aumento da temperatura significa uma facilitação no transporte de substâncias, pois há um aumento da mobilidade das moléculas que formam a estrutura interna do concreto. Em climas muito frios, o concreto dentro dos poros irá congelar, o que irá dificultar o movimento das substâncias.

Diferenças de temperaturas ocorrem entre elementos que estão ou não expostos diretamente ao sol. Conforme a norma JSCE (2007), deve ser considerada a localização da estrutura (macroclima) e as condições climáticas no seu entorno (mesoclima). As variações de temperatura conforme NBR 6118:2014 dependem do local onde a obra está inserida e das dimensões dos componentes estruturais.

A variação de temperatura gera diferentes estados de tensões em uma peça, as fissuras de movimentação térmica são geradas por essas diferenças (DAL MOLIN, 1988). A taxa de carbonatação do concreto exposto à luz solar e localizado em uma fachada sul de uma estrutura tende a ser maior do que o concreto exposto à chuva em um ambiente relativamente úmido (JSCE, 2007). Se houver acúmulo de água, quanto menor for a temperatura do local onde o elemento está inserido, maior será a probabilidade do surgimento de eflorescências, pois com a diminuição das temperaturas aumenta a solubilidade do CO<sub>2</sub> acentuadamente (DOW et al., 2003). A taxa de corrosão do aço após a sua iniciação pode ser descrita pela umidade do ar, temperatura e quantidade de O<sub>2</sub> disponível (TUUTTI, 1982).

#### 2.4.2 Vento

O concreto encontra-se desprotegido quando está exposto ao vento e ao sol (CÁNOVAS, 1977). A norma NBR 6118:2014 prescreve que os esforços devido ao vento devem ser determinados de acordo com a NBR 6123:1988. A velocidade da evaporação da água no concreto tem o seu valor definido de acordo com a incidência do vento e a sua velocidade, além das características superficiais do elemento (CÁNOVAS, 1977). A velocidade do vento próximo à superfície, a forma e a textura do elemento influenciam na temperatura da estrutura (NILSSON, 1996).

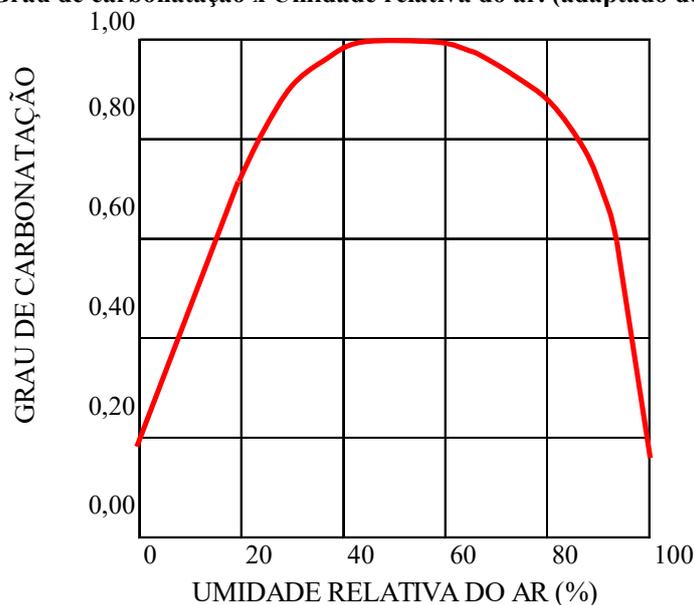
Conforme Li, Yuan, Liu, Du e Li (2011), a direção do vento e a sua velocidade influenciam na taxa de carbonatação do concreto, ela é maior quanto maior for a velocidade do vento e para a

mesma velocidade, a taxa de carbonatação é a maior para a incidência de vento perpendicular ao elemento.

### 2.4.3 Umidade Relativa

Segundo Cánovas (1977), a carbonatação depende da umidade relativa do ar. Este fenômeno possui sua maior velocidade de propagação a uma umidade relativa de 60%, conforme é possível observar na Figura 16. A durabilidade e a vida útil de uma estrutura de concreto são dependentes da umidade do ar (NILSSON, 1996).

Figura 16: Grau de carbonatação x Umidade relativa do ar. (adaptado de Cánovas (1977))



Diversas manifestações patológicas são influenciadas pela umidade relativa (UR), como carbonatação, fissuração, corrosão, entre outras. Segundo Dal Molin (1988), a intensidade das fissuras geradas pela retração por secagem é influenciada pela umidade relativa do ar. A umidade relativa (UR) juntamente com o oxigênio podem, também, acelerar o processo de corrosão das armaduras após este já ter iniciado (CÁNOVAS, 1977).

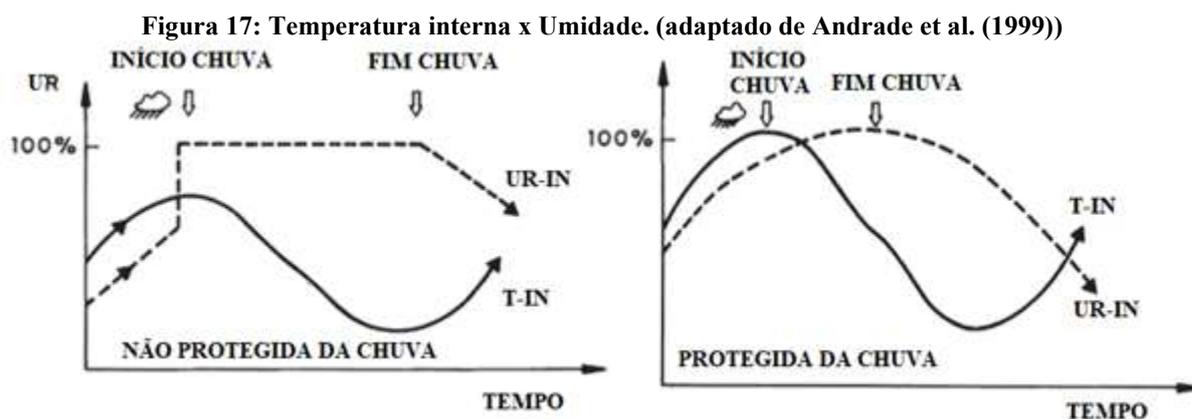
### 2.4.4 Chuva

A ação da chuva no elemento é influenciada pelas correntes de ar ao redor da estrutura. A água que realmente atinge a estrutura é a que caracteriza o microclima (NILSSON, 1996). Em lugares onde ocorrem tufões existe uma combinação entre a água da chuva e ventos em maiores

velocidades, segundo Liauw (1974) essa combinação gera um aumento da pressão exercida pela chuva na superfície dos elementos e faz com que um maior volume de água penetre no concreto.

Os elementos da OAEs podem ser divididos em ao ar livre protegido da chuva e ao ar livre exposto a chuva (TUUTTI, 1982). A carbonatação tende a ocorrer mais rapidamente nos elementos protegidos da chuva, pois a água nos poros diminui a penetração de dióxido de carbono no concreto (SAETTA, SCHREFLER e VITALIANI, 1995).

Segundo Andrade, Sarría e Alonso (1999), quando chove, a quantidade de água no concreto exposto aumenta drasticamente, ela é absorvida na superfície e penetra por capilaridade em seu interior. Para o elemento exposto, a quantidade final de água no concreto dependerá do período de duração da chuva (Figura 17 esquerda). Para o elemento coberto o aumento da umidade ocorrerá de acordo com o aumento da UR do ambiente (Figura 17 direita).



“Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe de agressividade ambiental acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.” (NBR 6118:2014).

O acúmulo de água sobre as estruturas pode gerar manifestações patológicas como sobrecargas, eflorescências, entre outras. Conforme a NBR 6118:2014, a água da chuva deve ser drenada sobre elementos de concreto para evitar o seu acúmulo.

#### 2.4.5 Dióxido de Carbono CO<sub>2</sub>

Uma das principais causas de corrosão química no concreto são os gases contidos na atmosfera, como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Estes gases são originários da combustão dos derivados de

petróleo empregados em meios de tração e geram atmosferas contaminadas próximas à superfície dos elementos. Juntamente com a umidade do ambiente e composição do concreto, os gases poderão desencadear o processo de corrosão (CÁNOVAS, 1977).

De acordo com Tuutti (1982), a concentração de CO<sub>2</sub> deve ser verificada em estruturas próximas a zonas industriais ou que possuam alto tráfego de veículos. Segundo Ho e Lewis (1987) os fatores ambientais que mais afetam a carbonatação são a concentração de dióxido de carbono, umidade e temperatura.

Com os efeitos das mudanças climáticas, em alguns ambientes estão ocorrendo aumento de temperatura e de concentração de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), estes fatores combinados estão gerando um aumento da taxa de carbonatação do concreto devido ao aquecimento global (WANG, STEWART e NGUYEN, 2012 e MONDORO, 2017).

Este fator ambiental está diretamente ligado à carbonatação do concreto. A concentração deste gás na atmosfera começou a aumentar durante a revolução industrial no final do século XVIII.

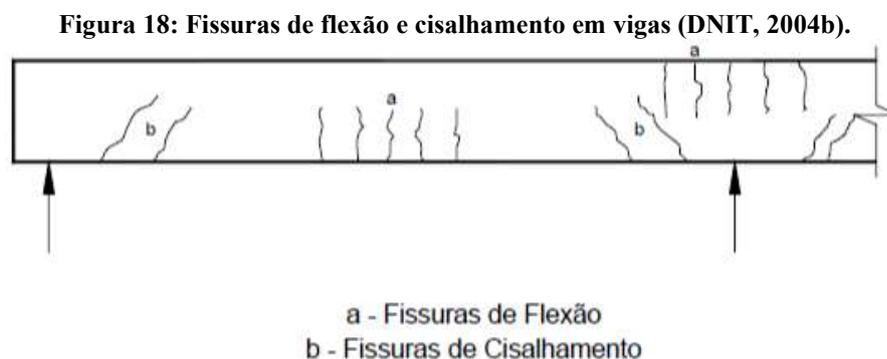
#### 2.4.6 Tensões atuantes nos elementos

O concreto possui baixa resistência à tração. Sendo assim, quando a estrutura é colocada em carga ele tende a fissurar (CROUCH e WOOD, 1990). Conforme Castel, A.; Francois e Arliguie (1999), acredita-se que um elemento submetido a esforços de tração possui maior profundidade carbonatada que um em compressão.

Os veículos que transitam em Obras de Artes Especiais sofrem um acréscimo de carga constante, obras anteriormente dimensionadas para TB36 ou TB24 hoje possuem veículos rodantes com TB45 ou superior. Estas sobrecargas podem gerar esforços que excedem a capacidade de resistência das peças estruturais. Este acréscimo pode gerar fissuras e em alguns casos até o colapso. Embora as estruturas possuam placas de sinalização indicando o TB permitido, esta sinalização muitas vezes não é respeitada.

O dimensionamento de uma estrutura segundo o preconizado pela NBR 6118:2014 considera uma abertura máxima de fissura admissível de 0,2 a 0,4 mm. Durante a realização de vistorias os limites de aberturas de fissuras constantes nesta norma são utilizados como balizadores para

a atribuição das notas aos elementos. Na Figura 18 é possível observar a forma de manifestação das fissuras de flexão e cisalhamento (DNIT, 2004b).



Jiang, Huang e Zhang, (2018) avaliou os efeitos da fadiga e das mudanças climáticas em OAE's. O autor demonstrou que os danos relativos à fadiga podem influenciar na profundidade de carbonatação e que a lei proporcional entre a profundidade da carbonatação e a raiz quadrada do tempo de serviço pode ser invalidada com as mudanças climáticas. Devem ser considerados os impactos da fadiga e da mudança climática em previsões de vida útil.

#### 2.4.7 Elementos verticais e horizontais

Conforme a posição da superfície do elemento, vertical ou horizontal, será a intensidade do fluxo de calor da radiação solar (NILSSON, 1996). As arestas dos elementos tendem a ser mais vulneráveis à corrosão (CÁNOVAS, 1977).

Elementos horizontais, como lajes e fundo de vigas, tendem a apresentar eflorescências e fissuras. Quando a dimensão da pingadeira é inadequada, apresentam também manchas, biodeterioração, deslocamento e armaduras expostas ocasionados pelo escoamento de água.

As manifestações patológicas mais recorrentes em elementos verticais, como pilares de viadutos são armaduras expostas e fissuras. Os pilares de pontes possuem no comprimento de variação do nível da água (doce) abrasão do concreto. Conforme Souza et al. (1998), em centros urbanos pode ocorrer a exposição da estrutura a uma solução concentrada de amônia oriunda da urina. Existem também casos de exposição ao fogo, segundo Souza et al. (1998), o calor não se propaga com facilidade para o interior do elemento, porém ele age na superfície, podendo propiciar a calcinação do concreto.

As vigas e transversinas possuem faces verticais e horizontais, esses elementos possuem propensão a manifestações patológicas como armaduras expostas e fissuras. Se os drenos possuírem dimensões inadequadas ou comprimento insuficiente, poderá ocorrer o escoamento de água na face lateral da viga o que gera manchas e biodeterioração.

### 3. MÉTODO DE PESQUISA

Este capítulo especifica as quatro etapas da realização deste estudo que são escolha das obras estudadas, coleta de dados e metodologia para vistorias e ensaios.

Primeiramente foram definidos os critérios para a escolha das obras e o órgão detentor da gestão e conservação delas. Para se obter uma real representatividade dos elementos estudados, buscou-se obras similares para que estas pudessem ser comparáveis. A superestrutura das OAEs escolhidas é composta por lajes e vigas de concreto amado, sendo duas longarinas. A mesoestrutura é composta por dois pórticos de concreto armado. O órgão escolhido para a realização dos estudos foi o DAER. Este forneceu uma lista que continha as características estruturais das obras sob sua gestão assim como a sua localização. Da lista foram escolhidas 50 obras com as mesmas características estruturais. Em reunião juntamente com o DAER foram selecionadas as 10 mais próximas de Porto Alegre para a realização dos estudos.

A segunda etapa foi a de coleta de dados onde foi realizado um levantamento das informações sobre as estruturas e o ambiente no qual estão inseridas. Foi realizada uma busca pelo projeto original para identificação do ano de construção e outras informações, como trem tipo e concreto utilizado. Também foi levantado o histórico de manutenções e intervenções. Após a caracterização da estrutura com base em pesquisa documental, foi realizada a definição do macroclima e mesoclima para cada OAE de acordo com a sua localização. Foram levantados dados de temperatura, umidade relativa e histórico de chuvas. Nesta etapa também foi necessário identificar individualmente as condições de acesso ao local, bem como definir os equipamentos e a equipe adequados para cada inspeção.

A terceira etapa compreendeu a vistoria in loco das OAEs selecionadas para a pesquisa. Estas foram realizadas na metodologia rotineira descrita na norma NBR 9452:2019. Este passo visou obter a nota que seria atribuída à estrutura caso a vistoria fosse realizada conforme metodologia utilizada atualmente no Brasil. As pontes foram vistoriadas juntamente com equipe do DAER, sendo que as obras um a quatro com o apoio da equipe da 1ª Superintendência Regional – Esteio, e as obras cinco a dez com o apoio da 3ª Superintendência Regional – Santa Cruz do Sul, e todas elas também foram acompanhadas pela Superintendência de Obras de Arte Especiais – SOA.

A quarta etapa foi a de ensaios in loco das OAEs, nela foram realizadas medições de umidade relativa do ar, nível de dióxido de carbono e temperatura. Também foi identificado nos croquis quais as faces da estrutura apresentam contato direto com água, vegetação e solo, e quais elementos recebem incidência de raios solares e quais são molhados pela água da chuva. As medições foram realizadas com o uso de detector de CO<sub>2</sub> portátil.

Nesta etapa também foram realizados em cada OAE ensaios de profundidade de carbonatação. Foram ensaiadas todas as vigas, ambas as laterais da laje e dois dos quatro pilares. Estes pontos foram definidos previamente conforme critérios que estão expostos neste capítulo. Para a medição da profundidade carbonatada foi desenvolvido um roteiro em campo baseado no indicado na RILEM CPC-18 (1988).

### 3.1 OBRAS ESTUDADAS

Para este trabalho foram estudadas dez obras com geometrias similares. As dez estruturas estão inseridas em centros urbanos ou próximas a eles e sua localização pode ser observada na Figura 19. As obras possuem um vão e dois balanços. A superestrutura é composta por duas vigas contínuas seção T, transversinas de apoio e de entrada, alas e laje de transição. A mesoestrutura é formada por dois pórticos cada um deles contém dois pilares circulares. Todos os elementos componentes das estruturas estudadas são de concreto armado. As obras são rodoviárias e estão inseridas em vias classe TB45.

Figura 19: Localização das obras.



As obras estudadas foram Ponte sobre o arroio Barnabé antiga (OAE 01), Ponte sobre o arroio Barnabé nova (OAE 02), Ponte sobre o arroio Sapucaia (OAE 03), Ponte sobre a várzea dos Ferreiros (OAE 04), Ponte sobre o Arroio Pinheiral (OAE 05), Ponte sobre o arroio Passo do Sobrado (OAE 06), Ponte sobre o arroio Passo das Carretas (OAE 07), Ponte sobre o Arroio Zeca (OAE 08), Ponte sobre o Arroio Quebrado (OAE 09) e Ponte sobre o Arroio Sabiá (OAE 10).

As duas primeiras obras estudadas foram a Ponte sobre o arroio Barnabé antiga (OAE 01) (Figura 20 (a) e (b)) e a Ponte sobre o arroio Barnabé nova (OAE 02) (Figura 21 (a) e (b)). Ambas as estruturas estão localizadas no km 16,27, ERS 118, na cidade de Gravataí, Rio Grande do Sul. As pontes estão situadas em zona urbana e, existem moradias próximas. A vegetação no entorno é rasteira e esparsa.

**Figura 20: Seção transversal da obra 01 (a) e Vista longitudinal da obra 01 (b).**



**Figura 21: Seção transversal da obra 02 (a) e Vista longitudinal da obra 02 (b).**



A terceira obra estudada foi a Ponte sobre o arroio Sapucaia (OAE 03) (Figura 22 (a) e (b)). A ponte está situada em zona urbana no km 41,97, ERS 118, na cidade de Sapucaia do Sul, Rio Grande do Sul. Existem moradias próximas e a vegetação no entorno é rasteira e esparsa.

**Figura 22: Seção transversal da obra 03 (a) e Vista longitudinal da obra 03 (b).**



A quarta obra estudada foi a Ponte sobre a várzea dos Ferreiros (OAE 04) (Figura 23 (a) e (b)). Localizada no km 2,16, ERS 030, na cidade de Gravataí, Rio Grande do Sul. A ponte está situada em zona urbana e, existem moradias próximas e a vegetação no entorno é rasteira e esparsa. A água do rio abaixo desta ponte possuía um forte cheiro de esgoto.

**Figura 23: Seção transversal da obra 04 (a) e Vista longitudinal da obra 04 (b).**



A quinta e sexta obras estudadas foram Pontes sobre o arroio Pinheiral (OAE05) (Figura 24 (a) e (b)) e Ponte sobre o arroio Passo do Sobrado (OAE 06) (Figura 25 (a) e (b)).

**Figura 24: Seção transversal da obra 05 (a) e Vista longitudinal da obra 05 (b).**



**Figura 25: Seção transversal da obra 06 (a) e Vista longitudinal da obra 06 (b).**



As pontes OAE05 e OAE06 estão situadas em zona rural, respectivamente nos km 20,22 e km 11,58 da ERS 405, na cidade de Passo do Sobrado, Rio Grande do Sul. Existem moradias próximas e muita vegetação no entorno destas obras.

A sétima obra estudada foi a Ponte sobre o arroio Passo das Carretas (OAE 07) (Figura 26 (a) e (b)). A ponte está situada em zona rural próxima a cidade de General Câmara, Rio Grande do Sul no km 23,68 ERS 244. Existe muita vegetação no entorno.

**Figura 26: Seção transversal da obra 07 (a) e Vista longitudinal da obra 07 (b).**



As oitava, nona e décima obras estudadas foram Ponte sobre o arroio Zeca (OAE 08) (Figura 27 (a) e (b)), Ponte sobre o arroio Quebrado (OAE 09) (Figura 28 (a) e (b)) e Ponte sobre o arroio Sabiá (OAE 10) (Figura 29 (a) e (b)). As pontes estão situadas em zona rural, respectivamente nos km 10,83, km 10,53 e km 9,74 da ERS 409, na cidade de Santa Cruz do Sul, Rio Grande do Sul. Existe muita vegetação no entorno destas obras.

Figura 27: Seção transversal da obra 08 (a) e Vista longitudinal da obra 08 (b).



Figura 28: Seção transversal da obra 09 (a) e Vista longitudinal da obra 09 (b).



Figura 29: Seção transversal da obra 10 (a) e Vista longitudinal da obra 10 (b).



As Tabela 2 e 3 apresentam um resumo com as características geométricas das obras e a sua classe de agressividade:

Tabela 2: Resumo características obras 01 a 05.

Ponte sobre o:	Arroio Barnabé	Arroio Barnabé nova	Arroio Sapucaia	Várzea dos Ferreiros	Arroio Pinheiral
DESCRIÇÃO	OAE 01	OAE 02	OAE 03	OAE 04	OAE 05
CLASSE DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL	II	II	II	II	I
TRAÇADO HORIZONTAL	TANGENTE	TANGENTE	TANGENTE	TANGENTE	TANGENTE
TRAÇADO VERTICAL	NÍVEL	NÍVEL	NÍVEL	NÍVEL	NÍVEL
COMPRIMENTO TOTAL (m)	28,90	28,90	41,42	31,10	31,30
COMPRIMENTO VÃO CENTRAL (m)	15,78	15,78	22,14	17,10	17,43
COMPRIMENTO DOS BALANÇOS (m)	6,56	6,56	9,64	7,00	6,94
LARGURA (m)	10,50	10,50	10,40	10,10	11,40
ESPESSURA DO TABULEIRO (m)	0,32	0,32	0,32	0,25	0,20
ALTURA DAS VIGAS (m)	1,35	1,35	1,90	1,35	1,25
LARGURA DA VIGA NO APOIO (m)	0,50	0,50	0,45	0,50	0,80
LARGURA DA VIGA NO VÃO (m)	0,30	0,30	0,45	0,30	0,40
TRANSVERSINAS DE APOIO (QUANTIDADE)	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
ALTURA DA TRANSVERSINA NO APOIO (m)	1,10	1,10	1,70	1,20	1,00
TRANSVERSINAS DE VÃO (QUANTIDADE)	1,00	1,00	3,00	1,00	2,00
ALTURA DA TRANSVERSINA NO VÃO (m)	1,10	1,10	1,70	1,20	1,00
ALTURA DO PILAR P01 (m)	1,60	1,60	2,90	3,50	3,50
ALTURA DO PILAR P02 (m)	4,20	1,60	2,90	3,50	3,80
DIAMETRO DO PILAR (m)	0,72	0,80	0,84	0,80 x 0,40 (retangular)	0,93
POSSUI TRAVESSA?	S	N	N	S	S
ALTURA DA TRAVESSA (m)	0,75	-	-	0,65	1,00
TIPO DE APARELHO DE APOIO	NEOPRENE	NEOPRENE	NEOPRENE	FREYSSINET	NEOPRENE

Tabela 3: Resumo características obras 06 a 10.

Ponte sobre o:	Arroio Passo do Sobrado	Arroio Passo das Carretas	Arroio Zeca	Arroio Quebrado	Arroio Sabiá
DESCRIÇÃO	OAE 06	OAE 07	OAE 08	OAE 09	OAE 10
CLASSE DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL	I	I	I	I	I
TRAÇADO HORIZONTAL	TANGENTE	TANGENTE	TANGENTE	TANGENTE	TANGENTE
TRAÇADO VERTICAL	NÍVEL	NÍVEL	NÍVEL	NÍVEL	NÍVEL
COMPRIMENTO TOTAL (m)	31,40	35,50	25,20	25,95	25,10
COMPRIMENTO VÃO CENTRAL (m)	17,50	20,03	14,02	14,02	13,93
COMPRIMENTO DOS BALANÇOS (m)	6,95	7,74	5,59	5,97	5,59
LARGURA (m)	11,40	11,40	10,65	10,60	10,60
ESPESSURA DO TABULEIRO (m)	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
ALTURA DAS VIGAS (m)	1,25	1,45	1,20	1,20	1,20
LARGURA DA VIGA NO APOIO (m)	0,80	0,80	0,55	0,40	0,60
LARGURA DA VIGA NO VÃO (m)	0,40	0,40	0,55	0,40	0,40
TRANSVERSINAS DE APOIO (QUANTIDADE)	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
ALTURA DA TRANSVERSINA NO APOIO (m)	1,00	1,20	1,00	1,05	1,05
TRANSVERSINAS DE VÃO (QUANTIDADE)	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
ALTURA DA TRANSVERSINA NO VÃO (m)	1,00	1,20	1,00	1,05	1,05
ALTURA DO PILAR P01 (m)	2,20	1,30	2,00	2,80	2,80
ALTURA DO PILAR P02 (m)	2,50	1,30	2,00	2,80	2,80
DIAMETRO DO PILAR (m)	0,95	0,93	0,73	0,72	0,73
POSSUI TRAVESSA?	N	N	N	N	S
ALTURA DA TRAVESSA (m)	-	-	-	-	0,80
TIPO DE APARELHO DE APOIO	NEOPRENE	NEOPRENE	NEOPRENE	NEOPRENE	NEOPRENE

### 3.2 COLETA DE DADOS

Os dados coletados são relativos ao projeto, histórico de manutenções, registros de intervenções e informações do ambiente em que a obra está inserida.

Os projetos originais e histórico de vistorias e manutenções foram solicitados aos órgãos fiscalizadores sobre os quais as estruturas encontram-se sob jurisdição. Através destes documentos foi possível adquirir informações como ano de projeto, ano de construção, trem de carga para qual a estrutura foi dimensionada, entre outros dados.

Nas obras onde não se obteve o desenho original, antes do procedimento de vistoria, foi realizado o *as built* através da geração de croquis e medição das geometrias *in loco* da estrutura para posterior desenho. Na falta de registro destas estruturas, para caracterização do trem de carga e o ano de construção, foi utilizado o Manual de Inspeção de pontes Rodoviárias do DNIT. Neste manual existem desenhos de seções transversais com os quais pode-se obter estas informações através da similaridade geométrica.

Todas as obras foram representadas graficamente para facilitar a vistoria no local. Esta representação gráfica foi através da reprodução do projeto existente ou representação das medidas realizadas em campo.

Para a caracterização do macroclima foram levantados dados de temperatura, umidade relativa e histórico de chuvas. A fonte utilizada para a aquisição dos dados climáticos foi o BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. As informações a respeito de classe de agressividade identificadas na norma NBR6118:2014.

### 3.3 METODO PARA VISTORIA

Primeiramente foi realizada a vistoria rotineira nas OAE01 e OAE03 a OAE10 conforme descrito na NBR 9452:2019. Esta tipologia é uma inspeção visual onde devem ser verificadas todas as anomalias (NBR 9452:2019). Este passo visou a obtenção da nota atribuída à estrutura caso a vistoria fosse efetuada conforme metodologia utilizada atualmente no Brasil. Na obra onde não foi localizado o projeto OAE02, a tipologia de vistoria executada foi a cadastral, pois esta abrange o levantamento da geometria da obra e a sua avaliação.

Com posse das plantas foi realizado o mapeamento detalhado de manifestações patológicas. Registrou-se no desenho de cada elemento a ocorrência de fissuras, deformações, flecha, corrosão de armaduras, eflorescências, manchas de umidade, biodeterioração, desgaste superficial do concreto, vazios ou ninhos de concretagem, aparelhos de apoios inoperantes, juntas de dilatação obstruídas, deslizamento de encontros e recalque de apoios. Foi possível identificar qual o quadro patológico é mais comum em cada microclima através do mapeamento de patologias.

### 3.4 METODOLOGIA PARA ENSAIOS

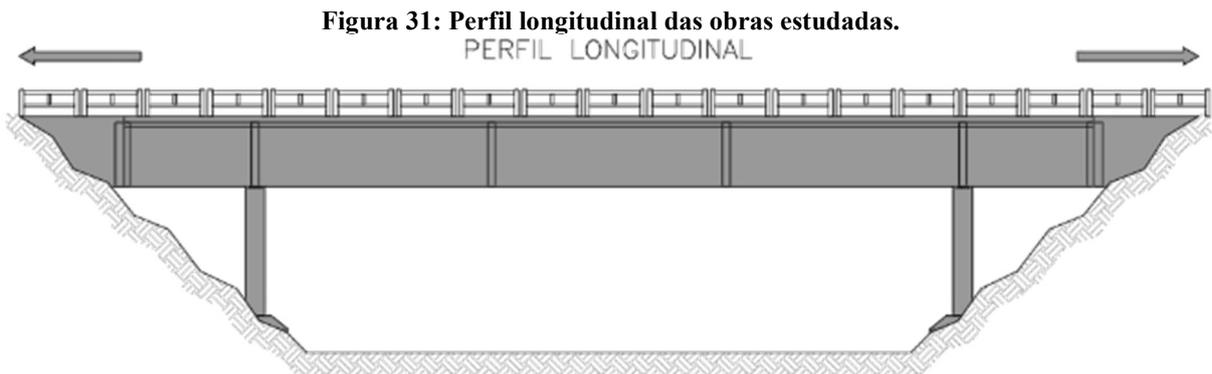
O ensaio efetuado para o desenvolvimento deste trabalho foi a medição da profundidade carbonatada do concreto. Este ensaio foi executado através da extração de corpos de prova e aspersão de um indicador químico à base de fenolftaleína. Em cada um dos elementos ensaiados, foram realizadas anotações de: a) umidade relativa do ar; b) temperatura; c) CO<sub>2</sub>; d) faces da estrutura que apresentam contato direto com água, vegetação e solo; e) quais elementos são molhados pela água da chuva; f) quais elementos recebem incidência direta de raios solares. Para a medição dos itens a, b e c se utilizou instrumento ITMCO2535 da INSTRUTEMP (Figura 30), as suas especificações estão no Anexo A.

**Figura 30: Detector de CO<sub>2</sub> portátil.**

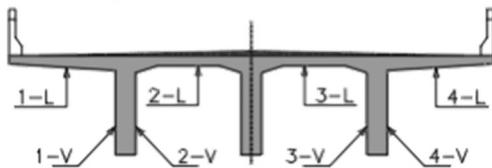


Com base nos projetos e bibliografia estudada os pontos de ensaio nas lajes, vigas e pilares foram definidos previamente, e podem ser identificados na Figura 31, Figura 32 e Figura 33. Como é possível observar, os pontos L-1 a L-4 representam superfícies horizontais e os pontos V-1 a V-8 e P-1e P-2 superfícies verticais. Os locais L-2, L-3, V-2, V-3, V-6 e V-7 são protegidos de incidência direta de chuva, vento e sol. As posições L-1, L-4, V-1, V-4, V-5, V-

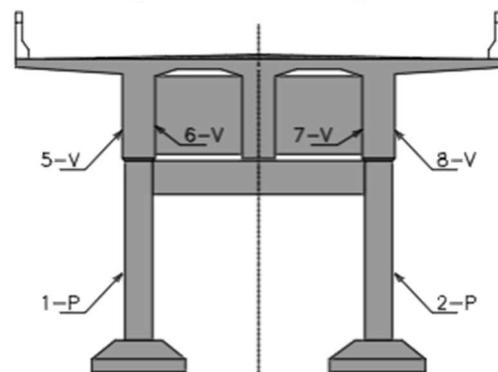
8, P-1 e P-2 são descobertas e estão submetidas ao escoamento de água em sua superfície, incidência de raios solares, entre outros fatores. Os pontos L-1, L4, V-5, V-8, V-6, V-7, P-1 e P-2 estão submetidos à compressão e os demais à tração. Em todas as obras estudadas o lado esquerdo foi o lado contrário ao Norte. Um resumo com todas estas divisões pode ser observado na Tabela 4.



**Figura 32: Seção no balanço.**



**Figura 33: Seção no apoio.**



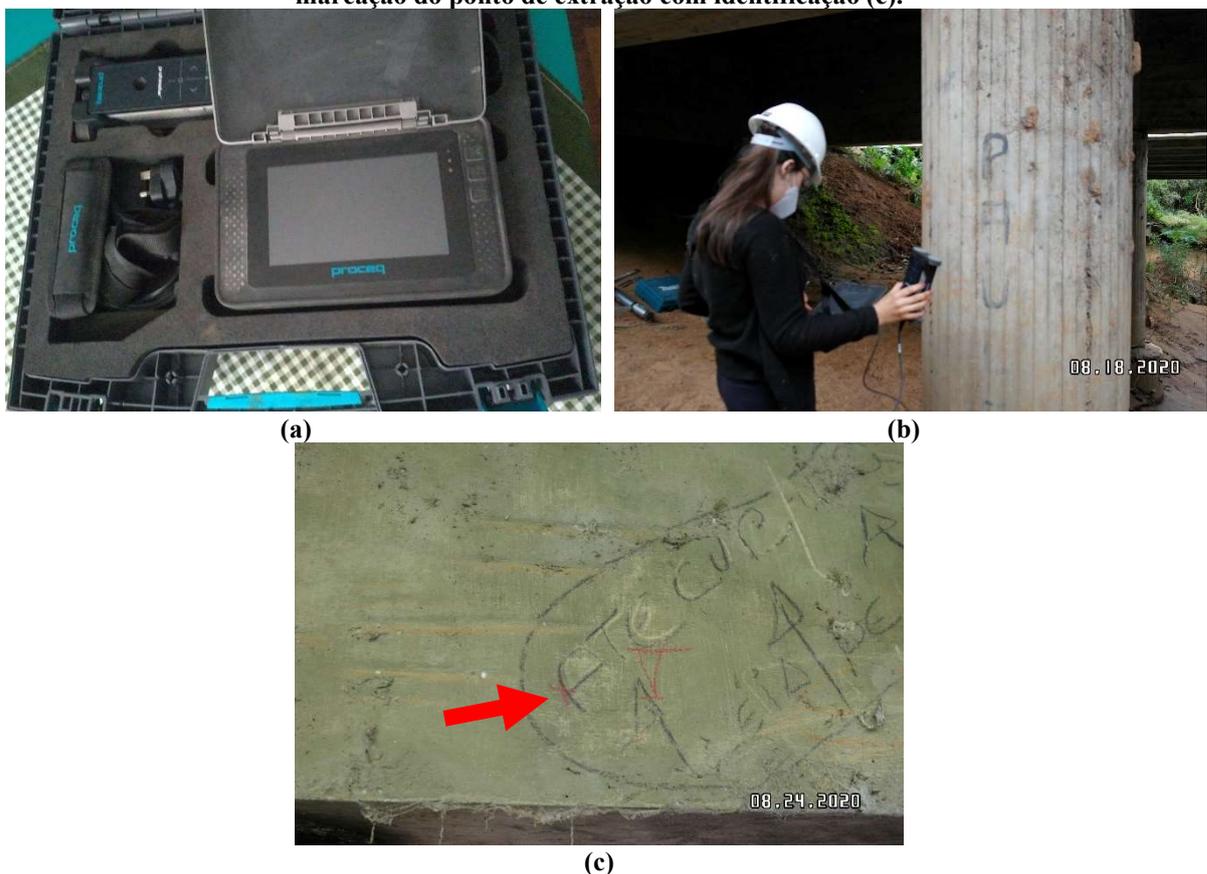
**Tabela 4: Pontos analisados para o ensaio de carbonatação.**

Ponto estudado	Posição	Exposição	Tensão	
1-L	Elemento Horizontal	Descoberto	Comprimido	
4-L				
2-L		Coberto	Tracionado	
3-L				
1-V	Elemento Vertical	Descoberto	Tracionado	
4-V			Comprimido	
5-V			Coberto	Tracionado
8-V				Comprimido
2-V		Tracionado		
3-V		Comprimido		
6-V		Elemento Vertical	Descoberto	Comprimido
7-V				
1-P	Elemento Vertical	Descoberto	Comprimido	
2-P				

Dos 14 pontos definidos anteriormente, os pontos L-2 e L-3 não puderam ser estudados e os pontos L-1 e L-4 foram extraídos na lateral da laje. Somente foram realizados ensaios nos pontos verticais pois para os pontos horizontais a água de resfriamento acabaria caindo na extratora e danificando o equipamento.

Visando obter a profundidade carbonatada e a espessura do cobrimento das armaduras, utilizou-se um pacômetro (Figura 34 (a) (b)) para marcação dos pontos a ensaiar em posições exatas onde estivessem as armaduras (Figura 34 (c)). A área selecionada não possuía manifestações patológicas, para garantir que a profundidade carbonatada medida fosse representativa. Como o concreto exposto ao ambiente natural tende a carbonatar, supõem-se que se o teste fosse realizado em zonas com armaduras expostas ou fissuradas o valor obtido não seria o real.

**Figura 34: Pacômetro utilizado para verificação das armaduras (a), ensaio de pacometria em pilar (b) e marcação do ponto de extração com identificação (c).**



Após a marcação do ponto de coleta e registro fotográfico da superfície íntegra, foi realizada a extração de CP na estrutura. Foi utilizada a furadeira de impacto makita com uma serra copo diamantada de 65 mm acoplada e água (Figura 35 (a), (b) e (c)). Essa furadeira mostrou-se adequada por ser movida à bateria e dispensar o emprego de geradores na obra. A utilização da água nesse processo visou facilitar a execução do furo e refrigerar o sistema. Para a água foram

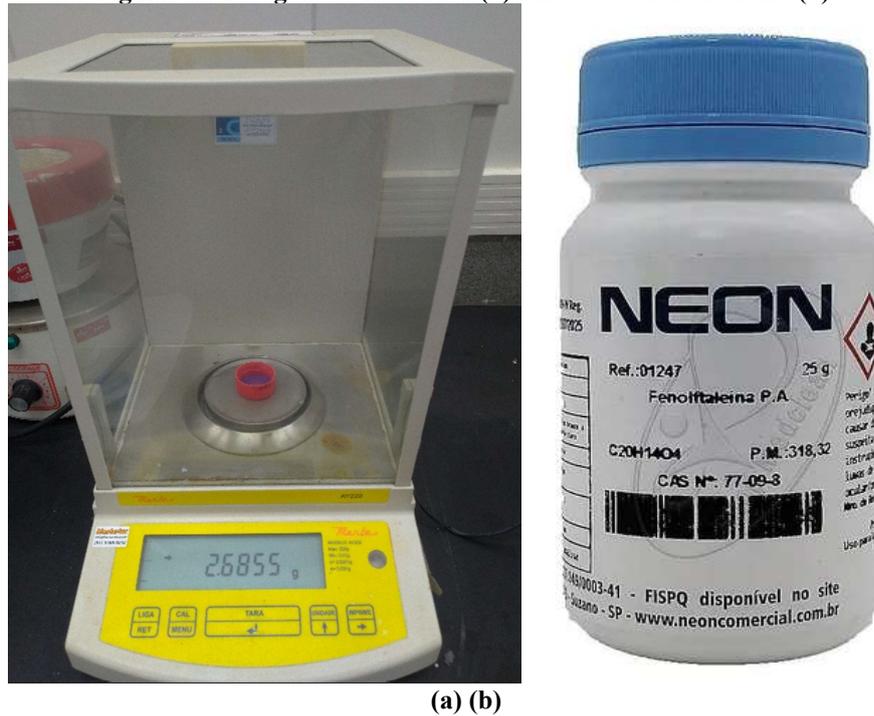
utilizadas garrafas pet com furos na tampa. Ao chegar na profundidade da barra de aço, o processo de extração foi paralisado. Isso foi detectado através da alteração no som e aumento na dificuldade da execução do furo e foi averiguado através da pausa do processo e análise visual com a remoção da extratora e utilização de lanternas. O CP foi removido com o uso de formão e marreta, sempre cuidando para que este fosse retirado íntegro (Figura 35 (d)).

**Figura 35: Extração do CP em viga (a), extração em laje (b), extração do CP em viga (c) e remoção do CP com marreta e formão (d).**



Após sua extração os Corpos de Prova foram limpos, catalogados e colocados para secar. O ensaio de profundidade de carbonatação foi realizado em três etapas sendo elas CP íntegro, local da extração e CP rompido. Nas três etapas se aspergiu uma substância que reage com o concreto e de acordo com a sua cor é possível saber a faixa de pH em que este se encontra. O indicador químico utilizado neste teste foi a fenolftaleína, composto por uma solução de 70% de álcool etílico, 30% de água e 1% da fenolftaleína (RILEM, 1988) (Figura 36 (a) e (b)). Em contato com a superfície do concreto, caso este esteja com o pH acima de 9,00 (não carbonatado), este indicador adquire coloração rosa ou carmim. A medida adotada em todas as etapas foi a da maior profundidade carbonatada.

**Figura 36: Pesagem do indicador (a) e frasco da fenolftaleína (b).**



Para a primeira etapa (Figura 37 (a)), o CP seco foi novamente limpo, agora com pincel e teve aspergida em sua superfície a fenolftaleína. Após cinco minutos foram realizados os registros fotográficos e as medições com paquímetro (Figura 37 (b)).

**Figura 37: Etapa 01 ensaio carbonatação - limpeza com pincel (a) e medição (b).**



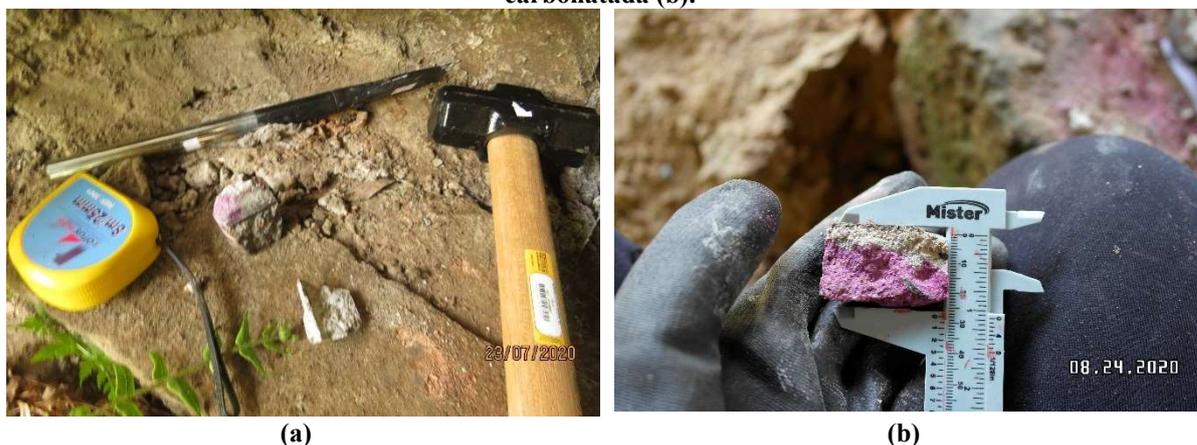
Na segunda etapa foi ensaiado o furo da estrutura nos pontos da extração. Primeiramente foi verificado se o local estava seco com a utilização de papel toalha, após ele foi limpo com pincel até que não restasse mais pó. Após foi realizada a asperção do indicador (Figura 38 (a)). Decorridos 5 minutos foi realizado o registro fotográfico da reação do concreto com a fenolftaleína (Figura 38 (b)). Esse ponto do ensaio visou obter o registro do fundo do furo para posteriormente o comparar com o topo do CP.

**Figura 38: Etapa 02 ensaio carbonatação - asperção de fenol (a) e registro do fundo do furo (b).**



O ensaio no CP rompido compõe a terceira e última etapa. Conforme preconiza a RILEM CPC-18 cortes com serra não são adequados e podem interferir nos resultados. Devido a isso optou-se pela quebra do corpo de prova ao meio. Para este procedimento, foi utilizada uma marreta e um formão. O rompimento foi realizado na própria obra, para isso foi localizada superfície lisa e de material resistente, como por exemplo a face superior dos blocos de fundação. Esta superfície foi limpa e serviu para depósito e rompimento dos CP's (Figura 39 (a)). Após quebrado foi aspergida em ambas as metades do CP a fenolftaleína e, após cinco minutos, realizado o registro fotográfico e medição com paquímetro (Figura 39 (b)).

**Figura 39: Etapa 03 ensaio carbonatação - rompimento do CP (a) e medição da profundidade carbonatada (b).**



Em alguns pontos o CP não foi extraído de forma íntegra. Nos casos em que isso ocorreu foi retirado um novo CP. Este novo CP foi então catalogado, desprezando-se o primeiro furo. Em alguns pontos não foi possível extrair nenhum CP íntegro. Quando isso ocorreu foram retiradas as lascas para estudo (Figura 40 (b)). A profundidade de cobrimento foi medida diretamente na estrutura com a utilização do paquímetro (Figura 40 (a)).

**Figura 40: Etapas excepcionais - medição da profundidade (a) e ensaio das lascas (b).**



Após todas as medições realizadas os furos foram fechados (Figura 41). Para o fechamento primeiramente foi realizada a molhagem da superfície após aplicada a argamassa.

**Figura 41: Etapa 04 fechamento da viga (a) e do pilar (b)**



## 4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.1 CONDIÇÕES DO MACROCLIMA

A caracterização climática das regiões de abrangência foi realizada com base nos registros gerenciados pelo INMET entre os anos de 2009 e 2018, utilizando como base a Estação Meteorológica Automática de Porto Alegre e de Rio Pardo, que melhor refletem as características das obras em estudo, como pode ser observado na Tabela 5.

De acordo com a subdivisão climática do Rio Grande do Sul, elaborada por Moreno (1961) a partir de Köppen, as OAE's em questão estão sob a influência de clima subtropical (Cfa), cuja temperatura do mês mais quente é superior a 22°C.

**Tabela 5: Média dos dados mensais das Estações Automáticas entre os anos de 2009-2018. Estação Automática: A801, Porto Alegre/RS e A813, Rio Pardo/RS. Fonte de dados: INMET.**

Mês	Nº de dias com Precip. Pluv., (Nº)	Precipitação total (mm)	Pressão Atm., Média (mb)	Temperatura Média, (°C)	Vento, velocidade máxima (m/s)	Vento, velocidade média (m/s)
PORTO ALEGRE (Código Estação: A801)						
Janeiro	13	144,70	1006,27	24,94	4,96	1,65
Fevereiro	13	101,10	1006,32	25,32	5,29	1,54
Março	12	119,48	1008,32	22,98	4,79	1,52
Abril	11	106,32	1010,37	20,89	5,5	1,28
Mai	15	94,14	1012,22	17,30	4,87	1,18
Junho	14	127,08	1013,21	14,39	5,14	1,12
Julho	14	162,60	1014,04	14,34	5,39	1,25
Agosto	15	143,58	1012,81	16,23	5,34	1,40
Setembro	14	169,66	1011,16	17,69	5,84	1,61
Outubro	12	163,64	1008,97	19,47	6,02	1,67
Novembro	11	119,36	1006,90	21,81	5,87	1,71
Dezembro	12	118,28	1005,48	23,91	5,61	1,71
RIO PARDO (Código Estação: A813)						
Janeiro	11	115,24	999,11	24,10	9,6	2,52
Fevereiro	12	127,06	999,33	24,43	8,7	2,35
Março	12	119,64	1001,07	22,12	7,9	2,31
Abril	12	93,82	1003,49	19,95	8,3	2,13
Mai	15	91,42	1005,10	16,47	8,6	2,04
Junho	14	94,06	1006,24	13,48	9,3	2,03
Julho	15	166,80	1006,36	13,25	9,4	2,24
Agosto	13	130,70	1005,20	15,96	9,6	2,33
Setembro	12	165,18	1004,00	17,07	10,3	2,65
Outubro	11	196,90	1001,47	19,02	9,9	2,80
Novembro	10	164,68	999,66	21,50	10,2	2,78
Dezembro	13	132,80	998,35	23,42	9,2	2,63

Conforme pode ser observado na Tabela 5, os meses mais quentes estão compreendidos no período de novembro a abril, ocasião em que a região está sobre a influência da massa tropical. No período de maio a setembro (meses cujas temperaturas são mais baixas) ocorre o domínio da massa polar, sendo que nos meses de outubro, novembro e dezembro, a massa tropical volta a ter maior influência que a massa polar.

Nas regiões estudadas o índice pluviométrico anual varia entre 1.550 a 1.600 mm por ano, sendo as precipitações bem distribuídas ao longo do ano, sem ocorrência de estação seca.

O vento, para a estação automática de Porto Alegre, apresenta uma velocidade média de 1,47 m/s com direção predominante nos quadrantes sudeste (SE) e su-sudeste (SSE). Já para a estação automática de Rio Pardo a velocidade média do vento é de 2,40 m/s com direção predominante nos quadrantes leste (E) e leste-sudeste (ESE).

## 4.2 QUADRO PATOLÓGICO DAS OBRAS

Primeiramente foram realizadas as pesquisas de projetos originais e vistorias anteriores. Localizou-se o projeto original de cinco obras, são elas Ponte sobre o arroio Pinheiral (OAE 05) e Ponte sobre o arroio Passo do Sobrado (OAE 06) construídas no ano de 1995 e Ponte sobre o arroio Zeca (OAE 08), Ponte sobre o arroio Quebrado (OAE 09) e Ponte sobre o arroio Sabiá (OAE 10) construídas no ano de 1984. Para a Ponte sobre o arroio Sapucaia (OAE 03) foi encontrada uma ficha de inspeção rotineira realizada no ano 1980 e nela consta a data de implantação da obra como sendo 1975. A Ponte sobre o arroio Barnabé antiga (OAE 01) foi implantada no mesmo contrato de execução que a Ponte sobre o arroio Sapucaia (OAE 03) conforme informações constantes na SOA, portanto adotou-se para ela o mesmo ano de construção. Para a Ponte sobre a várzea dos Ferreiros (OAE 04) também foi encontrada uma ficha de inspeção rotineira realizada no ano 1980, porém nela não consta a data de implantação da obra, como o ano de construção está sendo utilizado para aferir se a curva de deterioração está acima ou abaixo do previsto em norma, adotou-se para esta obra a mesma data da ficha de inspeção. A Ponte sobre o arroio Barnabé nova (OAE 02) foi implantada no ano de 2011 no contrato de duplicação da ERS 118. Para a Ponte sobre o Passo das Carretas (OAE 07) foi localizada somente uma ficha de inspeção do ano de 2017, nela não constava o ano de construção, porém devido a geometria ser similar a das obras Ponte sobre o arroio Pinheiral

(OAE 05) e Ponte sobre o arroio Passo do Sobrado (OAE 06) e a rodovia ter sido implantada na mesma época, adotou-se o ano de 1995.

Para todas as obras, exceto a Ponte sobre o arroio Barnabé nova (OAE 02), foram localizadas fichas de inspeções rotineiras realizadas em 2017. Essas fichas foram elaboradas seguindo a norma DNIT 010/2004 - Pro, os parâmetros para a classificação por notas levaram em conta essa norma e a NBR 9452:2016. Um resumo das fichas e projetos encontrados podem ser observadas na Tabela 6.

As notas pela norma do norma DNIT 010/2004 - Pro vão de 01 a 05, 01 precária, 02 sofrível, 03 boa aparentemente, 04 boa e 05 boa, sendo que as notas 04 e 05 indicam que não existem ações necessárias, a nota 03 indica que a evolução dos problemas deve ser acompanhada, a nota 02 indica que devem ser realizadas inspeções intermediárias e que dependendo da manifestação patológica postergar a recuperação da obra pode levá-la a um estado crítico e a nota 01 pode configurar uma “situação de emergência, podendo a recuperação da obra ser acompanhada de medidas preventivas especiais, tais como: restrição de carga na ponte, interdição total ou parcial ao tráfego, escoramentos provisórios, instrumentação com leituras contínuas de deslocamentos e deformações etc.” (DNIT, 2004).

**Tabela 6: Quadro resumo obras com notas da vistoria de 2017.**

<b>Obra</b>	<b>Ano de construção</b>	<b>Nota na vistoria de 2017</b>
Ponte sobre o arroio Barnabé antiga (OAE 01)	1975 - 45 anos*	3
Ponte sobre o arroio Barnabé nova (OAE 02)	2009 - 09 anos*	-
Ponte sobre o arroio Sapucaia (OAE 03)	1975 - 45 anos*	4
Ponte sobre a várzea dos Ferreiros (OAE 04)	1980 - 40 anos*	3
Ponte sobre o Arroio Pinheiral (OAE 05)	1995 - 25 anos	4
Ponte sobre o arroio Passo do Sobrado (OAE 06)	1995 - 25 anos	4
Ponte sobre o arroio Passo das Carretas (OAE 07)	1995 - 25 anos*	4
Ponte sobre o Arroio Zeca (OAE 08)	1984 - 36 anos	3
Ponte sobre o Arroio Quebrado (OAE 09)	1984 - 36 anos	4
Ponte sobre o Arroio Sabiá (OAE 10)	1984- 36 anos	3

\*Obras onde o projeto não foi localizado

Na avaliação das obras nas vistorias realizadas para este estudo foram utilizados os parâmetros de notas da norma NBR 9452:2019. As notas nesta norma também vão de 01 a 05, porém ela não atribui um único valor a obra e sim avalia três parâmetros diferentes, estrutural, funcional e durabilidade. As notas são atribuídas conforme a Tabela 7 abaixo:

**Tabela 7: Classificação da condição de OAE segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade. (adaptado de Tabela 1 NBR 9452:2019)**

Nota de Classific.	Condição	Caracterização estrutural	Caracterização funcional	Caracterização de durabilidade
5	Excelente	A estrutura apresenta-se em condições satisfatórias apresentando defeitos irrelevantes e isolados.	A OAE apresenta segurança e conforto aos usuários.	A OAE apresenta-se e perfeitas condições, devendo ser prevista manutenção de rotina.
4	Boa	A estrutura apresenta danos pequenos e em áreas, sem comprometer a segurança estrutural.	A OAE apresenta pequenos danos que não chegam a causar desconforto ou insegurança ao usuário.	A OAE apresenta pequenas e poucas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental.
3	Regular	Há danos que podem vir a gerar alguma deficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra. Recomenda-se acompanhamento dos problemas. Intervenções podem ser necessárias a médio prazo.	A OAE apresenta desconforto ao usuário, com defeitos que requerem ações de médio prazo.	A OAE apresenta pequenas e poucas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de moderada a alta agressividade ambiental ou a OAE apresenta moderadas a muitas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental.
2	Ruim	Há danos que comprometem a segurança estrutural da OAE, sem risco iminente. Sua evolução pode levar ao colapso estrutural. A OAE necessita de intervenções significativas a curto prazo.	OAE com funcionalidade visivelmente comprometida, com riscos de segurança ao usuário, requerendo intervenções de curto prazo	A OAE apresenta anomalias moderadas a abundantes, que comprometam sua vida [útil, em região de alta agressividade ambiental.
1	Crítica	Há danos que geram grave insuficiência estrutural na OAE. Há elementos estruturas em estado crítico, com risco tangível de colapso estrutural.	A OAE não apresenta condições funcionais e utilização.	A OAE encontra-se em elevado grau de deterioração, apontando problema já de risco estrutural e/ou funcional

Primeiramente foi atribuída para as obras estudadas a nota caso a tipologia da vistoria executada fosse a rotineira, sem considerar a realização de ensaios. Em um segundo momento os dados obtidos no ensaio de carbonatação foram considerados para a atribuição das notas. Um detalhamento do resultado dos ensaios de carbonatação será apresentado no item 4.4. A seguir estão descritas as principais manifestações patológicas encontradas em cada uma das obras, e a sua avaliação segundo a NBR 9452:2019. As fichas de avaliação encontram-se no Apêndice A.

#### 4.2.1 Manifestações patológicas OAE 01 Ponte sobre o arroio Barnabé antiga

A obra possui manchas de umidade na borda em balanço das lajes (Figura 42 (b)) e drenos quebrados, permitindo o escoamento de água na estrutura (Figura 42 (c)), fissuras com eflorescências nas lajes (Figura 42 (d)) e um ponto de armadura exposta e deslocamentos no P01 (Figura 42 (a)). Também foram detectados indícios de exposição ao fogo próximo ao P01.

A nota estrutural atribuída foi 04 devido à presença de fissura em elemento secundário de concreto armado e armadura principal exposta e corroída em elemento principal com perda de seção de até 20% do total. Não foram detectadas evidências que penalizassem a nota funcional em nenhuma das 10 obras avaliadas, portanto o valor dado foi 05. Ao parâmetro de durabilidade a nota conferida foi 03 em consequência da presença de armadura exposta em elemento principal em processo evolutivo de corrosão. Tanto no parâmetro estrutural quanto no de durabilidade foi aplicada uma nota mais branda (nota para elemento secundário) devido ao fato da armadura exposta encontrar-se em um ponto isolado.

Figura 42: Imagem manifestações patológicas da obra 01.



Nas obras OAE 01, OAE 03, OAE 05, OAE 06, OAE 07 e OAE 08 não foi detectada evolução das manifestações patológicas observadas na vistoria realizada em 2017.

Após a realização de ensaios de carbonatação foi possível constatar que esta já se encontra em profundidades superiores ao cobrimento das armaduras em alguns elementos que serão detalhados no item 4.4. Durante os ensaios foi detectada armadura em processo evolutivo de corrosão no pilar P01 Direito. Das notas anteriormente atribuídas, a de durabilidade sofreu uma alteração, mudando de 03 para 02, em função da profundidade de carbonatação detectada nos elementos.

#### 4.2.2 Manifestações patológicas OAE 02 Ponte sobre o arroio Barnabé nova

A obra possui somente indícios de exposição ao fogo próximo ao P01 (Figura 43 (a)) e acúmulo de sujeira na superfície (Figura 43 (b)). Não foram detectadas evidências que penalizassem as notas estrutural, funcional e de durabilidade, portanto o valor atribuído foi 05.

**Figura 43: Imagem manifestações patológicas da obra 02.**



**(a) Indícios exposição ao fogo próximo a P01**

**(b) Acúmulo de sujeira**

A carbonatação, assim como na OAE 01 já se encontra em profundidades superiores ao cobrimento das armaduras. Os elementos em que isto ocorre serão detalhados no item 4.4. Embora essa obra tenha somente 09 anos, em 27% dos pontos a carbonatação já atingiu as armaduras e nos pontos restantes já evoluiu em média 70% do cobrimento. Durante os ensaios foi detectada armadura em processo evolutivo de corrosão na laje em balanço esquerda, viga em balanço esquerda e viga sobre o apoio direita. Assim como na OAE 01 a nota de durabilidade sofreu uma alteração, mudando de 05 para 02, em função da profundidade de carbonatação detectada nos elementos.

### 4.2.3 Manifestações patológicas OAE 03 Ponte sobre o arroio Sapucaia

A obra possui manchas de umidade na borda em balanço das lajes (Figura 44 (b)) e drenos quebrados, permitindo o escoamento de água na estrutura (Figura 44 (c)), fissuras com eflorescências (Figura 44 (d)), armadura exposta e deslocamentos nas lajes (Figura 44 (a)).

As notas atribuídas foram: estrutural 04, funcional 05 e durabilidade 03. Devido aos mesmos motivos expostos na OAE 01. A armadura exposta detectada nesta obra se encontra em elemento secundário, diferentemente da OAE 01.

**Figura 44: Imagem manifestações patológicas da obra 03.**



Após a análise dos resultados do ensaio de carbonatação, a nota de durabilidade sofreu a mesma alteração ocorrida na OAE 01. Durante a realização dos ensaios foi detectada armadura em processo evolutivo de corrosão no lado externo da viga direita no balanço.

### 4.2.4 Manifestações patológicas OAE 04 Ponte sobre a várzea dos Ferreiros

A obra possui manchas de umidade na borda em balanço das lajes e drenos quebrados, permitindo o escoamento de água na estrutura (Figura 45 (f)), fissuras com eflorescências nas

lajes (Figura 45 (c)) e desgaste superficial do concreto por abrasão nos blocos (Figura 45 (e)). Também foram detectadas armaduras expostas e deslocamentos nas vigas (Figura 45 (a) e (b)), pilares (Figura 45 (a) e (d)) e lajes.

A nota estrutural atribuída foi 03 devido à presença de armadura principal exposta e corroída em elemento principal com perda de seção de até 20% do total. Ao parâmetro de durabilidade a nota conferida foi 02 em consequência da presença de armadura exposta em elemento principal em processo evolutivo de corrosão.

**Figura 45: Imagem manifestações patológicas da obra 04.**



Utilizando-se a vistoria realizada em 2017 como referência foi observado um aumento na quantidade das manifestações patológicas, principalmente o número de armaduras expostas.

Foi detectada armadura em processo evolutivo de corrosão na face interna da viga direita sobre o apoio durante a realização do ensaio. A carbonatação já se encontra em profundidades superiores ao cobrimento das armaduras em alguns elementos que serão detalhados no item 4.4.

#### 4.2.5 Manifestações patológicas OAE 05 Ponte sobre o Arroio Pinheiral

A obra possui manchas de umidade na borda em balanço das lajes (Figura 46 (b)) e drenos quebrados (Figura 46 (c)), permitindo o escoamento de água na estrutura, fissuras com eflorescências nas lajes (Figura 46 (d)) e um ponto de armadura exposta e deslocamentos na viga (Figura 46 (a)).

As notas atribuídas foram: estrutural 04, funcional 05 e durabilidade 03. Devido aos mesmos motivos expostos na OAE 01.

**Figura 46: Imagem manifestações patológicas da obra 05.**



**(a) Armadura exposta na viga**



**(b) Mancha de umidade no balanço**



**(c) Dreno com comprimento inadequado**



**(d) Fissura com eflorescência na laje**

A alteração na nota de durabilidade em função da profundidade de carbonatação detectada nos ensaios é a mesma da obra OAE 01. Não foram detectadas armaduras em processo de corrosão durante a realização dos ensaios.

#### 4.2.6 Manifestações patológicas OAE 06 Ponte sobre o arroio Passo do Sobrado

A obra possui manchas de umidade na borda em balanço das lajes (Figura 47 (b)) e drenos quebrados (Figura 47 (c)), permitindo o escoamento de água na estrutura, fissuras com eflorescências nas lajes (Figura 47 (d)) e armadura exposta na transversina de entrada (Figura 47 (a)).

As notas atribuídas foram: estrutural 04, funcional 05 e durabilidade 03. Devido aos mesmos motivos expostos na OAE 03.

**Figura 47: Imagem manifestações patológicas da obra 06.**



**(a) Armadura exposta na transversina de entrada**



**(b) Mancha de umidade no balanço**



**(c) Dreno com comprimento inadequado**



**(d) Fissura com eflorescência na laje**

Se aplicam a esta obra as mesmas alterações devido ao resultado ensaio de profundidade de carbonatação ocorridas na OAE 01. Assim como a obra OAE 05 não foram detectadas armaduras em processo evolutivo de corrosão durante a realização do ensaio.

#### 4.2.7 Manifestações patológicas OAE 07 Ponte sobre o arroio Passo das Carretas

A obra possui manchas de umidade na borda em balanço das lajes (Figura 48 (b)) e drenos quebrados, permitindo o escoamento de água na estrutura (Figura 48 (a) e (c)) e fissuras com eflorescências nas lajes (Figura 48 (a) e (d)).

A nota estrutural atribuída foi 04 devido à presença de fissura em elemento secundário de concreto armado. A nota de durabilidade foi 05, pois a obra não possuía manifestações patológicas que penalizassem a avaliação deste parâmetro.

**Figura 48: Imagem manifestações patológicas da obra 07.**



**(a) Fissura com eflorescência na laje e dreno quebrado**



**(b) Mancha de umidade no balanço**



**(c) Dreno com comprimento inadequado**



**(d) Fissura com eflorescência na laje**

Exatamente conforme ocorrido na OAE 02, a nota do parâmetro durabilidade sofreu uma alteração, mudando de 05 para 02. Isto ocorreu após a avaliação dos resultados do ensaio de carbonatação. Foi detectada durante o ensaio armadura em processo evolutivo de corrosão em quatro pontos (50%) ensaiados de ambas as vigas.

#### 4.2.8 Manifestações patológicas OAE 08 Ponte sobre o Arroio Zeca

A obra possui manchas de umidade na borda em balanço (Figura 49 (b)) das lajes e drenos quebrados, permitindo o escoamento de água na estrutura (Figura 49 (c)), armadura exposta (Figura 49 (a)) e segregação na transversina de entrada (Figura 49 (d)).

As notas atribuídas foram: estrutural 04, funcional 05 e durabilidade 03. Devido aos mesmos motivos expostos na OAE 03.

**Figura 49: Imagem manifestações patológicas da obra 08.**



**(a) Armadura exposta na transversina de entrada**



**(b) Mancha de umidade no balanço**



**(c) Dreno com comprimento inadequado**



**(d) Segregação na transversina de entrada**

A nota de durabilidade mudou de 02 para 03 assim como a OAE 01. Essa alteração ocorreu devido a profundidade já carbonatada de alguns elementos. Durante os ensaios foi detectada

armadura em processo evolutivo de corrosão no pilar P01 esquerdo e viga esquerda balanço lado interno.

#### 4.2.9 Manifestações patológicas OAE 09 Ponte sobre o Arroio Quebrado

A obra possui manchas de umidade na borda em balanço das lajes e drenos quebrados (Figura 50 (b)), permitindo o escoamento de água na estrutura (Figura 50 (b)), fissuras com eflorescências nas lajes (Figura 50 (a)), armaduras expostas (Figura 50 (d)) e deslocamentos nos pilares (Figura 50 (c)).

As notas atribuídas foram: estrutural 03, funcional 05 e durabilidade 02. Devido aos mesmos motivos expostos na OAE 04.

**Figura 50: Imagem manifestações patológicas da obra 09.**



**(a) Fissura com eflorescência na laje**



**(b) Mancha de umidade na laje e viga e dreno com comprimento inadequado.**



**(c) Disgregação pilar**



**(d) Armadura exposta no pilar.**

Após a realização de ensaios de carbonatação foi possível constatar que esta já se encontra em profundidades superiores ao cobrimento das armaduras em alguns elementos que serão detalhados no item 4.4.

Na vistoria realizada em 2017 foi detectado no pilar P01 pontos com deslocamentos e fissuras, estes eram indícios de que a armadura se encontrava em processo de corrosão internamente ao pilar já com a expansão de seu volume através da formação dos produtos de corrosão. Essa teoria das barras em processo de corrosão foi corroborada pela vistoria realizada agora em 2020 através dos pontos onde o concreto já deslocou e a armadura encontra-se exposta. No pilar P01 as fissuras estão presentes até 1,00 m a partir do solo. O ensaio nesse elemento foi realizado em uma área íntegra e durante a sua execução foi detectada armadura em processo evolutivo de corrosão no pilar P01. Portanto pode-se concluir que, embora não visíveis, as armaduras deste pilar já se encontram em processo evolutivo de corrosão.

#### 4.2.10 Manifestações patológicas OAE 10 Ponte sobre o Arroio Sabiá

A obra possui manchas de umidade na borda em balanço das lajes e drenos quebrados, permitindo o escoamento de água na estrutura (Figura 51 (b) e (c)), fissuras com eflorescências nas lajes (Figura 51 (d)), armaduras expostas e deslocamentos nas vigas (Figura 51 (a)), pilares (Figura 51 (e)) e lajes (Figura 51 (f)).

As notas atribuídas foram: estrutural 03, funcional 05 e durabilidade 02. Devido aos mesmos motivos expostos na OAE 04.

**Figura 51: Imagem manifestações patológicas da obra 10.**



**(a) Armadura exposta na viga**



**(b) Mancha de umidade e dreno com comprimento inadequado.**



**(c) Mancha de umidade na viga lado interno**



**(d) Fissura com eflorescência.**



**(e) Armadura exposta travessa pilar**



**(f) Armadura exposta laje.**

Foi detectado um ponto de evolução de manifestação patológica. Na vistoria realizada em 2017 existia umidade e um ponto de escoamento de água constante na viga. Na inspeção realizada para este trabalho foi detectada armadura exposta e deslocamento na base da viga.

A carbonatação já se encontra em profundidades superiores ao cobrimento das armaduras em alguns elementos e durante o ensaio foi detectada armadura em processo evolutivo de corrosão na face interna da viga a direita no balanço.

#### 4.2.11 Resumo da avaliação das manifestações patológicas

Nas Tabelas 8 e 9 é apresentado um resumo contendo as notas das obras. Considerando a nota atribuída após a consideração dos resultados dos ensaios de carbonatação, todas as obras tiveram uma piora na avaliação, estando todas com a nota 02 no parâmetro de durabilidade.

Nas obras OAE 04, OAE 09 e OAE 10 foi detectado um aumento da quantidade das manifestações patológicas no intervalo de três anos entre vistorias. Devido a isso estas obras possuem uma avaliação inferior à de 2017 mesmo sem considerar o resultado do ensaio de carbonatação.

Tabela 8: Resumo notas obras 01 a 05.

Ponte sobre o:	Arroio Barnabé	Arroio Barnabé nova	Arroio Sapucaia	Várzea dos Ferreiros	Arroio Pinheiral
DESCRIÇÃO	OAE 01	OAE 02	OAE 03	OAE 04	OAE 05
ANO DE CONSTRUÇÃO	1975	2011	1975	1980	1995
NOTA VISTORIA 2017	3	-	4	3	4
VISTORIA 2020 - ESTRUTURAL	4	5	4	3	4
VISTORIA 2020 - FUNCIONAL	5	5	5	5	5
VISTORIA 2020 - DURABILIDADE	3	5	3	2	3
VISTORIA 2020 - DURABILIDADE CONSIDERANDO OS RESULTADOS DO ENSAIO	2	2	2	2	2

Tabela 9: Resumo notas obras 06 a 10.

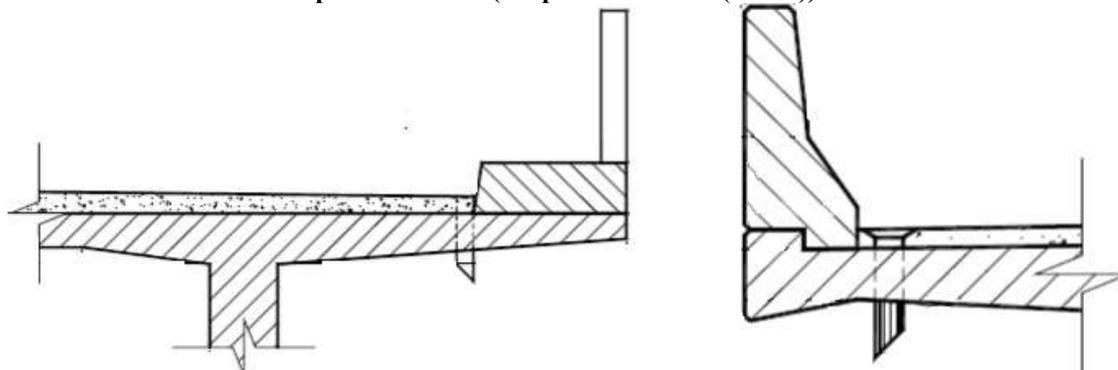
Ponte sobre o:	Arroio Passo do Sobrado	Arroio Passo das Carretas	Arroio Zeca	Arroio Quebrado	Arroio Sabiá
DESCRIÇÃO	OAE 06	OAE 07	OAE 08	OAE 09	OAE 10
ANO DE CONSTRUÇÃO	1995	1995	1984	1984	1984
NOTA VISTORIA 2017	4	4	3	4	3
VISTORIA 2020 - ESTRUTURAL	4	4	4	3	3
VISTORIA 2020 - FUNCIONAL	5	5	5	5	5
VISTORIA 2020 - DURABILIDADE	3	5	3	2	2
VISTORIA 2020 - DURABILIDADE CONSIDERANDO OS RESULTADOS DO ENSAIO	2	2	2	2	2

### 4.3 GRUPAMENTO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

As manifestações patológicas foram avaliadas buscando encontrar uma tendência entre as dez obras estudadas. Todas as lajes apresentam mancha de umidade na borda vertical em balanço.

As obras 01, 03 e 04 construídas antes de 1980 não possuem pingadeiras. As manchas de umidade também foram detectadas na face horizontal em balanço próxima a borda externa. As obras 08, 09 e 10, construídas no ano 1984, possuem pingadeira, porém essa possui somente um sulco. Essa tipologia não é mais recomendada para pontes devido à sua ineficiência. Nessas obras foram observados focos isolados de manchas de umidade na face horizontal em balanço próxima à borda externa. Um dos motivos da ineficiência da pingadeira em forma de sulco é a sua colmatação quando ocorrem substituições de guarda-corpos. As obras 02, 05, 06 e 07, construídas a partir do ano de 1995, possuem pingadeiras que são realmente eficientes para o desprendimento de água. A Figura 52 contém os tipos de pingadeiras encontradas em campo e, conforme o observado, as manifestações patológicas encontradas nas lajes em balanço variam conforme o tipo de pingadeira.

**Figura 52: Tipos de pingadeira. A esquerda pingadeiras de projetos de 1975 a 1975 e a direita de projetos a partir de 1975. (adaptado de DNIT (2004b))**



Em todas as obras vistoriadas, excetuando a executada em 2011, os drenos estão quebrados. Em seu manual de inspeção de pontes rodoviárias, o DNIT prescreve como sendo uma das atividades de conservação a substituição de drenos, sendo que esta deve ser demandada através de uma prévia inspeção rotineira (DNIT, 2004a). O elemento estando quebrado permite a percolação de água na superfície dos elementos estruturais. Na obra 10 existe um dreno quebrado acima do pilar, na vistoria realizada em 2017 havia somente manchas de umidade na laje, viga e pilar. Na vistoria realizada em 2020 detectaram-se armaduras expostas na base da viga. Portanto, a substituição de um dreno quebrado é algo que quando não realizado pode desencadear o surgimento de outras manifestações patológicas conforme observado.

As demais manifestações patológicas não seguiram uma tendência bem definida na amostra analisada.

#### 4.4 RESULTADOS DOS ENSAIO DE CARBONATAÇÃO

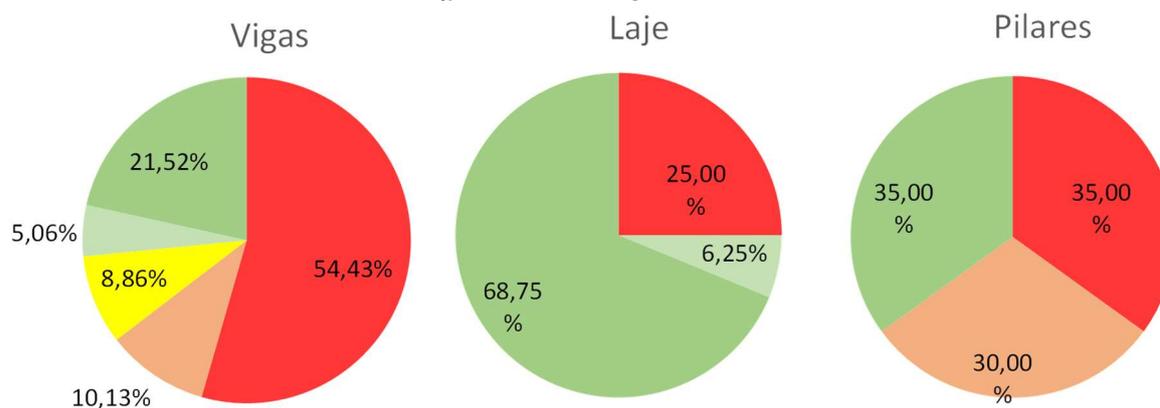
A seguir serão apresentadas as tabelas resumo contendo o cobrimento de cada ponto ensaiado, o máximo cobrimento carbonatado obtido no CP já rompido, anotações se o topo do CP se encontrava carbonatado (Topo Carb.), não carbonatado (Topo rosa) ou mesclado (Topo bicolor) e se o ensaio foi paralisado em barra de aço, barra de aço corroída ou agregado. As imagens do ensaio encontram-se no Apêndice C.

Para os pontos ensaiados foi utilizada a classificação de cores constante na Tabela 10. As notas 1 e 2 significam que a carbonatação já se encontra em profundidades superiores ao cobrimento das armaduras. As análises destes dados serão apresentadas nos itens 4.6.1, 4.6.2 e 4.6.4. As imagens do ensaio encontram-se no Apêndice C.

**Tabela 10: Cores classificação ensaio.**

1	Topo do CP Carbonatado e todo cobrimento carbonatado
2	Topo bicolor e acima de 90% do cobrimento carbonatado
3	Topo rosa e acima de 90% do cobrimento carbonatado
4	Topo bicolor e abaixo de 90% do cobrimento carbonatado
5	Topo rosa e abaixo de 90% do cobrimento carbonatado

Na Figura 53 estão apresentados os resultados de todas as obras separados pelo tipo de elemento. Nas vigas em 54,43% dos resultados todo o cobrimento já estava carbonatado, as lajes apresentaram somente 25,00% dos pontos nesta faixa de classificação e os pilares 35,00%. Adicionando a esta porcentagem a segunda classificação “Topo bicolor e acima de 90% do cobrimento carbonatado”, a porcentagem para vigas, pilares e lajes fica respectivamente em 64,56%, 65% e 25%.

**Figura 53: Gráfico por elemento.**

No ensaio da Ponte sobre o arroio Barnabé antiga (OAE 01) o instrumento de medição utilizado foi a trena. Após a avaliação do material desta obra optou-se pelo uso do paquímetro para aumentar a precisão.

Para as obras de 45 anos, conforme apresentado na Tabela 11 e Tabela 12 a carbonatação já ultrapassou o cobrimento em nove pontos (75%) na Ponte sobre o arroio Barnabé antiga (OAE 01) e seis pontos (50%) na Ponte sobre o arroio Sapucaia (OAE 03). Na OAE 01 em três ensaios (25%) o topo do CP ainda apresenta partes com o pH do concreto acima de 9,00 (topo bicolor) A OAE 02 possui além dos seis pontos citados anteriormente outros cinco (41,67%) com topo bicolor, totalizando 11 (91,67%) locais com a frente de carbonatação na profundidade das armaduras.

Tabela 11: Resultado ensaio carbonatação Obra 01.

PONTO	NUMERO NO CAMPO	COBRIM.	CARB.	RESTANTE	OBSERVAÇÃO TOPO	PARALISADO EM
L-1	8	2,50 cm	2,50 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra
L-4	11	3,00 cm	3,00 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra
P-1	2	1,50 cm	0,50 cm	1,00 cm	Topo rosa	Barra
P-2	6	2,50 cm	2,50 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra
V-1	7	3,00 cm	3,00 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra
V-2	9	3,00 cm	3,00 cm	0,00 cm	Topo bicolor	Barra
V-3	10	3,00 cm	3,00 cm	0,00 cm	Topo bicolor	Barra
V-4	12	1,50 cm	1,50 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Agregado
V-5	1	3,00 cm	3,00 cm	0,00 cm	Topo bicolor	Barra
V-6	3	3,00 cm	1,00 cm	2,00 cm	Topo rosa	Barra
V-7	4	2,50 cm	0,50 cm	2,00 cm	Topo rosa	Agregado
V-8	5	2,00 cm	2,00 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Agregado

Tabela 12: Resultado ensaio carbonatação Obra 03.

PONTO	NUMERO NO CAMPO	COBRIM.	CARB.	RESTANTE	OBSERVAÇÃO TOPO	PARALISADO EM
L-1	12	3,00 cm	3,00 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra
L-4	10	2,60 cm	2,60 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra
P-1	4	4,00 cm	0,20 cm	3,80 cm	Topo rosa	Barra
P-2	1	3,00 cm	2,90 cm	0,10 cm	Topo bicolor	Barra
V-1	11	3,50 cm	3,00 cm	0,50 cm	Topo bicolor	Barra
V-2	7	3,00 cm	2,70 cm	0,30 cm	Topo bicolor	Barra
V-3	8	3,20 cm	3,00 cm	0,20 cm	Topo bicolor	Barra
V-4	9	2,00 cm	2,00 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra corroída
V-5	6	2,30 cm	2,30 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra
V-6	5	3,20 cm	3,10 cm	0,10 cm	Topo bicolor	Barra
V-7	3	3,40 cm	3,40 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra
V-8	2	2,30 cm	2,30 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra

No ensaio da Ponte sobre o arroio Barnabé nova (OAE 02), obra de 09 anos, conforme apresentado na Tabela 13 em três pontos (27,27%) a carbonatação já ultrapassou o cobrimento. Em um deles a zona da armadura ainda se encontra com pH acima de 9,00 (topo rosa). Dois dos pontos ensaiados (18,18%) possuíam corrosão na barra inspecionada. Para esta obra não foi possível executar o ponto L-4 devido a dificuldades de acesso.

Tabela 13: Resultado ensaio carbonatação Obra 02.

PONTO	NUMERO NO CAMPO	COBRIM.	CARB.	RESTANTE	OBSERVAÇÃO TOPO	PARALISADO EM
L-1	10	2,30 cm	1,30 cm	1,00 cm	Topo rosa	Barra corroída
P-1	1	3,20 cm	2,50 cm	0,70 cm	Topo rosa	Barra
P-2	5	4,20 cm	3,20 cm	1,00 cm	Topo rosa	Barra
V-1	9	1,60 cm	1,60 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra corroída
V-2	8	3,20 cm	2,70 cm	0,50 cm	Topo rosa	Barra
V-3	7	2,90 cm	1,60 cm	1,30 cm	Topo rosa	Barra
V-4	11	1,40 cm	1,40 cm	0,00 cm	Topo rosa	Barra
V-5	2	2,00 cm	2,00 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra
V-6	3	3,20 cm	1,60 cm	1,60 cm	Topo rosa	Barra
V-7	4	3,20 cm	2,50 cm	0,70 cm	Topo rosa	Barra
V-8	6	2,40 cm	2,00 cm	0,40 cm	Topo rosa	Barra

No ensaio da obra de 40 anos, Ponte sobre a várzea dos Ferreiros (OAE 04), conforme apresentado na Tabela 14, em dois pontos (18,18%) a carbonatação já ultrapassou o cobrimento, sendo que em um deles o topo ainda se encontra bicolor. Para esta obra não foi possível executar o ponto L-4, pois foi construída uma estrutura ao lado da ponte que impossibilitava o acesso.

**Tabela 14: Resultado ensaio carbonatação Obra 04.**

PONTO	NUMERO NO CAMPO	COBRIM.	CARB.	RESTANTE	OBSERVAÇÃO TOPO	PARALISADO EM
L-4	7	2,10 cm	0,80 cm	1,30 cm	Topo rosa	Barra
P-1	2	0,80 cm	0,80 cm	0,00 cm	Topo bicolor	Barra
P-2	1	2,00 cm	0,30 cm	1,70 cm	Topo rosa	Barra
V-1	11	3,50 cm	0,70 cm	2,80 cm	Topo rosa	Barra
V-2	8	4,30 cm	2,00 cm	2,30 cm	Topo rosa	Barra
V-3	3	4,80 cm	0,30 cm	4,50 cm	Topo rosa	Barra
V-4	6	2,60 cm	0,10 cm	2,50 cm	Topo rosa	Barra
V-5	10	3,00 cm	0,20 cm	2,80 cm	Topo rosa	Barra
V-6	9	2,70 cm	1,40 cm	1,30 cm	Topo rosa	Barra
V-7	4	1,40 cm	1,40 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra corroída
V-8	5	2,50 cm	0,30 cm	2,20 cm	Topo rosa	Barra

Avaliando o resultado do ensaio para as obras de 25 anos, Ponte sobre o Arroio Pinheiral (OAE 05) (Tabela 15), Ponte sobre o Arroio Passo do Sobrado (OAE 06) (Tabela 16) e Passo das Carretas (OAE 07) (Tabela 17), é possível observar que a carbonatação já ultrapassou o cobrimento respectivamente em cinco (41,67%), três (25%) e seis (50%) pontos. Dos citados anteriormente, um dos pontos da OAE 05 possui topo bicolor. Também possuem o topo do CP nesta faixa de classificação outros dois (16,67%) pontos na OAE 05, um (8,33%) na OAE 06 e três (25%) na OAE 07.

**Tabela 15: Resultado ensaio carbonatação Obra 05.**

PONTO	NUMERO NO CAMPO	COBRIM.	CARB.	RESTANTE	OBSERVAÇÃO TOPO	PARALISADO EM
L-1	12	2,00 cm	0,10 cm	1,90 cm	Topo rosa	Barra
L-4	10	2,50 cm	0,50 cm	2,00 cm	Topo rosa	Barra
P-1	4	2,60 cm	2,50 cm	0,10 cm	Topo bicolor	Barra
P-2	1	1,50 cm	1,50 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra
V-1	11	2,80 cm	2,80 cm	0,00 cm	Topo bicolor	Barra
V-2	8	2,50 cm	2,40 cm	0,10 cm	Topo rosa	Barra
V-3	7	2,70 cm	2,50 cm	0,20 cm	Topo rosa	Barra
V-4	9	2,70 cm	2,70 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra
V-5	5	2,10 cm	2,00 cm	0,10 cm	Topo bicolor	Barra
V-6	6	2,30 cm	2,30 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra
V-7	3	3,20 cm	3,10 cm	0,10 cm	Topo rosa	Barra
V-8	2	2,70 cm	2,70 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra

Tabela 16: Resultado ensaio carbonatação Obra 06.

PONTO	NUMERO NO CAMPO	COBRIM.	CARB.	RESTANTE	OBSERVAÇÃO TOPO	PARALISADO EM
L-1	10	3,00 cm	1,00 cm	2,00 cm	Topo rosa	Barra
L-4	12	1,20 cm	0,20 cm	1,00 cm	Topo rosa	Barra
P-1	1	3,00 cm	2,50 cm	0,50 cm	Topo rosa	Barra
P-2	4	2,50 cm	1,20 cm	1,30 cm	Topo rosa	Barra
V-1	9	2,00 cm	2,00 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra
V-2	7	2,50 cm	2,40 cm	0,10 cm	Topo rosa	Barra
V-3	8	3,00 cm	2,30 cm	0,70 cm	Topo bicolor	Barra
V-4	11	2,00 cm	2,00 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra
V-5	2	2,50 cm	2,40 cm	0,10 cm	Topo Carb.	Barra
V-6	3	3,00 cm	2,00 cm	1,00 cm	Topo rosa	Barra
V-7	6	2,50 cm	2,40 cm	0,10 cm	Topo rosa	Barra
V-8	5	2,80 cm	2,00 cm	0,80 cm	Topo rosa	Barra

Tabela 17: Resultado ensaio carbonatação Obra 07.

PONTO	NUMERO NO CAMPO	COBRIM.	CARB.	RESTANTE	OBSERVAÇÃO TOPO	PARALISADO EM
L-1	10	2,40 cm	1,60 cm	0,80 cm	Topo rosa	Barra
L-4	12	3,30 cm	1,80 cm	1,50 cm	Topo rosa	Barra
P-1	1	3,00 cm	2,90 cm	0,10 cm	Topo bicolor	Barra
P-2	4	2,50 cm	2,50 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra
V-1	9	2,00 cm	2,00 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra
V-2	7	2,00 cm	2,00 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra corroída
V-3	8	3,20 cm	3,20 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra
V-4	11	2,50 cm	2,50 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra corroída
V-5	2	2,00 cm	2,00 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra corroída
V-6	3	2,20 cm	1,30 cm	0,90 cm	Topo rosa	Barra
V-7	6	2,70 cm	2,00 cm	0,70 cm	Topo bicolor	Barra corroída
V-8	5	2,80 cm	2,30 cm	0,50 cm	Topo bicolor	Barra

No ensaio da Ponte sobre o Arroio Zeca (OAE 08) (Tabela 18), Ponte sobre o Arroio Quebrado (OAE 09) (Tabela 19) e Ponte sobre o Arroio Sabiá (OAE 10) (Tabela 20), obras de 36 anos, a carbonatação já ultrapassou o cobrimento respectivamente em dez (83,33%), nove (75%) e nove pontos (90%). Na OAE 08 não foi possível acessar o local do ensaio L-4. Embora acessíveis os pontos L-4 e V-4 da OAE 10 não foram executados pois estavam próximos a uma colmeia de abelhas.

Tabela 18: Resultado ensaio carbonatação Obra 08.

PONTO	NUMERO NO CAMPO	COBRIM.	CARB.	RESTANTE	OBSERVAÇÃO TOPO	PARALISADO EM
L-1	10	3,20 cm	1,50 cm	1,70 cm	Topo rosa	Barra
P-1	1	1,70 cm	1,70 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra corroída
P-2	4	2,30 cm	2,30 cm	0,00 cm	Topo bicolor	Barra
V-1	9	2,30 cm	2,30 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra
V-2	7	1,80 cm	1,80 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra corroída
V-3	8	3,10 cm	3,10 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra
V-4	11	2,70 cm	2,70 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra
V-5	2	3,00 cm	3,00 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra
V-6	3	2,50 cm	2,50 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra
V-7	6	1,50 cm	1,50 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra
V-8	5	2,40 cm	2,40 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra

**Tabela 19: Resultado ensaio carbonatação Obra 09.**

PONTO	NUMERO NO CAMPO	COBRIM.	CARB.	RESTANTE	OBSERVAÇÃO TOPO	PARALISADO EM
L-1	10	2,00 cm	1,30 cm	0,70 cm	Topo rosa	Barra
L-4	12	2,80 cm	0,50 cm	2,30 cm	Topo rosa	Barra
P-1	1	2,20 cm	2,20 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra corroída
P-2	4	1,80 cm	1,80 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra
V-1	9	2,00 cm	2,00 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra
V-2	7	2,20 cm	2,20 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra
V-3	8	2,60 cm	2,60 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra
V-4	11	3,30 cm	3,30 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra
V-5	2	2,50 cm	2,50 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra
V-6	3	2,40 cm	2,40 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra
V-7	6	2,80 cm	2,70 cm	0,10 cm	Topo rosa	Barra
V-8	5	2,30 cm	2,30 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra

**Tabela 20: Resultado ensaio carbonatação Obra 10.**

PONTO	NUMERO NO CAMPO	COBRIM.	CARB.	RESTANTE	OBSERVAÇÃO TOPO	PARALISADO EM
L-1	10	3,30 cm	1,80 cm	1,50 cm	Topo bicolor	Barra
P-1	1	2,70 cm	2,70 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra
P-2	4	2,70 cm	2,70 cm	0,00 cm	Topo bicolor	Barra
V-1	9	2,50 cm	2,50 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra
V-2	7	1,50 cm	1,50 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra
V-3	8	2,00 cm	2,00 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra corroída
V-5	2	2,40 cm	2,40 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra
V-6	3	2,60 cm	2,60 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra
V-7	6	1,80 cm	1,80 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra
V-8	5	2,70 cm	2,70 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra

#### 4.5 DADOS AMBIENTAIS MEDIDOS

Conforme mencionado anteriormente, foram medidos com a utilização de um Detector de CO<sub>2</sub> portátil a umidade relativa, temperatura e níveis de CO<sub>2</sub>. Uma análise estatística destes dados será apresentada no item 4.6.3. Da Tabela 21 a Tabela 30 estão apresentados os dados coletados:

**Tabela 21: Dados ambientais medidos Ponte sobre o arroio Barnabé antiga (OAE 01).**

PONTO	NUMERO NO CAMPO	TEMPERATURA (°C)	UMIDADE RELATIVA (%)	CO2 (ppm)
L-1	8	31,00	32,00	599,00
L-4	11	28,20	35,20	522,00
P-1	2	24,60	50,60	507,00
P-2	6	24,90	49,50	582,00
V-1	7	31,00	32,00	599,00
V-2	9	27,00	38,00	624,00
V-3	10	27,00	39,00	584,00
V-4	12	28,50	24,00	546,00
V-5	1	24,60	51,10	589,00
V-6	3	24,80	50,00	525,00
V-7	4	24,60	49,20	519,00
V-8	5	24,90	49,50	582,00

**Tabela 22: Dados ambientais medidos Ponte sobre o arroio Barnabé nova (OAE 02).**

PONTO	NUMERO NO CAMPO	TEMPERATURA (°C)	UMIDADE RELATIVA (%)	CO2 (ppm)
L-1	10	19,60	69,30	532,00
P-1	1	19,60	69,30	532,00
P-2	5	19,50	69,40	500,00
V-1	9	19,60	69,30	532,00
V-2	8	19,20	71,90	573,00
V-3	7	19,20	71,90	573,00
V-4	11	19,50	69,40	500,00
V-5	2	19,60	69,30	532,00
V-6	3	19,60	69,30	532,00
V-7	4	19,20	70,00	522,00
V-8	6	19,50	69,40	500,00

**Tabela 23: Dados ambientais medidos Ponte sobre o arroio Sapucaia (OAE 03).**

PONTO	NUMERO NO CAMPO	TEMPERATURA (°C)	UMIDADE RELATIVA (%)	CO2 (ppm)
L-1	12	22,10	65,60	501,00
L-4	10	22,70	66,20	504,00
P-1	4	23,20	63,60	517,00
P-2	1	24,00	59,70	562,00
V-1	11	22,10	65,60	501,00
V-2	7	22,00	66,90	611,00
V-3	8	21,80	67,30	570,00
V-4	9	22,70	66,20	504,00
V-5	6	23,20	63,60	517,00
V-6	5	23,20	63,60	517,00
V-7	3	24,00	59,70	562,00
V-8	2	24,00	59,70	562,00

**Tabela 24: Dados ambientais medidos Ponte sobre a várzea dos Ferreiros (OAE 04).**

PONTO	NUMERO NO CAMPO	TEMPERATURA (°C)	UMIDADE RELATIVA (%)	CO2 (ppm)
L-4	7	10,40	58,00	493,00
P-1	2	10,00	58,40	483,00
P-2	1	10,30	56,60	470,00
V-1	11	10,10	58,50	582,00
V-2	8	10,50	56,50	559,00
V-3	3	10,10	58,20	498,00
V-4	6	10,40	58,00	493,00
V-5	10	10,10	58,50	582,00
V-6	9	10,50	56,50	559,00
V-7	4	10,10	58,50	582,00
V-8	5	10,40	58,00	493,00

**Tabela 25: Dados ambientais medidos Ponte sobre o Arroio Pinheiral (OAE 05).**

PONTO	NUMERO NO CAMPO	TEMPERATURA (°C)	UMIDADE RELATIVA (%)	CO2 (ppm)
L-1	12	21,20	53,30	540,00
L-4	10	23,80	46,90	593,00
P-1	4	21,50	52,60	513,00
P-2	1	23,70	46,10	495,00
V-1	11	21,20	53,30	540,00
V-2	8	22,00	53,30	580,00
V-3	7	22,40	51,80	562,00
V-4	9	23,80	46,90	593,00
V-5	5	21,50	52,60	513,00
V-6	6	21,50	52,60	513,00
V-7	3	23,70	46,10	495,00
V-8	2	23,70	46,10	495,00

**Tabela 26: Dados ambientais medidos Ponte sobre o arroio Passo do Sobrado (OAE 06).**

PONTO	NUMERO NO CAMPO	TEMPERATURA (°C)	UMIDADE RELATIVA (%)	CO2 (ppm)
L-1	10	25,70	43,80	524,00
L-4	12	26,70	40,10	482,00
P-1	1	25,80	43,50	630,00
P-2	4	24,80	47,90	575,00
V-1	9	25,70	43,80	524,00
V-2	7	24,80	46,60	538,00
V-3	8	24,80	47,90	575,00
V-4	11	26,70	40,10	482,00
V-5	2	25,70	43,80	524,00
V-6	3	24,80	46,60	538,00
V-7	6	24,80	47,90	575,00
V-8	5	26,60	41,00	483,00

**Tabela 27: Dados ambientais medidos Ponte sobre o arroio Passo das Carretas (OAE 07).**

PONTO	NUMERO NO CAMPO	TEMPERATURA (°C)	UMIDADE RELATIVA (%)	CO2 (ppm)
L-1	10	23,30	50,40	486,00
L-4	12	23,70	49,90	491,00
P-1	1	22,50	53,40	485,00
P-2	4	23,60	52,40	510,00
V-1	9	23,30	50,40	486,00
V-2	7	22,80	53,90	574,00
V-3	8	22,10	58,20	553,00
V-4	11	23,70	49,90	491,00
V-5	2	22,50	53,40	485,00
V-6	3	22,80	53,90	574,00
V-7	6	22,10	58,20	553,00
V-8	5	23,60	52,40	510,00

**Tabela 28: Dados ambientais medidos Ponte sobre o Arroio Zeca (OAE 08).**

PONTO	NUMERO NO CAMPO	TEMPERATURA (°C)	UMIDADE RELATIVA (%)	CO2 (ppm)
L-1	10	24,50	51,00	587,00
P-1	1	24,40	51,70	537,00
P-2	4	29,20	37,70	498,00
V-1	9	24,50	51,00	587,00
V-2	7	25,90	42,90	673,00
V-3	8	26,80	39,02	509,00
V-4	11	29,20	37,70	498,00
V-5	2	24,40	51,70	537,00
V-6	3	25,90	42,90	673,00
V-7	6	26,80	39,02	509,00
V-8	5	29,20	37,70	498,00

**Tabela 29: Dados ambientais medidos Ponte sobre o Arroio Quebrado (OAE 09).**

PONTO	NUMERO NO CAMPO	TEMPERATURA (°C)	UMIDADE RELATIVA (%)	CO2 (ppm)
L-1	10	27,40	48,70	507,00
L-4	12	25,90	51,20	522,00
P-1	1	27,40	48,70	507,00
P-2	4	27,00	48,90	513,00
V-1	9	27,40	48,70	507,00
V-2	7	26,90	48,40	515,00
V-3	8	26,90	48,40	515,00
V-4	11	25,90	51,20	522,00
V-5	2	27,40	48,70	507,00
V-6	3	26,90	48,40	515,00
V-7	6	26,90	48,40	515,00
V-8	5	27,00	48,90	513,00

**Tabela 30: Dados ambientais medidos Ponte sobre o Arroio Sabiá (OAE 10).**

PONTO	NUMERO NO CAMPO	TEMPERATURA (°C)	UMIDADE RELATIVA (%)	CO2 (ppm)
L-1	10	26,20	48,50	486,00
P-1	1	26,20	51,80	481,00
P-2	4	25,60	52,30	511,00
V-1	9	26,20	48,50	486,00
V-2	7	25,70	53,50	536,00
V-3	8	25,70	53,50	536,00
V-5	2	26,20	51,80	481,00
V-6	3	25,70	53,50	536,00
V-7	6	25,70	53,50	536,00
V-8	5	25,60	52,30	511,00

#### 4.6 ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS

Neste subitem são apresentadas as análises dos dados obtidos na seguinte ordem: 1) Análise dos dados de carbonatação em comparação com a curva de evolução da carbonatação; 2)

Comparativo entre o cobrimento encontrado e o cobrimento especificado; 3) Análise dados ambientais; 4) Análise dados do ensaio de carbonatação.

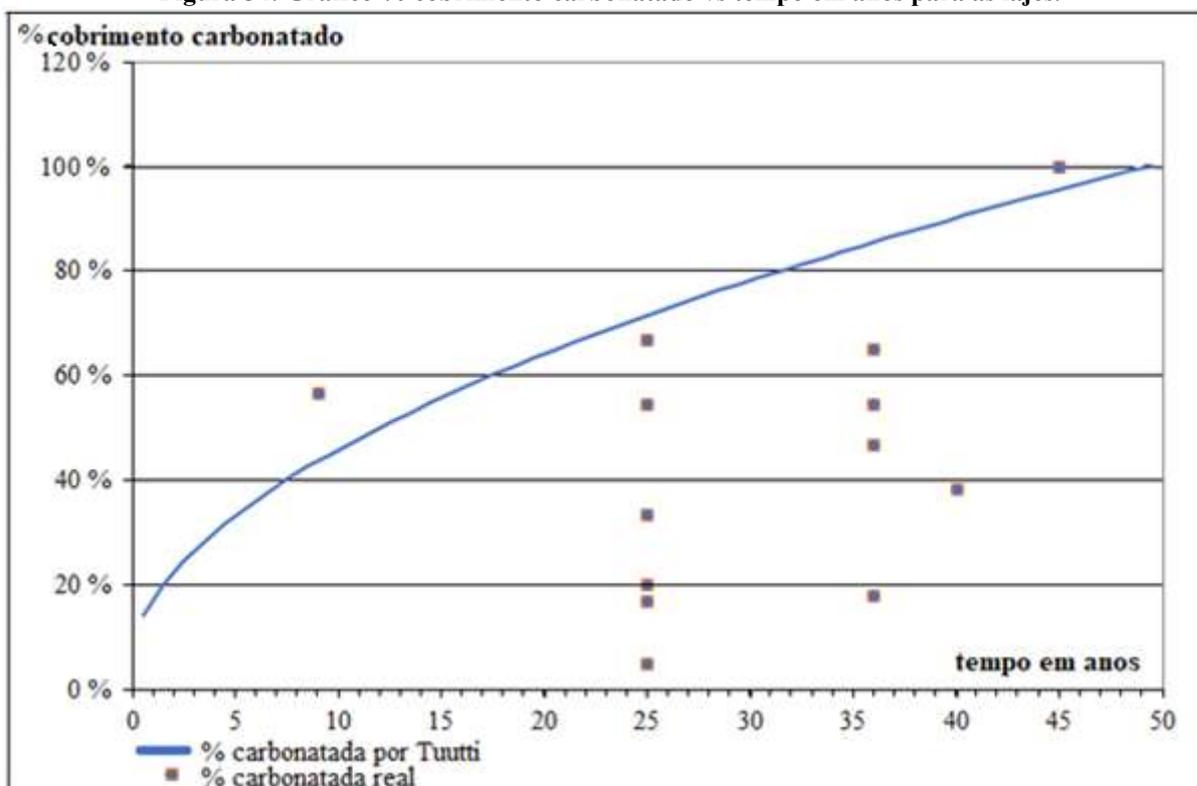
#### 4.6.1 Análise dos dados de carbonatação em comparação com a curva de evolução da carbonatação esperada

Para a realização desta análise comparativa, primeiramente foi utilizada a equação de Tuutti (subitem 2.3.1) para plotar um gráfico da porcentagem do cobrimento carbonatado ao longo dos anos. Para a elaboração da curva-base, primeiro foi calculado através da Equação 02 o  $k$  teórico para que a frente de carbonatação avançasse 3,00 cm e 2,50 cm em 50 anos, após foi calculada a porcentagem da profundidade carbonatada em cada ano e assim foi possível plotar o gráfico do avanço teórico em porcentagem do avanço da frente de carbonatação ao longo dos anos. Cabe ressaltar que a curva foi elaborada através de uma fórmula de 1982, época em que os concretos não possuíam tantas adições como hoje.

Após foi plotado um gráfico de dispersão para cada um dos elementos estudados. Os dois gráficos foram transpostos na mesma grade e são apresentados na Figura 54, Figura 55 e Figura 56.

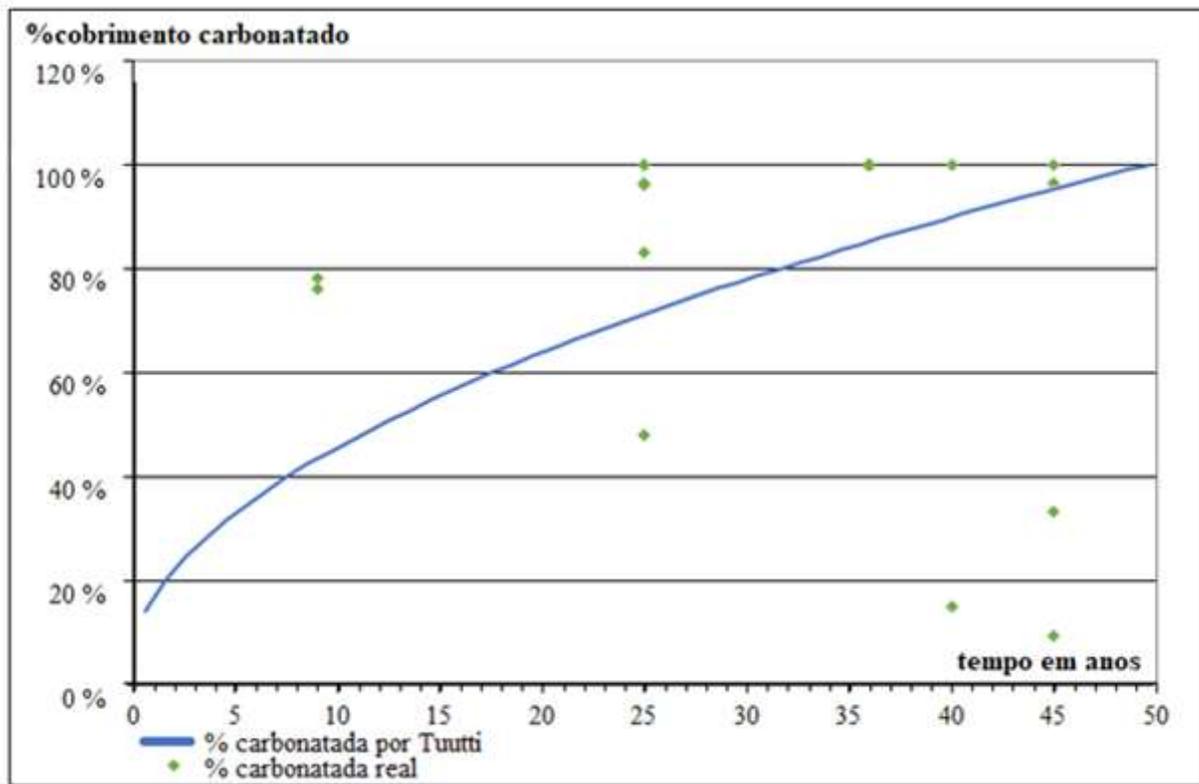
Para as lajes (Figura 54), dos 16 pontos estudados 5 estavam com profundidade carbonatada acima do esperado. Para a obra de 09 anos (OAE 02) a profundidade já carbonatada medida era a esperada para uma obra de 16 anos e a barra avaliada internamente no concreto já apresentava indícios de corrosão. Todas as obras de 25, 36 e 40 anos (OAE 04 a 10) apresentaram valores inferiores do que o esperado. Para as obras de 45 anos (OAE 01 e 03), os valores estão superiores aos esperados, porém muito próximos, uma vez que essa obra se encontra no fim de sua vida útil de projeto.

Figura 54: Gráfico % cobertura carbonatada vs tempo em anos para as lajes.



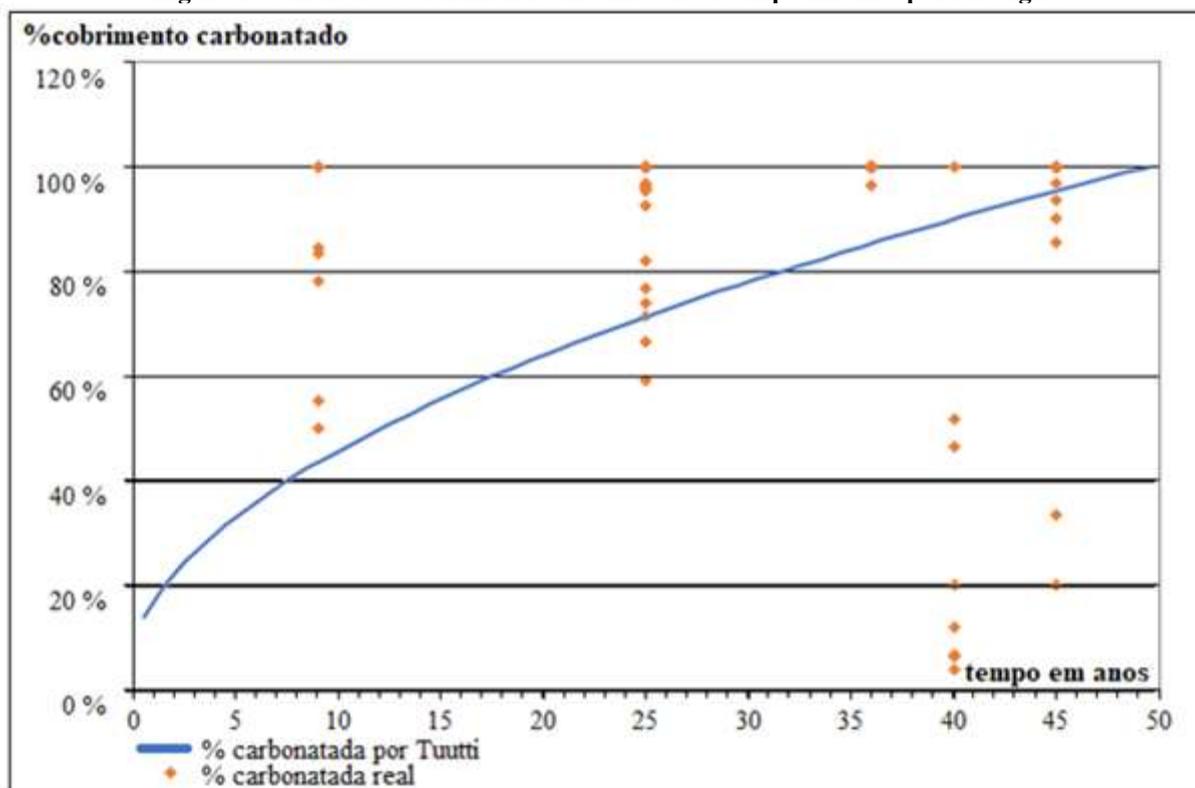
Nos pilares (Figura 55), 16 dos 20 pontos estudados estavam com a profundidade carbonatada acima do esperado. Para a obra de 09 anos (OAE 02) a profundidade já carbonatada medida era a esperada para uma obra de 30 anos. Quatro dos seis pontos estudados para as obras de 25 anos (OAE 05 a 07) já apresentavam acima de 95% do cobrimento carbonatado, e somente um ponto estava abaixo da curva de deterioração. Nas obras de 36 anos, (OAE 08 a 10) todos os seis pontos já apresentam 100% do cobrimento carbonatado, e em dois deles, localizados na esquerda, a barra avaliada internamente no concreto já apresentava indícios de corrosão. Na obra de 40 anos (OAE 04) o ponto da esquerda já apresentava todo cobrimento carbonatado, e o ponto da direita encontrava-se bem abaixo da curva de deterioração. Nas obras de 45 anos (OAE 01 e 03) os pontos da direita já apresentavam todo cobrimento carbonatado e os pontos da esquerda encontrava-se bem abaixo da curva de deterioração.

Figura 55: Gráfico % cobertura carbonatado vs tempo em anos para os pilares.



Para as vigas (Figura 56), dos 79 pontos estudados 65 estavam com profundidade carbonatada acima do esperado (82,28%). Para a obra de 09 anos, (OAE 02) dos oito pontos estudados três já possuíam todo o cobrimento carbonatado e, em um deles, localizado na esquerda externo, a barra avaliada internamente no concreto já apresentava indícios de corrosão. Nas obras de 25 anos (OAE 05 a 07), dos 24 pontos estudados 11 apresentam todo o cobrimento carbonatado e estão acima da curva de deterioração, estando somente 2 abaixo do valor previsto. Na obra 07 quatro pontos já apresentavam a barra internamente ao concreto com indícios de corrosão. Para as obras de 36 anos (OAE 08 a 10), os 23 pontos estudados já apresentam todo o cobrimento carbonatado. Somente um dos oito pontos da obra de 40 anos (OAE 04) está acima da curva de deterioração. Para as obras de 45 anos (OAE 01 e 03), em 13 dos 16 pontos ensaiados o valor encontrado diverge em até 5% do calculado e está próximo a 100% do cobrimento carbonatado, o que é esperado uma vez que essa obra se encontra no fim de sua vida útil de projeto. Nessas obras dois pontos chamaram atenção, ambos na obra 01, face esquerda e direita internas acima do apoio, eles apresentam menos que 35% do cobrimento carbonatado, valor esperado para uma obra de seis anos.

Figura 56: Gráfico % cobertura carbonatada vs tempo em anos para as vigas.

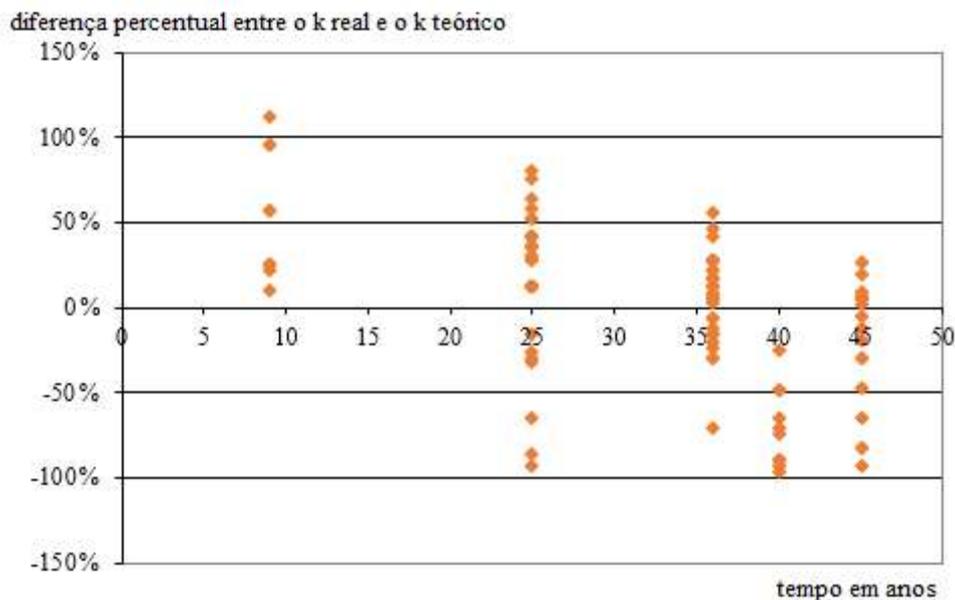


Avaliando a curva de deterioração, o ensaio de carbonatação ter apresentado um valor inferior ao esperado significa que para esse fator as inspeções podem ser mais espaçadas e não é necessária ainda uma intervenção. Um valor acima da curva implica na realização de uma manutenção para que haja um incremento e a estrutura volte a curva de deterioração projetada.

Na equação de Tuutti é utilizado o fator  $k$ , que é o coeficiente de carbonatação m/s. Foi calculada a diferença percentual do  $k$  real de cada ponto estudado e o  $k$  oriundo dos valores mínimos hoje especificado em norma (Figura 57). O valor de referência utilizado para as obras CAA I foi 0,28 nas lajes e 0,35 em vigas e pilares e para as obras CAA II foi 0,35 nas lajes e 0,42 em vigas e pilares. Em uma análise geral, 40 pontos resultaram em um  $k$  menor do que o esperado e 75 em um valor superior, ou seja, é provável que em 65,21% dos locais estudados a frente de carbonatação chegará nas armaduras antes do previsto.

Para a obra de 09 anos (OAE 02), o valor de  $k$  real é superior ao teórico em 100% dos pontos. Nas obras de 25 anos (OAE 05 a 07) ele é maior que o desejado em 80,56%. Para as obras de 36 anos (08 a 10) o valor de  $k$  real é superior ao teórico em 66,67% dos pontos. A obra de 40 anos (OAE 04) apresenta todos os valores de  $k$  inferiores ao esperado. Nas obras de 45 anos (OAE 01 e 03) ele é maior que o desejado em 54,17%.

**Figura 57: Gráfico diferença percentual entre o k real e o k teórico calculado conforme parâmetros da tabela 7.2 da NBR 6118:2014.**



#### 4.6.2 Comparativo entre o cobrimento encontrado e o cobrimento especificado

A norma vigente na época do projeto das obras **01**, **03** e **04** era a NB-1:1960 que especificava cobrimento como 1,50 cm para lajes e paredes ao ar livre e 2,00 cm para vigas e pilares ao ar livre. Para as obras **05** a **10**, a norma vigente era a NBR 6118:1980, que especificava cobrimento de 2,5 cm para concreto aparente ao ar livre. Para a obra **02**, a norma vigente era a NBR 6118:2007, que já especificava os cobrimentos conforme a NBR 6118:2014.

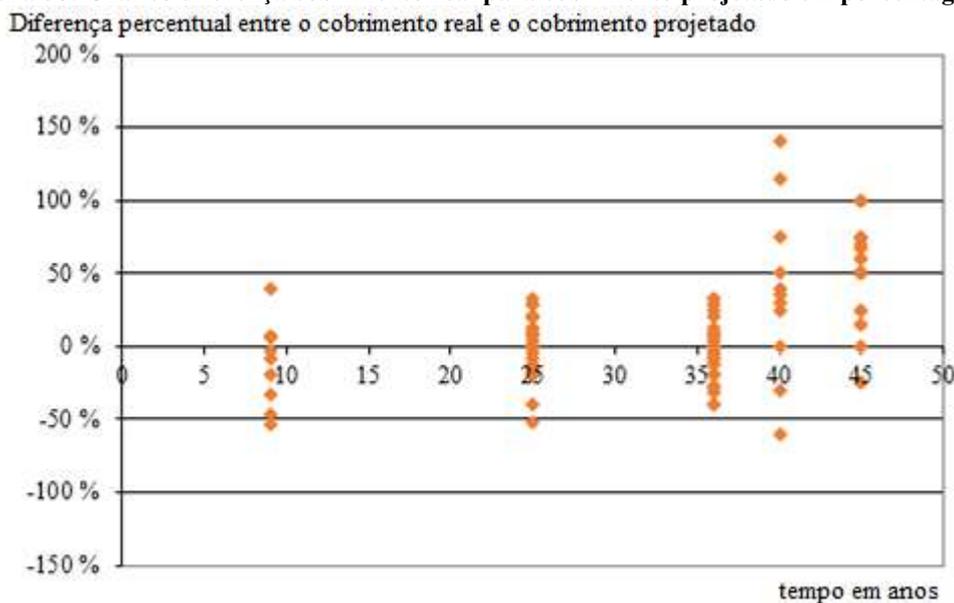
A norma NBR 6118:2017 especifica os cobrimentos conforme a classe de agressividade ambiental, o elemento e o tipo de estrutura. As obras **01** a **04** foram classificadas como CAA II – Moderada Urbana. Para essa classe de agressividade os cobrimentos mínimos especificados para elementos de concreto armado são 2,50 cm para lajes e 3,00 cm para vigas e pilares. As obras **05** a **10** foram classificadas como CAA I – Fraca. Para essa classe de agressividade os cobrimentos mínimos especificados para elementos de concreto armado são de 2,00 cm para lajes e 2,50 cm para vigas e pilares.

Quando comparado com o projetado, todos os cobrimentos são 1,00 cm maiores na norma vigente para as obras **1**, **3** e **4** (NB-1:1960). Para as obras **5** a **10** (NBR6118:1980) o cobrimento especificado para vigas e pilares é o mesmo que o da norma vigente, porém para lajes o atual é

0,50 cm menor. Abaixo seguem duas comparações, a primeira entre o cobrimento efetivamente executado e o projetado e uma segunda com o especificado hoje em norma.

Analisando os dados da Figura 58, seis dos onze pontos da obra de 09 anos (OAE 02) (NBR 6118:2007) possuem cobrimento abaixo do especificado em projeto (54,54%). Para as obras projetadas pela NBR 6118:1980 (OAE 05 a 10), vinte e nove dos sessenta e nove pontos estudados (42,02%) contêm cobrimento inferior ao de projeto. Nas três obras mais antigas (OAE 01, 03 e 04), projetadas pela NB-1 de 1960, dos trinta e cinco ensaios somente quatro (11,42%) apresentaram cobrimento abaixo do especificado em projeto. Embora os processos construtivos venham passando por melhorias ao longo dos anos, as porcentagens de pontos desconformes para as obras avaliadas tiveram um crescimento com o passar dos anos. Isso pode ser atribuído a inúmeros motivos, como utilização inadequada de espaçadores ou espaçadores de resistência inferior a necessária para construção de estruturas de grande porte.

**Figura 58: Gráfico diferença cobrimento real para cobrimento projetado em porcentagem.**

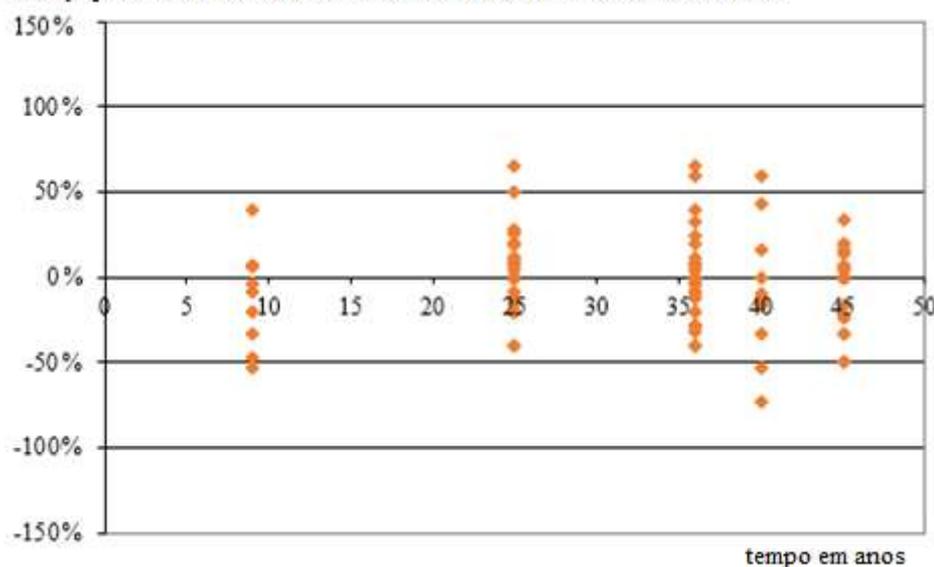


Quando comparado o cobrimento encontrado em obra com o atualmente especificado em norma (Figura 59), podemos observar que para as obras de 09 anos (OAE 02) a avaliação permanece a mesma descrita anteriormente, ou seja, 54,54% dos pontos em desconformidade. Para as obras de 25 e 36 anos (OAE 05 a 10), vinte e seis dos sessenta e nove pontos estudados estariam abaixo do normatizado, isso representa 37,68%. A diminuição de pontos não conformes é atribuída ao fato destas obras se localizarem em zona rural CA I e, conforme comentado anteriormente, o cobrimento especificado para pilares e vigas ter se mantido o mesmo com as atualizações da norma, e o para as lajes ter diminuído 0,50 cm. Nas obras de 40 e 45 anos (OAE

01, 03 e 04), dos trinta e cinco ensaios quinze (42,85%) estariam abaixo do cobrimento especificado em norma caso estas obras fossem construídas hoje. Essa porcentagem aumentou 31,43%, pois conforme mencionado anteriormente, o cobrimento para lajes, vigas e pilares especificado aumentou 1,00 cm do especificado na época de construção para o atual.

**Figura 59: Gráfico diferença cobrimento real para cobrimento da norma atual em porcentagem.**

Diferença percentual entre o cobrimento real e o cobrimento da norma atual



### 4.6.3 Análise dados ambientais

Na análise dos dados ambientais foi aplicada a Análise da Variância (ANOVA). Este é um método de análise estatística utilizado para testar a igualdade das médias populacionais, baseado na análise das variâncias amostrais. Para as análises realizadas a hipótese nula  $H_0$  foi rejeitada a um nível de significância de  $\alpha=5\%$ . Trabalhou-se com duas hipóteses,  $H_1$  não há diferença significativa entre os grupos e  $H_0$  há diferença significativa entre os grupos. Ao ocorrer diferença significativa foi realizado o teste de Tuckey para identificação dos grupos.

Mesmo as obras tendo sido vistoriadas em um intervalo de 35 dias, em algumas a temperatura no momento da visita era  $10^\circ\text{C}$  e em outras  $31^\circ\text{C}$ , portanto para todos os parâmetros optou-se por calcular a média de cada obra e fazer a diferença entre o medido e a média para cada ponto.

Foram realizadas 15 análises (ANOVA) onde se avaliou três dados ambientais em três elementos diferentes (vigas, pilares e lajes). Nas vigas foram avaliados três fatores, sendo eles o ponto estudado, diferença entre o valor da esquerda e da direita, diferença entre o valor do

local interno e externo. Nos pilares e lajes foi avaliado somente o parâmetro diferença entre o valor da esquerda e da direita.

Foram encontradas quatro diferenças significativas nas vigas, sendo elas a quantidade de dióxido de carbono em cada ponto estudado; a quantidade de dióxido de carbono em pontos localizado na esquerda ou na direita; a quantidade de dióxido de carbono em pontos internos ou externos; a temperatura se o ponto era interno ou externo. A um  $\alpha=10\%$  se observou diferença significativa em três outros parâmetros, a temperatura na direita e esquerda; a umidade relativa para interno e externo; umidade relativa para esquerda e direita. Conforme apresentado na Tabela 31, os pontos destacados em verde apresentaram diferenças significativas a um nível de significância de 95% e os em amarelo a 90%.

**Tabela 31: Resultado das análises ANOVA para os dados ambientais.**

Avaliação da influência do(a)	Elemento	S	R <sup>2</sup>	Valor F	Valor P	Teste
Temperatura vs Ponto estudado	Viga	1,06759	14,43 %	1,57	0,16	Ho
Temperatura vs Esquerda/Direita	Viga	1,08139	3,68 %	2,94	0,09	Ho
Temperatura vs Interno/Externo	Viga	1,07256	5,24 %	4,26	0,04	H1
Umidade Relativa vs Ponto estudado	Viga	3,94454	13,93 %	1,64	0,14	Ho
Umidade Relativa vs Esquerda/Direita	Viga	4,01324	3,38 %	2,69	0,10	Ho
Umidade Relativa vs Interno/Externo	Viga	4,01257	3,41 %	2,72	0,10	Ho
Dióxido de Carbono vs Ponto estudado	Viga	34,44990	27,00 %	3,72	0,00	H1
Dióxido de Carbono vs Esquerda/Direita	Viga	37,53230	6,03 %	4,94	0,03	H1
Dióxido de Carbono vs Interno/Externo	Viga	35,49830	15,94 %	14,60	0,00	H1
Temperatura vs Esquerda/Direita	Pilar	1,16791	10,03 %	2,01	0,17	Ho
Umidade Relativa vs Esquerda/Direita	Pilar	3,78538	9,37 %	1,86	0,19	Ho
Dióxido de Carbono vs Esquerda/Direita	Pilar	37,02220	0,12 %	0,02	0,89	Ho
Temperatura vs Esquerda/Direita	Laje	1,50155	0,57 %	0,08	0,78	Ho
Umidade Relativa vs Esquerda/Direita	Laje	4,14857	1,99 %	0,28	0,60	Ho
Dióxido de Carbono vs Esquerda/Direita	Laje	31,67030	4,75 %	0,70	0,42	Ho

Um resumo dos parâmetros ambientais pode ser observado na Tabela 32. Como esperado, em pontos onde a temperatura era maior, a umidade relativa e a quantidade de dióxido de carbono eram menores.

**Tabela 32: Resumo ANOVA ambiental.**

Parâmetro ambiental	Direita	Esquerda	Interno	Externo
dióxido de carbono	menor	maior	maior	menor
temperatura	maior	menor	menor	maior
umidade relativa	menor	maior	maior	menor

#### 4.6.4 Análise dados do ensaio de carbonatação

Para a avaliação de quais parâmetros interferem na profundidade de carbonatação foram utilizados os mesmos métodos de análise descritos no primeiro parágrafo do item anterior.

Primeiramente foram realizadas 06 ANOVAS com todos os 115 locais ensaiados, os critérios avaliados foram ponto ensaiado, tipo de elemento, ano de construção, esquerda/direita, comprimido/tracionado e interno/externo.

Considerando os resultados da primeira etapa, foi conduzida a segunda etapa da análise (18 ANOVAS), nela foi realizada a divisão por elemento e ano, desconsiderando as obras de 09 e 40 anos (OAE 02 e OAE 04) por serem únicas na amostra estudada. Para as vigas foram realizadas 12 análises, elas foram divididas em três conjuntos de idade, 25 (OAE 05 a 07), 36 (OAE 08 a 10) e 45 (OAE 01 e 03) anos e, em cada um deles, foi avaliada a influência do ponto, comprimido/tracionado, esquerda/direita e interno/externo. Os pilares e lajes também foram divididos em três conjuntos de idade, porém para estes elementos foi realizada a avaliação somente do parâmetro esquerda/direita, sendo o total de três análises para cada. Os resultados podem ser observados na Tabela 33, os pontos destacados em verde apresentaram diferenças significativas a um nível de significância de 95% e os em amarelo a 90%.

**Tabela 33: Resumo das análises ANOVA para os dados de carbonatação.**

Avaliação da influência do(a)	Elemento	S	R <sup>2</sup>	Valor F	Valor P	Teste
Ponto	Todos	0,828665	9,63 %	1,00	0,45	Ho
Elemento	Todos	0,802970	7,74 %	4,69	0,01	H1
Ano de construção	Todos	0,719533	27,24 %	10,29	0,00	H1
Esquerda/Direita	Todos	0,832167	0,02 %	0,02	0,89	Ho
Comprimido/Tracionado	Todos	0,742368	0,46 %	0,36	0,55	Ho
Interno/Externo	Todos	0,743076	0,27 %	0,21	0,65	Ho
Ponto em obras de 25 anos	Viga	0,413824	30,63 %	1,10	0,46	Ho
Esquerda/Direita em obras de 25 anos	Viga	0,384304	17,73 %	4,74	0,04	H1
Comprimido/Tracionado em obras de 25 anos	Viga	0,411713	5,58 %	1,30	0,27	Ho
Interno/Externo em obras de 25 anos	Viga	0,423147	0,26 %	0,06	0,81	Ho
Ponto em obras de 36 anos	Viga	0,387585	52,59 %	2,38	0,08	Ho
Esquerda/Direita em obras de 36 anos	Viga	0,468768	2,91 %	0,63	0,44	Ho
Comprimido/Tracionado em obras de 36 anos	Viga	0,475367	0,16 %	0,03	0,86	Ho
Interno/Externo em obras de 36 anos	Viga	0,443459	13,11 %	3,17	0,09	Ho
Ponto em obras de 45 anos	Viga	0,926688	34,26 %	0,60	0,75	Ho
Esquerda/Direita em obras de 45 anos	Viga	0,833559	6,91 %	1,04	0,33	Ho
Comprimido/Tracionado em obras de 45 anos	Viga	0,829802	7,75 %	1,18	0,30	Ho
Interno/Externo em obras de 45 anos	Viga	0,863030	0,22 %	0,03	0,87	Ho
Esquerda/Direita em obras de 25 anos	Pilar	0,508265	54,04 %	4,70	0,10	Ho
Esquerda/Direita em obras de 36 anos	Pilar	0,476095	0,73 %	0,03	0,87	Ho
Esquerda/Direita em obras de 45 anos	Pilar	0,250000	97,79 %	88,36	0,01	H1
Esquerda/Direita em obras de 25 anos	Laje	0,804156	0,26 %	0,01	0,92	Ho
Esquerda/Direita em obras de 36 anos	Laje	0,251661	86,34 %	12,64	0,07	Ho
Esquerda/Direita em obras de 45 anos	Laje	0,320156	1,20 %	0,02	0,89	Ho

Conforme mostrado na Tabela 33, na primeira etapa encontrou-se diferença significativa para dois parâmetros: elemento e ano de construção. Na segunda etapa somente dois estudos não resultaram em Ho: Esquerda/Direita em vigas das obras de 25 anos (OAE 05 a 07) e Esquerda/Direita em pilares das obras de 45 anos (OAE 01 e 03).

#### 4.6.5 Microclimas identificados

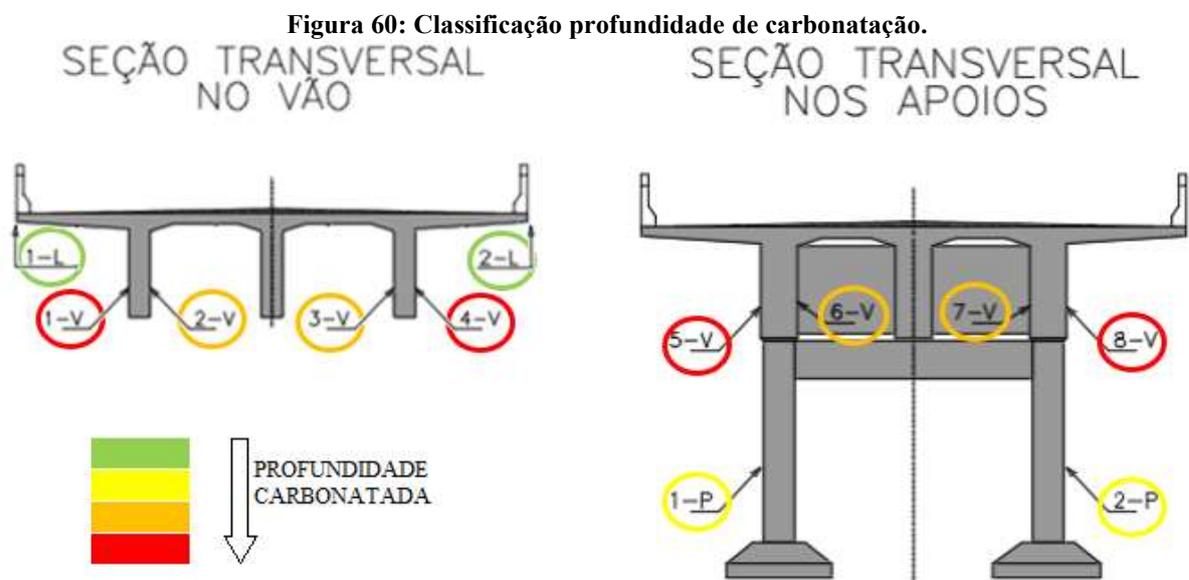
Considerando o observado no local e as medições de carbonatação, cada elemento pode ser considerado como estando em um diferente microclima.

As lajes em balanço recebem incidência direta de chuvas e raios solares. Como no macroclima as precipitações são bem distribuídas sem a ocorrência de estação seca, e a umidade relativa anual varia em média de 75% a 85%, os poros do concreto normalmente estão saturados dificultando assim o fenômeno da carbonatação.

As vigas encontram-se protegidas da água da chuva, porém devido a sua dimensão, recebem incidência perpendicular de vento e, portanto, a taxa de carbonatação é a maior para este elemento – elemento crítico.

Os pilares estão em condição similar a das vigas, porém suas dimensões são menores e sua geometria normalmente é definida através dos princípios da hidrodinâmica para facilitar o despreendimento dos vórtices o que acaba auxiliando também na aerodinâmica, portanto, a profundidade de carbonatação para este elemento é menor que a das vigas.

Com base nos resultados apresentados podemos concluir que para esta tipologia de estrutura as Vigas em sua face externa apresentaram maior profundidade carbonatada (Figura 60 vermelho) seguidas da face interna das vigas (Figura 60 laranja). As lajes foram os elementos que apresentaram menor profundidade carbonatada (Figura 60 verde), seguidas dos pilares (Figura 60 verde).



## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1 CONCLUSÕES

Após a análise dos dados obtidos em campo foi possível: detectar um microclima através da avaliação das manifestações patológicas; avaliar a relação do microclima com a evolução da profundidade de carbonatação; detecção dos pontos cruciais para este ensaio; analisar se o cobrimento especificado hoje em norma é adequado; propor uma metodologia para ensaios de carbonatação *in situ*.

As manifestações patológicas encontradas nas bordas das lajes em balanço são as mesmas em todas as obras, e as encontradas na face inferior do balanço também são as mesmas, variando conforme o tipo de pingadeira. Para as vigas e pilares não foi possível encontrar uma tendência entre os quadros patológicos na amostra estudada. Através das manifestações patológicas observadas, foi possível concluir que neste mesmo macroclima as lajes em balanço podem ser classificadas em um mesmo microclima.

Nos dados ambientais medidos, percebeu-se que nos locais onde a temperatura era maior, a umidade relativa e a quantidade de dióxido de carbono eram menores. Os pontos externos apresentaram valores de temperatura maior quando comparado aos internos. Os locais ensaiados da direita apresentaram maiores temperaturas que os da esquerda.

Em uma análise de todos os pontos ensaiados, concluiu-se que a profundidade de carbonatação diverge principalmente conforme o tipo de elemento e ano de construção.

A obra de 09 anos (OAE 02) apresentou uma profundidade de carbonatação muito superior à esperada, sendo maior nas vigas e menor nas lajes. Em alguns pontos já possui todo o seu cobrimento carbonatado, e em 18,18% dos pontos a barra interna ao concreto já iniciou o processo de corrosão. Avaliando o cobrimento de projeto, 54,56% dos pontos apresentam valor inferior ao especificado em norma. Todos os pontos com o cobrimento acima do especificado hoje na NBR 6118:2014, possuíam profundidade carbonatada superior ao esperado.

Nas obras de 25 anos (OAE 5, 6 e 7), as lajes apresentavam a profundidade carbonatada abaixo do esperado. Nos pilares e vigas, 50% dos pontos apresentam todo o cobrimento carbonatado, e 90% estão acima da curva de deterioração, estando somente 10% abaixo do valor previsto. Nas vigas quatro pontos já apresentavam a barra internamente ao concreto com indícios de

corrosão. Avaliando o cobrimento de projeto, 33,33% dos pontos apresentam valor inferior ao especificado na norma NBR 6118:1980. Em 72,22% dos pontos estudados o cobrimento estava igual ou acima do especificado hoje na NBR 6118:2014, destes metade já apresentavam acima de 95% do cobrimento carbonatado.

As obras de 36 anos (OAE 8, 9 e 10) apresentaram todo o cobrimento carbonatado em todos os pontos das vigas e pilares e as lajes possuem todos os valores inferiores ao esperado. Nos pilares, em dois pontos a barra avaliada internamente no concreto já apresentava indícios de corrosão. Avaliando o cobrimento de projeto, 51,51% dos pontos apresentam valor inferior ao especificado na norma NBR 6118:1980. Em metade dos pontos estudados o cobrimento estava igual ou acima do especificado hoje em norma, destes 79,47% já apresentavam acima de 95% do cobrimento carbonatado.

Para a obra de 40 anos (OAE 4), de todos os pontos avaliados, somente dois estão acima da curva de deterioração. A porcentagem da profundidade carbonatada para os demais pontos é a esperada para obras de 13 anos. Apesar destes resultados, esta foi a obra onde havia mais armaduras expostas. Avaliando o cobrimento de projeto, 18,18% dos pontos apresentam valor inferior ao especificado na norma NB-1:1960. Em 36,36% dos pontos estudados o cobrimento estava igual ou acima do especificado hoje na NBR 6118:2014.

Nas obras de 45 anos (OAE 1 e 3), 79,16% dos pontos divergiram no máximo 5% do esperado, e 70,83% já possuíam todo seu cobrimento carbonatado. Esses resultados já eram esperados, uma vez que essa obra se encontra no fim de sua vida útil de projeto. Avaliando o cobrimento de projeto, 8,33% dos pontos apresentam valor inferior ao especificado na norma NB-1:1960. Em 66,67% dos pontos estudados o cobrimento estava igual ou acima do especificado hoje na NBR 6118:2014.

Considerando os resultados dos ensaios de carbonatação e as manifestações patológicas observadas foi possível identificar três microclimas distintos, sendo eles lajes em balanço, vigas e pilares.

Avaliando o normatizado para projetos novos, o cobrimento especificado mostrou-se insuficiente, e a curva de deterioração encontra-se acima do esperado em 90% das obras estudadas. Acredita-se que sejam necessárias alterações nas concepções de projetos de pontes,

sendo que estas podem ser realizadas através do aumento do cobrimento, alteração das características do concreto empregado e melhoria dos processos construtivos.

Foi proposto um método para ensaios de profundidade de carbonatação in situ que agrega informações importantes para o diagnóstico das obras e demanda de intervenções. A metodologia proposta foi aplicada neste estudo e pode ser reproduzida em vistorias futuras. Para a obra de 09 anos (OAE 02), por exemplo, caso a vistoria fosse sem a realização de nenhum ensaio a nota atribuída seria 05 em todos os parâmetros da NBR 9452:2019 e a manutenção recomendada seria somente a de rotina. Entretanto, conforme os dados obtidos em ensaios, todas as obras, exceto a 04, necessitam de intervenção para que sua curva de deterioração volte para a curva de projeto.

A realização de vistorias frequentes é imprescindível para o acompanhamento da evolução das manifestações patológicas das estruturas e geração de demandas de conservação. Comparando a vistoria realizada pelo DAER em 2017 e a elaborada neste trabalho foi detectado um avanço significativo no quadro de manifestações patológicas de 20% das obras.

## 5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Abaixo seguem algumas sugestões de trabalhos futuros para dar continuidade a esta pesquisa.

- Avaliar e inspecionar um número maior de estruturas.
- Realizar os ensaios em ambas as margens da obra.
- Ensaiai pontos na horizontal.
- Abranger o estudo para viadutos.

## 6. REFERÊNCIAS

ACI Committee 365. **Service Life Prediction-State of the art report**, ACI 365.1R-00, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 2000.

ALMEIDA, J., M., M., R., M., O., A. **Sistema de gestão de pontes com base nos custos do ciclo de vida**. Universidade do Porto Faculdade de Engenharia FEUP. 2013.

ANDRADE, C.; SARRÍA, J.; ALONSO, C. **Relative humidity in the interior of concrete exposed to natural and artificial weathering**. Pergamon Cement and Concrete Research 29 (1999) 1249–1259.

ANDRADE, J. J. O. **Contribuição à previsão da vida útil das estruturas de concreto armado atacadas pela corrosão de armaduras: Iniciação por cloretos**. Tese (Doutorado), UFRGS, Porto Alegre, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9452: Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. **NBR 9452: Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2019.

\_\_\_\_\_. **NB 1: cálculo e execução de obras de concreto armado**. Rio de Janeiro, 1960.

\_\_\_\_\_. **NBR 6118: projeto de estruturas de concreto – procedimento**. Rio de Janeiro, 1980.

\_\_\_\_\_. **NBR 6118: projeto de estruturas de concreto – procedimento**. Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. **NBR 6118: projeto de estruturas de concreto – procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_. **NBR 7188: carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre – procedimento**. Rio de Janeiro, 2013

\_\_\_\_\_. **NBR 7187: projeto e execução de pontes de concreto armado e protendido**. Rio de Janeiro, 2003a.

\_\_\_\_\_. **NBR 6123: forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro, 1988.

\_\_\_\_\_. **NBR 9452: Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2016.

BRANCO F. A., **O projeto de pontes para vidas superiores a 100 anos**. ALCONPAT, 2012.

BUSH, S. J. W.; HENNING, T. F. P.; RAITH, A.; INGHAM, J. M. **Development of a Bridge Deterioration Model in a Data-Constrained Environment**. American Society of Civil Engineers ASCE American Society of Civil Engineers. 2017.

CÁNOVAS, F. M. **Patología y terapêutica del hormigon armado**. Madrid, Dossat, 1977

CARMONA, T. G. **Modelos de Previsão da Despassivação das Armaduras em Estruturas de Concreto Sujetas à Carbonatação**. São Paulo, Universidade de São Paulo PCC. USP, 2005.

CARONE, C., **Laudo da PCDF aponta que queda de viaduto poderia ter sido evitada**. Disponível em: <https://www.metropoles.com/distrito-federal/laudo-da-pcdf-aponta-que-queda-de-viaduto-poderia-ter-sido-evitada>. Acesso em 25/08/2019.

CASTEL, A.; FRANCOIS, R.; ARLIGUIE, G., **Effect of loading on carbonation penetration in reinforced concrete elements**. Cement and Concrete Research, v. 29, p. 561-565, 1999.

CHANG, M.; MAGUIRE, M.; SUN, Y. **Framework for Mitigating Human Bias in Selection of Explanatory Variables for Bridge Deterioration Modeling**. ASCE American Society of Civil Engineers, 2017.

CNT, SEST SENAT. **Pesquisa CNT de rodovias 2018**: relatório gerencial. Brasília, 2018.

COMISIÓN PERMANENTE DEL HORMIGÓN. **EHE: Institución de Hormigón Estructural**. Ministério de obras públicas e urbanismo. Madri, Espanha, 2008.7

CONCIATORI D.; DENARIÉ E.; SADOUKI H.; BRÜHWILER E. **Chloride penetration model considering the microclimate**. The Joint Committee on Structural Safety Workshop on Probabilistic Modelling of Deterioration Processes in Concrete Structures, JCSS. Lausanne, 2003

COUTO, R. A. **Avaliação probabilística da vida útil de estruturas de concreto armado sujeitas à carbonatação**. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, 2017.

CROUCH, R. S.; WOOD, J. G. M. **Damage evolution in AAR affected concretes**. Engineering Fracture Mechanics Vol. 35, No. 1/2/3, pp. 21 I-218, 1990.

DAL MOLIN, D. C. C. **Fissuras em estruturas de concreto armado**: Análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no estado do Rio Grande do Sul. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1988.

DAL MOLIN, D. C. C.; MASUERO, A. B., ET AL. **Contribuição à Previsão da Vida Útil de Estruturas de Concreto. Avaliação de Desempenho de Tecnologias Construtivas Inovadoras: Materiais e Sustentabilidade**. ANTAC, 2016.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT **Relatório de Gestão do Exercício de 2016**. Brasília, 2016

\_\_\_\_\_. DNIT **Relatório de Gestão do Exercício de 2017**. Brasília, 2017

\_\_\_\_\_. DNIT **Relatório de Gestão do Exercício de 2018**. Brasília, 2018

\_\_\_\_\_. DNIT 010/2004 - Pro – **Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido - Procedimento**. Norma. Brasil, 2004a

\_\_\_\_\_. DNIT IPR 709. Manual de inspeções de pontes rodoviárias. Norma. Brasil, 2004b

DOW, C., GLASSER F.P. **Calcium carbonate efflorescence on Portland cement and building materials**. Pergamon, 2003.

FRANGOPOL, DAN M. **Bridge Adaptation and Management under Climate Change Uncertainties: A Review**. ASCE. 2018.

HELENE, P. **Contribuição ao Estudo da Corrosão em Armadura de Concreto Armado**. São Paulo, 1993. 231p. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo.

HELENE, P. R. L. **Vida útil das Estruturas de Concreto**. In: IV CONGRESSO IBEROAMÉRICO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES. Porto Alegre, RS, 1997.

HELENE, P.; CASTRO-BORGES, P. **Uma abordagem conceitual holística para a vida útil das estruturas de concreto: divisão em diferentes estágios de tempo**. ALCONPAT, 2010

HO, D. W. S.; LEWIS, R. K. **Carbonation of concrete and its prediction**. Cement and Concrete Research, v. 17, p. 489-504, 1987.

INTERNATIONAL FEDERATION FOR STRUCTURAL CONCRETE- fib. **fib Model Code for Concrete Structures**, vol. 1. fib Bulletin, n. 55, 2010.

IPT, **Viaduto na Marginal Pinheiros**. Disponível em: [https://www.ipt.br/ipt\\_na\\_midia/608-viaduto\\_na\\_marginal\\_pinheiros.htm](https://www.ipt.br/ipt_na_midia/608-viaduto_na_marginal_pinheiros.htm). Acesso em 25/08/2019.

ISLAM, A. K. M. **Corrosion in the Substructure of a Pedestrian Bridge at YSU: A Case Study**. Structures Congress Fort Worth, Texas 2018.

JAPAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS, JSCE. **Standard Specifications for Concrete Structures - 2007 "Maintenance"**, JSCE Guidelines for Concrete No.17, 2007.

JI-DONG, G.; TIM, E. F.; NEAL, S. B.; RALPH, M. **Biodeterioration of concrete by the fungus Fusarium**. Elsevier, 1998

JIANG C.; GU, X.; ZHANG, W.; ZOU, W. **Modeling of carbonation in tensile zone of plain concrete beams damaged by cyclic loading**. ELSEVIER Construction and Building Materials 77 (2015) 479–488.

JIANG C.; GU, X.; HUANG, Q.; ZHANG, W. **Carbonation depth predictions in concrete bridges under changing climate conditions and increasing traffic loads**. ELSEVIER Cement and Concrete Composites 93 (2018) 140–154.

KAZMIERCZAK, C. S. **Contribuição para a análise de eficiência de películas aplicadas sobre as estruturas de concreto armado com o objetivo de proteção contra a carbonatação**. 1995. Tese doutorado em Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 168 p.

KELLY, A. L.; REBECCA, A.; ATADERO, M.; HUSSAM, N.; MAHMOUD, A.M. **Life Cycle Cost Analysis of Deteriorated Bridge Expansion Joints**. ASCE American Society of Civil Engineers, 2018.

KUBZOVA, M.; KRIVY V.; KREISLOVA, K. **Influence of microclimate on the sustainability and reliability of weathering steel bridge**. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 143 (2018) 012008

- LEONHARDT, F. **Construções de concreto: princípios básicos da construção de pontes de concreto**. Rio de Janeiro: Interciência, 1979. v. 6.
- LI, G.; YUAN, Y.; LIU, X.; DU, J.; LI, F. **Influences of Environment Climate Conditions on Concrete Carbonation Rate**. Advanced Materials Research Vols 194-196 (2011) pp 904-908 (2011) Trans Tech Publications, Switzerland.
- LIAUW, T. C. **Influence of Seawater on Concrete Buildings**. Build. Sci. Vol. 9, pp. 125-130. Pergamon Press 1974. Printed in Great Britain.
- LIMA, M. G.; MAZER, W.; BRITO, P. C.; MORELLI, F.; LECIONI, J. W. Durabilidade de estruturas de concreto em ambiente marinho – importância dos estudos envolvendo microclima, VII SEMENGO, Rio Grande, RS, 2016.
- MASON, J. **Pontes em concreto armado e protendido: princípios do projeto e cálculo**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1977.
- MEHTA, P. K. e MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, propriedades e materiais**. 2. Ed. São Paulo: Ed. Pini, 2014.
- MITRE, M. P. **Metodologia para inspeção e diagnóstico de pontes e viadutos de concreto**. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2005. 148p.
- MOSER, K., EDVARDBSEN, C. **Engineering Design Methods for Service Life Prediction**. 9th International Conference on Durability of Building Material and Components (DBMC), 17-21 março, Brisbane, 2002 paper 222.
- MOE, M. S. C.; ZHAO J.; CHAN Y. B. **Service Life Prediction of RC Bridge Structures Exposed to Chloride Environments**. Journal of Bridge Engineering, Asce, 2009 164-178.
- MONDORO, A.; FRANGOPOL, DAN M.; LIU, L. **Bridge Adaptation and Management under Climate Change Uncertainties: A Review**. ASCE American Society of Civil Engineers, 2017.
- MOSCOSO, Y. F. M. **Modelos de Degradação para Aplicação em Sistemas de Obras de Arte Especiais – OAEs**. Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2017.
- NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. PINI. São Paulo, 1982.
- NILSSON, L-O. **Interaction between microclimate and concrete-a prerequisite for deterioration**. ELSEVIER Construction and Building Materials, Vol. 10, No. 5, pp. 301-308, 1996.
- O'CONNOR, C. **Pontes: superestruturas**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975. v. 1.
- PARROTT, L. J.; **Damaged caused by carbonation of reinforced concrete**. RILEM, Materials and Structures 23 230–243, 1990.

PAUL, S. C.; PANDA, B; HUANG, Y; GARG, A.; PENG, X. **An empirical model design for evaluation and estimation of carbonation depth in concrete.** ELSEVIER Measurement 124 (2018) 205–2

PFEIL, W. **Pontes: curso básico – projeto, construção e manutenção.** Rio de Janeiro: Campus, 1983a.

\_\_\_\_\_. **Pontes em concreto armado.** 3. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1983b. v. 1.

POÇAS, R. F. G. **Gestão do Ciclo de Vida em Pontes.** Universidade do Minho – Escola de Engenharia. Braga, Portugal, 2009.

POSSAN, E. **Modelagem da carbonatação e previsão de vida útil de estruturas de concreto em ambiente urbano.** 2010. 263 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

RAMAY, G. E.; WRIGHT, R. L. **Results of Bridge Durability/Longevity Survey.** Pract. Period. Struct. Des. Constr., 1997, 2(3): 105-117

REUNION INTERNATIONALE DE LABORATOIRES D’ESSAIS ET MATERIAUX. **CPC-18: Measurement of hardened concrete carbonation depth.** (RILEM Recommendations CPC-18). Materials and Structures, [s.n.]. 1988. p. 453-455.

SAETTA, A., V.; SCHREFLER, B., A.; VITALIANI, R. **V. 2 - D model for carbonation and moisture/heat flow in porous materials.** Elsevier, Cement and Concrete Research. Vol. 25, No. 8, pp. 1703-1712.1995

SANTOS, M. R. P. **Metodologia de previsão da vida útil de materiais, sistemas ou componentes da construção.** Revisão bibliográfica. Universidade do Porto Faculdade de Engenharia FEUP. 2010.

SUDRET, B. **Probabilistic models for the extent of damage in degrading reinforced concrete structures.** Electricite’ de France, R&D Division, Site des Renardie`res, F-77818 Moret-sur-Loing, France Elsevier, 2007.

SILVA, M. R.; PINHEIRO, S. M. M. **Biodeterioração do concreto.** In: ISAIA, G. C. Concreto: Ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. 2 v. p. 857-878.

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

SUN, Z.; ZHANG, Y. **Failure Mechanism of Expansion Joints in a Suspension Bridge.** ASCE American Society of Civil Engineers, 2016.

TUUTTI, K. **Corrosion of steel in concrete.** Stockholm, 1982. 469p. Tese (Doutorado) – Swedish Cement and Concrete Research Institute.

UKRAINCZYK, N.; PECUR, I. B.; BOLF, N. **Evaluating rebar corrosion damage in RC structures exposed to marine environment using neural network.** Civil Engineering and Environmental Systems Vol. 24, No. 1, March 2007, 15–32.

VERLY, R. C. **Avaliação de metodologias de inspeção como instrumento de priorização de intervenções em obras de arte especiais.** Universidade de Brasília, DF, 2015.

VITÓRIO, J. A. P.; BARROS, R. M. M. C. **Análise dos danos estruturais e das condições de estabilidade de 100 pontes rodoviárias no Brasil.** Anais do 6º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia. Moçambique, 2013.

WANG, X.; STEWART, M., G.; NGUYEN, M. **Impact of climate change on corrosion and damage to concrete infrastructure in Australia.** Climatic Change (2012) 110:941–957. Springer Science+Business Media B.V. 2011

WSDOT. Washington State Department of Transportation. **Bridge Design Manual (LFRD)** Washington, 2017

WSDOT. Washington State Department of Transportation. **Washington State Bridge Inspection Manual.** Washington, 2018

YAZIGI, R. **Avaliação de Carbonatação em Viadutos em Concreto Armado.** Tese de mestrado – Instituto tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2008. 185 p.

## 7. APÊNDICE A – FICHAS DE INSPEÇÃO

### Ponte sobre o arroio Barnabé antiga (OAE 01)

Inspeção especial (ano): 2020	OAE Código: 56
Jurisdição (DNIT, Concessão ou outro): DAER	
<b>PARTE I - Síntese do relatório de patologia</b>	
<b>1 - Localização</b>	
Rodovia ou município: Gravataí, RS	Sentido: -
Obra: ARROIO BARNABÉ	Localização (km ou endereço): Km 16,27 ERS 118
<b>2 - Descrição da obra</b>	
Quantidade de vãos: 1	Comprimento total: 28,90 m
Pilares: 2	Vigas: 2
Largura total: 10,50 m	Juntas de dilatação: 2
Tipologia transversal da superestrutura: 2	Tipologia longitudinal da superestrutura: 2
Classe: CAA II - Ambiente urbano	
Observações:	
<b>3 - Ensaios realizados</b>	
Profundidade de carbonatação	
<b>4 - Classificação da OAE</b>	
Estrutural: 4	Funcional: 5
Durabilidade: 2	
<b>5 - Vistoria</b>	
Data da vistoria: 22/07/2020	
Recursos de aproximação empregados:	
<b>6 - Descrição das anomalias</b>	
<b>Superestrutura</b>	
Laje superior: Mancha de umidade fissuras e eflorescências.	
Vigas longarinas: Indícios de exposição ao fogo próximo ao P01.	
Vigas transversinas: Indícios de exposição ao fogo próximo ao P01.	
<b>Mesoestrutura</b>	
Vigas travessas: Sem patologias	
Aparelhos de apoio: Sem patologias	
Pilares: Armadura exposta e disgregações no P01 - direita	
<b>Infraestrutura</b>	
Blocos: Sem patologias	
Fundações: Sem patologias	
<b>Encontro</b>	
Estruturas do encontro: Indícios de exposição ao fogo próximo ao P01.	

<b>Elementos Complementares</b>
Pavimento, sinalização e gabarito: Ausência de sinalização nas barreiras.
Passeios e guarda-corpo: Passeio com largura inadequada conforme ABNT NBR 9050.
Barreiras rígidas/ defensas metálicas: Barreiras com dimensões inadequadas.
Juntas: Juntas cobertas pelo pavimento.
Drenagem: Sem empoçamento na via porém com escoamento de água na estrutura devido a comprimento insuficiente/ drenos quebrados,
<b>Parte II - Síntese do relatório de terapia</b>
<b>1 - Parecer técnico</b>
Obra em aparente regular estado de conservação, devido a presença de fissuras com eflorescências nas lajes e um ponto de armadura exposta no P01. Após a realização de ensaios de carbonatação foi possível constatar que a obra está em estado ruim de conservação uma vez que a carbonatação já encontra-se em profundidades superiores ao cobrimento das armaduras em alguns elementos. Durante os ensaios foi detectada armadura em processo evolutivo de corrosão no pilar P01 Direito.
<b>2 - Resumo da análise estrutural (caso necessário)</b>
<b>3 - Proposição de restauração e/ou reforço</b>
Adição de camada de proteção para diminuir a entrada de CO2 nos elementos já carbonatados. Tratamento das armaduras expostas do P01 direita. Tratamentos das fissuras das lajes. Prolongamento dos drenos. Adição de pingadeira. Limpeza da estrutura. Reconstituição das juntas de dilatação.

## Ponte sobre o arroio Barnabé nova (OAE 02)

Inspeção especial (ano): 2020	OAE Código: 56N
Jurisdição (DNIT, Concessão ou outro): DAER	
<b>PARTE I - Síntese do relatório de patologia</b>	
<b>1 - Localização</b>	
Rodovia ou município: Gravataí, RS	Sentido: -
Obra: ARROIO BARNABÉ	Localização (km ou endereço): Km 16,27 ERS 118
<b>2 - Descrição da obra</b>	
Quantidade de vãos: 1	Comprimento total: 28,90 m
Pilares: 2	Vigas: 2
Largura total: 10,50 m	Juntas de dilatação: 2
Tipologia transversal da superestrutura: 2	Tipologia longitudinal da superestrutura: 2
Classe: CAA II - Ambiente urbano	
Observações:	
<b>3 - Ensaio realizados</b>	
Profundidade de carbonatação	
<b>4 - Classificação da OAE</b>	
Estrutural: 5	Funcional: 5
Durabilidade: 2	
<b>5 - Vistoria</b>	
Data da vistoria: 18/08/2020	
Recursos de aproximação empregados:	
<b>6 - Descrição das anomalias</b>	
<b>Superestrutura</b>	
Laje superior: Sem patologias	
Vigas longarinas: Sem patologias	
Vigas transversinas: Sem patologias	
<b>Mesoestrutura</b>	
Vigas travessas: Sem patologias	
Aparelhos de apoio: Sem patologias	
Pilares: Sem patologias	
<b>Infraestrutura</b>	
Blocos: Sem patologias	
Fundações: Sem patologias	
<b>Encontro</b>	
Estruturas do encontro: Indícios de exposição ao fogo próximo ao P01.	

<b>Elementos Complementares</b>
Pavimento, sinalização e gabarito: Ausência de sinalização nas barreiras.
Passeios e guarda-corpo: Passeio com largura inadequada conforme ABNT NBR 9050.
Barreiras rígidas/ defensas metálicas: Barreiras com dimensões inadequadas.
Juntas: Juntas cobertas pelo pav Juntas cobertas pelo pavimento.
Drenagem: Adequados.
<b>Parte II - Síntese do relatório de terapia</b>
<b>1 - Parecer técnico</b>
Obra em aparente bom estado de conservação, porém após a realização de ensaios de carbonatação foi possível constatar que a obra está em estado ruim de conservação uma vez que a carbonatação já encontra-se em profundidades superiores ao cobrimento das armaduras em alguns elementos. Nos ensaios foi possível observar que as armaduras na laje em balanço esquerda, viga em balanço esquerda e viga sobre o apoio direita já iniciaram o processo de
<b>2 - Resumo da análise estrutural (caso necessário)</b>
<b>3 - Proposição de restauração e/ou reforço</b>
Adição de camada de proteção para diminuir a entrada de CO2 nos elementos já carbonatados. Limpeza da estrutura. Reconstituição das juntas de dilatação.

## Ponte sobre o arroio Sapucaia (OAE 03)

Inspeção especial (ano): 2020	OAE Código: 54
Jurisdição (DNIT, Concessão ou outro): DAER	
<b>PARTE I - Síntese do relatório de patologia</b>	
<b>1 - Localização</b>	
Rodovia ou município: Sapucaia do Sul, RS	Sentido: -
Obra: ARROIO SAPUCAIA	Localização (km ou endereço): km 41,97 ERS 118
<b>2 - Descrição da obra</b>	
Quantidade de vãos: 1	Comprimento total: 35,80 m
Pilares: 2	Vigas: 2
Largura total: 8,20 m	Juntas de dilatação: 2
Tipologia transversal da superestrutura: 2	Tipologia longitudinal da superestrutura: 2
Classe: CAA II - Ambiente urbano	
Observações:	
<b>3 - Ensaio realizados</b>	
Profundidade de carbonatação	
<b>4 - Classificação da OAE</b>	
Estrutural: 4	Funcional: 5
Durabilidade: 2	
<b>5 - Vistoria</b>	
Data da vistoria: 18/08/2020	
Recursos de aproximação empregados:	
<b>6 - Descrição das anomalias</b>	
<b>Superestrutura</b>	
Laje superior:	Fissuras, Eflorescências, biodeterioração, manchas de umidade e Armaduras expostas.
Vigas longarinas:	Sem patologias
Vigas transversinas:	Sem patologias
<b>Mesoestrutura</b>	
Vigas travessas:	Sem patologias
Aparelhos de apoio:	Sem patologias
Pilares:	Sem patologias
<b>Infraestrutura</b>	
Blocos:	Sem patologias
Fundações:	Sem patologias
<b>Encontro</b>	
Estruturas do encontro: Sem patologias	

<b>Elementos Complementares</b>
Pavimento, sinalização e gabarito: Ausência de sinalização nas barreiras.
Passeios e guarda-corpo: Passeio com largura inadequada conforme ABNT NBR 9050.
Barreiras rígidas/ defensas metálicas: Barreiras com dimensões inadequadas.
Juntas: Juntas cobertas pelo pavimento.
Drenagem: Sem empoçamento na via porém com escoamento de água na estrutura devido a comprimento insuficiente/ drenos quebrados,
<b>Parte II - Síntese do relatório de terapia</b>
<b>1 - Parecer técnico</b>
Obra em aparente regular estado de conservação, devido a armadura exposta e corroída na laje. Após a realização de ensaios de carbonatação foi possível constatar que a obra está em estado ruim de conservação uma vez que a carbonatação já encontra-se em profundidades superiores ao cobrimento das armaduras em alguns elementos. Durante os ensaios foi detectada armadura em processo evolutivo de corrosão no lado externo da viga direita no balanço.
<b>2 - Resumo da análise estrutural (caso necessário)</b>
<b>3 - Proposição de restauração e/ou reforço</b>
Adição de camada de proteção para diminuir a entrada de CO <sub>2</sub> nos elementos já carbonatados. Tratamentos das fissuras e armaduras expostas das lajes Prolongamento dos drenos. Adição de pingadeira. Limpeza da estrutura. Reconstituição das juntas de dilatação.

## Ponte sobre a várzea dos Ferreiros (OAE 04)

Inspeção especial (ano): 2020	OAE Código: 602
Jurisdição (DNIT, Concessão ou outro): DAER	
<b>PARTE I - Síntese do relatório de patologia</b>	
<b>1 - Localização</b>	
Rodovia ou município: Gravataí, RS	Sentido: -
Obra: VÁRZEA DOS FERREIROS	Localização (km ou endereço): Km 2,16 ERS 030
<b>2 - Descrição da obra</b>	
Quantidade de vãos: 1	Comprimento total: 27,30 m
Pilares: 2	Vigas: 2
Largura total: 10,10 m	Juntas de dilatação: 2
Tipologia transversal da superestrutura: 2	Tipologia longitudinal da superestrutura: 2
Classe: CAA II - Ambiente urbano	
Observações:	
<b>3 - Ensaios realizados</b>	
Profundidade de carbonatação	
<b>4 - Classificação da OAE</b>	
Estrutural: 3	Funcional: 5
Durabilidade: 2	
<b>5 - Vistoria</b>	
Data da vistoria: 18/08/2020	
Recursos de aproximação empregados:	
<b>6 - Descrição das anomalias</b>	
<b>Superestrutura</b>	
Laje superior: Mancha de umidade, fissuras, eflorescências e armaduras expostas	
Vigas longarinas: Armadura exposta	
Vigas transversinas: Sem patologias	
<b>Mesoestrutura</b>	
Vigas travessas: Sem patologias	
Aparelhos de apoio: Sem patologias	
Pilares: Armadura exposta	
<b>Infraestrutura</b>	
Blocos: Desgaste superficial do concreto por abrasão	
Fundações: Sem patologias	
<b>Encontro</b>	
Estruturas do encontro: Sem patologias	

<b>Elementos Complementares</b>
Pavimento, sinalização e gabarito: Ausência de sinalização nas barreiras.
Passeios e guarda-corpo: Passeio com largura inadequada conforme ABNT NBR 9050.
Barreiras rígidas/ defensas metálicas: Barreiras com dimensões inadequadas.
Juntas: Juntas cobertas pelo pavimento.
Drenagem: Sem empoçamento na via porém com escoamento de água na estrutura devido a comprimento insuficiente/ drenos quebrados,
<b>Parte II - Síntese do relatório de terapia</b>
<b>1 - Parecer técnico</b>
Obra em estado ruim de conservação, foram detectadas armadura expostas nas lajes, vigas e pilares. Após a realização de ensaios de carbonatação foi possível constatar que a carbonatação já encontra-se em profundidades superiores ao cobrimento das armaduras em alguns elementos. Durante o ensaio foi detectada armadura em processo evolutivo de corrosão na face interna da viga a direita sobre o apoio.
<b>2 - Resumo da análise estrutural (caso necessário)</b>
<b>3 - Proposição de restauração e/ou reforço</b>
Adição de camada de proteção para diminuir a entrada de CO <sub>2</sub> nos elementos já carbonatados. Tratamento das armaduras expostas. Tratamentos das fissuras das lajes. Prolongamento dos drenos. Adição de pingadeira. Limpeza da estrutura. Reconstituição das juntas de dilatação.

## Ponte sobre o Arroio Pinheiral (OAE 05)

Inspeção especial (ano): 2020	OAE Código: 1100
Jurisdição (DNIT, Concessão ou outro): DAER	
<b>PARTE I - Síntese do relatório de patologia</b>	
<b>1 - Localização</b>	
Rodovia ou município: Passo do Sobrado, RS	Sentido: -
Obra: ARROIO PINHEIRAL	Localização (km ou endereço): Km 20,22 ERS 405
<b>2 - Descrição da obra</b>	
Quantidade de vãos: 1	Comprimento total: 31,30 m
Pilares: 2	Vigas: 2
Largura total: 11,40 m	Juntas de dilatação: 2
Tipologia transversal da superestrutura: 2	Tipologia longitudinal da superestrutura: 2
Classe: CAA I - Ambiente rural	
Observações:	
<b>3 - Ensaio realizados</b>	
Profundidade de carbonatação	
<b>4 - Classificação da OAE</b>	
Estrutural: 4	Funcional: 5
Durabilidade: 2	
<b>5 - Vistoria</b>	
Data da vistoria: 25/08/2020	
Recursos de aproximação empregados:	
<b>6 - Descrição das anomalias</b>	
<b>Superestrutura</b>	
Laje superior: Mancha de umidade fissuras e eflorescências.	
Vigas longarinas: Armadura exposta	
Vigas transversinas: Sem patologias	
<b>Mesoestrutura</b>	
Vigas travessas: Sem patologias	
Aparelhos de apoio: Sem patologias	
Pilares: Sem patologias	
<b>Infraestrutura</b>	
Blocos: Sem patologias	
Fundações: Sem patologias	
<b>Encontro</b>	
Estruturas do encontro: Sem patologias	

<b>Elementos Complementares</b>
Pavimento, sinalização e gabarito: Ausência de sinalização nas barreiras.
Passeios e guarda-corpo: Passeio com largura inadequada conforme ABNT NBR 9050.
Barreiras rígidas/ defensas metálicas: Barreiras com dimensões inadequadas.
Juntas: Juntas cobertas pelo pavimento.
Drenagem: Sem empoçamento na via porém com escoamento de água na estrutura devido a comprimento insuficiente/ drenos quebrados,
<b>Parte II - Síntese do relatório de terapia</b>
<b>1 - Parecer técnico</b>
Obra em aparente regular estado de conservação, devido a presença de armaduras expostas nas vigas e fissuras com eflorescências nas lajes. Após a realização de ensaios de carbonatação foi possível constatar que a obra está em estado ruim de conservação uma vez que a carbonatação já encontra-se em profundidades superiores ao cobrimento das armaduras em alguns elementos.
<b>2 - Resumo da análise estrutural ( caso necessário)</b>
<b>3 - Proposição de restauração e/ou reforço</b>
Adição de camada de proteção para diminuir a entrada de CO2 nos elementos já carbonatados. Tratamentos das fissuras das lajes Prolongamento dos drenos. Limpeza da estrutura. Reconstituição das juntas de dilatação.

## Ponte sobre o arroio Passo do Sobrado (OAE 06)

Inspeção especial (ano): 2020	OAE Código: 1099
Jurisdição (DNIT, Concessão ou outro): DAER	
<b>PARTE I - Síntese do relatório de patologia</b>	
<b>1 - Localização</b>	
Rodovia ou município: Passo do Sobrado, RS	Sentido: -
Obra: ARROIO PASSO DO SOBRA	Localização (km ou endereço): Km 11,58 ERS 405
<b>2 - Descrição da obra</b>	
Quantidade de vãos: 1	Comprimento total: 31,40 m
Pilares: 2	Vigas: 2
Largura total: 11,40 m	Juntas de dilatação: 2
Tipologia transversal da superestrutura: 2	Tipologia longitudinal da superestrutura: 2
Classe: CAA I - Ambiente rural	
Observações:	
<b>3 - Ensaio realizados</b>	
Profundidade de carbonatação	
<b>4 - Classificação da OAE</b>	
Estrutural: 4	Funcional: 5
Durabilidade: 2	
<b>5 - Vistoria</b>	
Data da vistoria: 25/08/2020	
Recursos de aproximação empregados:	
<b>6 - Descrição das anomalias</b>	
<b>Superestrutura</b>	
Laje superior: Fissura com eflorescência	
Vigas longarinas: Sem patologias	
Vigas transversinas: Armadura exposta	
<b>Mesoestrutura</b>	
Vigas travessas: Sem patologias	
Aparelhos de apoio: Sem patologias	
Pilares: Sem patologias	
<b>Infraestrutura</b>	
Blocos: Sem patologias	
Fundações: Sem patologias	
<b>Encontro</b>	
Estruturas do encontro: Sem patologias	

<b>Elementos Complementares</b>
Pavimento, sinalização e gabarito: Ausência de sinalização nas barreiras.
Passeios e guarda-corpo: Passeio com largura inadequada conforme ABNT NBR 9050.
Barreiras rígidas/ defensas metálicas: Barreiras com dimensões inadequadas.
Juntas: Juntas cobertas pelo pavimento.
Drenagem: Sem empoçamento na via porém com escoamento de água na estrutura devido a comprimento insuficiente/ drenos quebrados,
<b>Parte II - Síntese do relatório de terapia</b>
<b>1 - Parecer técnico</b>
Obra em aparente regular estado de conservação, devido a presença de fissuras com eflorescências nas lajes e um ponto de armadura exposta na transversina de entrada. Após a realização de ensaios de carbonatação foi possível constatar que a obra está em estado ruim de conservação uma vez que a carbonatação já encontra-se em profundidades superiores ao cobrimento das armaduras em alguns elementos.
<b>2 - Resumo da análise estrutural (caso necessário)</b>
<b>3 - Proposição de restauração e/ou reforço</b>
Adição de camada de proteção para diminuir a entrada de CO <sub>2</sub> nos elementos já carbonatados. Limpeza da estrutura. Reconstituição das juntas de dilatação.

## Ponte sobre o arroio Passo das Carretas (OAE 07)

Inspeção especial (ano): 2020	OAE Código: 1096
Jurisdição (DNIT, Concessão ou outro): DAER	
<b>PARTE I - Síntese do relatório de patologia</b>	
<b>1 - Localização</b>	
Rodovia ou município: General Câmara, RS	Sentido: -
Obra: ARROIO PASSO DAS CAR	Localização (km ou endereço): Km 23,68 ERS 244
<b>2 - Descrição da obra</b>	
Quantidade de vãos: 1	Comprimento total: 35,50 m
Pilares: 2	Vigas: 2
Largura total: 11,40 m	Juntas de dilatação: 2
Tipologia transversal da superestrutura: 2	Tipologia longitudinal da superestrutura: 2
Classe: CAA I - Ambiente rural	
Observações:	
<b>3 - Ensaio realizados</b>	
Profundidade de carbonatação	
<b>4 - Classificação da OAE</b>	
Estrutural: 4	Funcional: 5
Durabilidade: 2	
<b>5 - Vistoria</b>	
Data da vistoria: 26/08/2020	
Recursos de aproximação empregados:	
<b>6 - Descrição das anomalias</b>	
<b>Superestrutura</b>	
Laje superior: Fissura com eflorescência	
Vigas longarinas: Sem patologias	
Vigas transversinas: Sem patologias	
<b>Mesoestrutura</b>	
Vigas travessas: Sem patologias	
Aparelhos de apoio: Sem patologias	
Pilares: Sem patologias	
<b>Infraestrutura</b>	
Blocos: Sem patologias	
Fundações: Sem patologias	
<b>Encontro</b>	
Estruturas do encontro: Sem patologias	

<b>Elementos Complementares</b>
Pavimento, sinalização e gabarito: Ausência de sinalização nas barreiras.
Passeios e guarda-corpo: Passeio com largura inadequada conforme ABNT NBR 9050.
Barreiras rígidas/ defensas metálicas: Barreiras com dimensões inadequadas.
Juntas: Juntas cobertas pelo pavimento.
Drenagem: Sem empoçamento na via porém com escoamento de água na estrutura devido a comprimento insuficiente/ drenos quebrados,
<b>Parte II - Síntese do relatório de terapia</b>
<b>1 - Parecer técnico</b>
Obra em aparente bom estado de conservação, porém após a realização de ensaios de carbonatação foi possível constatar que a obra está em estado ruim de conservação uma vez que a carbonatação já encontra-se em profundidades superiores ao cobrimento das armaduras em alguns elementos. Durante o ensaio foi detectada armadura em processo evolutivo de corrosão em ambas as vigas.
<b>2 - Resumo da análise estrutural (caso necessário)</b>
<b>3 - Proposição de restauração e/ou reforço</b>
Adição de camada de proteção para diminuir a entrada de CO <sub>2</sub> nos elementos já carbonatados. Prolongamento dos drenos. Limpeza da estrutura. Reconstituição das juntas de dilatação.

## Ponte sobre o Arroio Zeca (OAE 08)

Inspeção especial (ano): 2020	OAE Código: 364
Jurisdição (DNIT, Concessão ou outro): DAER	
<b>PARTE I - Síntese do relatório de patologia</b>	
<b>1 - Localização</b>	
Rodovia ou município: Santa Cruz do Sul, RS	Sentido: -
Obra: ARROIO ZECA	Localização (km ou endereço): Km 10,83 ERS 409
<b>2 - Descrição da obra</b>	
Quantidade de vãos: 1	Comprimento total: 25,20 m
Pilares: 2	Vigas: 2
Largura total: 10,65 m	Juntas de dilatação: 2
Tipologia transversal da superestrutura: 2	Tipologia longitudinal da superestrutura: 2
Classe: CAA I - Ambiente rural	
Observações:	
<b>3 - Ensaios realizados</b>	
Profundidade de carbonatação	
<b>4 - Classificação da OAE</b>	
Estrutural: 4	Funcional: 5
Durabilidade: 2	
<b>5 - Vistoria</b>	
Data da vistoria: 22/07/2020	
Recursos de aproximação empregados:	
<b>6 - Descrição das anomalias</b>	
<b>Superestrutura</b>	
Laje superior: Mancha de umidade.	
Vigas longarinas: Sem patologias	
Vigas transversinas: Armadura exposta e segregação.	
<b>Mesoestrutura</b>	
Vigas travessas: Sem patologias	
Aparelhos de apoio: Sem patologias	
Pilares: Sem patologias	
<b>Infraestrutura</b>	
Blocos: Sem patologias	
Fundações: Sem patologias	
<b>Encontro</b>	
Estruturas do encontro: Sem patologias	

<b>Elementos Complementares</b>
Pavimento, sinalização e gabarito: Ausência de sinalização nas barreiras.
Passeios e guarda-corpo: Passeio com largura inadequada conforme ABNT NBR 9050.
Barreiras rígidas/ defensas metálicas: Barreiras com dimensões inadequadas.
Juntas: Juntas cobertas pelo pavimento.
Drenagem: Sem empoçamento na via porém com escoamento de água na estrutura devido a comprimento insuficiente/ drenos quebrados,
<b>Parte II - Síntese do relatório de terapia</b>
<b>1 - Parecer técnico</b>
Obra em aparente regular de conservação, devido a armadura exposta na transversina de entrada. Após a realização de ensaios de carbonatação foi possível constatar que a obra está em estado ruim de conservação uma vez que a carbonatação já encontra-se em profundidades superiores ao cobrimento das armaduras em alguns elementos. Durante os ensaios foi detectada armadura em processo evolutivo de corrosão no pilar P01 Esquerdo e viga esquerda balanço lado interno.
<b>2 - Resumo da análise estrutural (caso necessário)</b>
<b>3 - Proposição de restauração e/ou reforço</b>
Adição de camada de proteção para diminuir a entrada de CO <sub>2</sub> nos elementos já carbonatados. Prolongamento dos drenos. Limpeza da estrutura. Reconstituição das juntas de dilatação.

## Ponte sobre o Arroio Quebrado (OAE 09)

Inspeção especial (ano): 2020	OAE Código: 363
Jurisdição (DNIT, Concessão ou outro): DAER	
<b>PARTE I - Síntese do relatório de patologia</b>	
<b>1 - Localização</b>	
Rodovia ou município: Santa Cruz do Sul, RS	Sentido: -
Obra: ARROIO QUEBRADO	Localização (km ou endereço): Km 10,53 ERS409
<b>2 - Descrição da obra</b>	
Quantidade de vãos: 1	Comprimento total: 25,95 m
Pilares: 2	Vigas: 2
Largura total: 10,60 m	Juntas de dilatação: 2
Tipologia transversal da superestrutura: 2	Tipologia longitudinal da superestrutura: 2
Classe: CAA I - Ambiente rural	
Observações:	
<b>3 - Ensaio realizados</b>	
Profundidade de carbonatação	
<b>4 - Classificação da OAE</b>	
Estrutural: 3	Funcional: 5
Durabilidade: 2	
<b>5 - Vistoria</b>	
Data da vistoria: 27/08/2020	
Recursos de aproximação empregados:	
<b>6 - Descrição das anomalias</b>	
<b>Superestrutura</b>	
Laje superior: Mancha de umidade	
Vigas longarinas: Mancha de umidade	
Vigas transversinas: Mancha de umidade	
<b>Mesoestrutura</b>	
Vigas travessas: Sem patologias	
Aparelhos de apoio: Sem patologias	
Pilares: Armadura exposta e disgregações	
<b>Infraestrutura</b>	
Blocos: Sem patologias	
Fundações: Sem patologias	
<b>Encontro</b>	
Estruturas do encontro: Sem patologias	

## Ponte sobre o Arroio Sabiá (OAE 10)

<b>Elementos Complementares</b>
Pavimento, sinalização e gabarito: Ausência de sinalização nas barreiras.
Passeios e guarda-corpo: Passeio com largura inadequada conforme ABNT NBR 9050.
Barreiras rígidas/ defensas metálicas: Barreiras com dimensões inadequadas.
Juntas: Juntas cobertas pelo pavimento.
Drenagem: Sem empoçamento na via porém com escoamento de água na estrutura devido a comprimento insuficiente/ drenos quebrados,
<b>Parte II - Síntese do relatório de terapia</b>
<b>1 - Parecer técnico</b>
Obra em estado ruim de conservação, foram detectadas armadura expostas nos pilares. Após a realização de ensaios de carbonatação foi possível constatar que a carbonatação já encontra-se em profundidades superiores ao cobrimento das armaduras em alguns elementos. Durante o ensaio foi detectada armadura em processo evolutivo de corrosão no pilar P01.
<b>2 - Resumo da análise estrutural (caso necessário)</b>
<b>3 - Proposição de restauração e/ou reforço</b>
Adição de camada de proteção para diminuir a entrada de CO <sub>2</sub> nos elementos já carbonatados. Tratamento das armaduras expostas. Prolongamento dos drenos. Limpeza da estrutura. Reconstituição das juntas de dilatação.

Inspeção especial (ano): 2020	OAE Código: 197
Jurisdição (DNIT, Concessão ou outro): DAER	
<b>PARTE I - Síntese do relatório de patologia</b>	
<b>1 - Localização</b>	
Rodovia ou município: Santa Cruz do Sul, RS	Sentido: -
Obra: ARROIO SABIÁ	Localização (km ou endereço): Km 9,74 ERS409
<b>2 - Descrição da obra</b>	
Quantidade de vãos: 1	Comprimento total: 25,10 m
Pilares: 2	Vigas: 2
Largura total: 10,60 m	Juntas de dilatação: 2
Tipologia transversal da superestrutura: 2	Tipologia longitudinal da superestrutura: 2
Classe: CAA I - Ambiente rural	
Observações:	
<b>3 - Ensaios realizados</b>	
Profundidade de carbonatação	
<b>4 - Classificação da OAE</b>	
Estrutural: 3	Funcional: 5
Durabilidade: 2	
<b>5 - Vistoria</b>	
Data da vistoria: 27/08/2020	
Recursos de aproximação empregados:	
<b>6 - Descrição das anomalias</b>	
<b>Superestrutura</b>	
Laje superior: Mancha de umidade	
Vigas longarinas: Armadura exposta e disgregações	
Vigas transversinas: Mancha de umidade	
<b>Mesoestrutura</b>	
Vigas travessas: Armadura exposta e disgregações	
Aparelhos de apoio: Sem patologias	
Pilares: Armadura exposta e disgregações	
<b>Infraestrutura</b>	
Blocos: Sem patologias	
Fundações: Sem patologias	
<b>Encontro</b>	
Estruturas do encontro: Sem patologias	

<b>Elementos Complementares</b>
Pavimento, sinalização e gabarito: Ausência de sinalização nas barreiras.
Passeios e guarda-corpo: Passeio com largura inadequada conforme ABNT NBR 9050.
Barreiras rígidas/ defensas metálicas: Barreiras com dimensões inadequadas.
Juntas: Juntas cobertas pelo pavimento.
Drenagem: Sem empoçamento na via porém com escoamento de água na estrutura devido a comprimento insuficiente/ drenos quebrados,
<b>Parte II - Síntese do relatório de terapia</b>
<b>1 - Parecer técnico</b>
Obra em estado ruim de conservação, foram detectadas armadura expostas nas lajes, vigas e travessas. Após a realização de ensaios de carbonatação foi possível constatar que a carbonatação já encontra-se em profundidades superiores ao cobrimento das armaduras em alguns elementos. Durante o ensaio foi detectada armadura em processo evolutivo de corrosão na face interna da viga a direita no balanço.
<b>2 - Resumo da análise estrutural ( caso necessário)</b>
<b>3 - Proposição de restauração e/ou reforço</b>
Adição de camada de proteção para diminuir a entrada de CO <sub>2</sub> nos elementos já carbonatados. Tratamento das armaduras expostas. Prolongamento dos drenos. Limpeza da estrutura. Reconstituição das juntas de dilatação.

## 8. APÊNDICE B – DADOS PLANILHADOS

PONTC	Número campo	Obra	temp.	UR	CO2	COBRIM	CARB.	RESTANT	Obs	Parou et	Element	Idade aproximad	CAA	Esq/dir	Comp/tr	Interno/Ext
L-1	8	1	31,00	32,00	599,00	2,50 cm	2,50 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra	Laje	45	2	Esquerda	-	-
L-4	11	1	28,20	35,20	522,00	3,00 cm	3,00 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra	Laje	45	2	Direita	-	-
P-1	2	1	24,60	50,60	507,00	1,50 cm	0,50 cm	1,00 cm	Topo rosa	Barra	Pilar	45	2	Esquerda	-	-
P-2	6	1	24,90	49,50	582,00	2,50 cm	2,50 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra	Pilar	45	2	Direita	-	-
V-1	7	1	31,00	32,00	599,00	3,00 cm	3,00 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra	Viga	45	2	Esquerda	Tracionado	Externo
V-2	9	1	27,00	38,00	624,00	3,00 cm	3,00 cm	0,00 cm	Topo bicolor	Barra	Viga	45	2	Esquerda	Tracionado	Interno
V-3	10	1	27,00	39,00	584,00	3,00 cm	3,00 cm	0,00 cm	Topo bicolor	Barra	Viga	45	2	Direita	Tracionado	Interno
V-4	12	1	28,50	24,00	546,00	1,50 cm	1,50 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Agregado	Viga	45	2	Direita	Tracionado	Externo
V-5	1	1	24,60	51,10	589,00	3,00 cm	3,00 cm	0,00 cm	Topo bicolor	Barra	Viga	45	2	Esquerda	Comprimito	Externo
V-6	3	1	24,80	50,00	525,00	3,00 cm	1,00 cm	2,00 cm	Topo rosa	Barra	Viga	45	2	Esquerda	Comprimito	Interno
V-7	4	1	24,60	49,20	519,00	2,00 cm	0,50 cm	2,00 cm	Topo rosa	Agregado	Viga	45	2	Direita	Comprimito	Interno
V-8	5	1	24,90	49,50	582,00	2,00 cm	2,00 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Agregado	Viga	45	2	Direita	Comprimito	Externo
L-1	10	2	19,60	69,30	532,00	2,30 cm	1,30 cm	1,00 cm	Topo rosa	Barra corroida	Laje	9	2	Esquerda	-	-
P-1	1	2	19,60	69,30	532,00	3,20 cm	2,50 cm	0,70 cm	Topo rosa	Barra	Pilar	9	2	Esquerda	-	-
P-2	5	2	19,50	69,40	500,00	4,20 cm	3,20 cm	1,00 cm	Topo rosa	Barra	Pilar	9	2	Direita	-	-
V-1	9	2	19,60	69,30	532,00	1,60 cm	1,60 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra corroida	Viga	9	2	Esquerda	Tracionado	Externo
V-2	8	2	19,20	71,90	573,00	3,20 cm	2,70 cm	0,50 cm	Topo rosa	Barra	Viga	9	2	Esquerda	Tracionado	Interno
V-3	7	2	19,20	71,90	573,00	2,90 cm	1,60 cm	1,30 cm	Topo rosa	Barra	Viga	9	2	Direita	Tracionado	Interno
V-4	11	2	19,50	69,40	500,00	1,40 cm	1,40 cm	0,00 cm	Topo rosa	Barra	Viga	9	2	Direita	Tracionado	Externo
V-5	2	2	19,60	69,30	532,00	2,00 cm	2,00 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra	Viga	9	2	Esquerda	Comprimito	Externo
V-6	3	2	19,60	69,30	532,00	3,20 cm	1,60 cm	1,60 cm	Topo rosa	Barra	Viga	9	2	Esquerda	Comprimito	Interno
V-7	4	2	19,20	70,00	522,00	2,40 cm	2,50 cm	0,70 cm	Topo rosa	Barra	Viga	9	2	Direita	Comprimito	Interno
V-8	6	2	19,50	69,40	500,00	2,40 cm	2,00 cm	0,40 cm	Topo rosa	Barra	Viga	9	2	Direita	Comprimito	Externo
L-1	12	3	22,10	65,60	501,00	3,00 cm	3,00 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra	Laje	45	2	Esquerda	-	-
L-4	10	3	22,70	66,20	504,00	2,60 cm	2,60 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra	Laje	45	2	Direita	-	-
P-1	4	3	23,20	63,60	517,00	4,00 cm	0,20 cm	3,80 cm	Topo rosa	Barra	Pilar	45	2	Esquerda	-	-
P-2	1	3	24,00	59,70	562,00	3,00 cm	2,90 cm	0,10 cm	Topo bicolor	Barra	Pilar	45	2	Direita	-	-
V-1	11	3	22,10	65,60	501,00	3,50 cm	3,00 cm	0,50 cm	Topo bicolor	Barra	Viga	45	2	Esquerda	Tracionado	Externo
V-2	7	3	22,00	66,90	611,00	3,00 cm	2,70 cm	0,30 cm	Topo bicolor	Barra	Viga	45	2	Esquerda	Tracionado	Interno
V-3	8	3	21,80	67,30	570,00	3,20 cm	3,00 cm	0,20 cm	Topo bicolor	Barra	Viga	45	2	Direita	Tracionado	Interno
V-4	9	3	22,70	66,20	504,00	2,00 cm	2,00 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra corroida	Viga	45	2	Direita	Tracionado	Externo
V-5	6	3	23,20	63,60	517,00	2,30 cm	2,30 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra	Viga	45	2	Esquerda	Comprimito	Externo
V-6	5	3	23,20	63,60	517,00	3,20 cm	3,10 cm	0,10 cm	Topo bicolor	Barra	Viga	45	2	Esquerda	Comprimito	Interno
V-7	3	3	24,00	59,70	562,00	3,40 cm	3,40 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra	Viga	45	2	Direita	Comprimito	Interno
V-8	2	3	24,00	59,70	562,00	2,30 cm	2,30 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra	Viga	45	2	Direita	Comprimito	Externo
L-4	7	4	10,40	58,00	493,00	2,10 cm	0,80 cm	1,30 cm	Topo rosa	Barra	Laje	40	2	Direita	-	-
P-1	2	4	10,00	58,40	483,00	0,80 cm	0,80 cm	0,00 cm	Topo bicolor	Barra	Pilar	40	2	Esquerda	-	-
P-2	1	4	10,30	56,60	470,00	2,00 cm	0,30 cm	1,70 cm	Topo rosa	Barra	Pilar	40	2	Direita	-	-
V-1	11	4	10,10	58,50	582,00	3,50 cm	0,70 cm	2,80 cm	Topo rosa	Barra	Viga	40	2	Esquerda	Tracionado	Externo
V-2	8	4	10,50	56,50	559,00	4,30 cm	2,00 cm	2,30 cm	Topo rosa	Barra	Viga	40	2	Esquerda	Tracionado	Interno
V-3	3	4	10,10	58,20	498,00	4,80 cm	0,30 cm	4,50 cm	Topo rosa	Barra	Viga	40	2	Direita	Tracionado	Interno
V-4	6	4	10,40	58,00	493,00	2,60 cm	0,10 cm	2,50 cm	Topo rosa	Barra	Viga	40	2	Direita	Tracionado	Externo
V-5	10	4	10,10	58,50	582,00	3,00 cm	0,20 cm	2,80 cm	Topo rosa	Barra	Viga	40	2	Esquerda	Comprimito	Externo
V-6	9	4	10,50	56,50	559,00	2,70 cm	1,40 cm	1,30 cm	Topo rosa	Barra	Viga	40	2	Esquerda	Comprimito	Interno
V-7	4	4	10,10	58,50	582,00	1,40 cm	1,40 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra corroida	Viga	40	2	Direita	Comprimito	Interno
V-8	5	4	10,40	58,00	493,00	2,50 cm	0,30 cm	2,20 cm	Topo rosa	Barra	Viga	40	2	Direita	Comprimito	Externo

PONTC	Numero campo	Obra	temp.	UR	CO2	COBRIM	CARB.	RESTAN	Obs	Parou et	Element	Idade aproxim	CAA	Esq/dir	Comp/tr	Interno/Ext
L-1	12	5	21,20	53,30	540,00	2,00 cm	0,10 cm	1,90 cm	Topo rosa	Barra	Laje	25	1	Esquerda	-	-
L-4	10	5	23,80	46,90	593,00	2,50 cm	0,50 cm	2,00 cm	Topo rosa	Barra	Laje	25	1	Direita	-	-
P-1	4	5	21,50	52,60	513,00	2,60 cm	2,50 cm	0,10 cm	Topo bicolor	Barra	Pilar	25	1	Esquerda	-	-
P-2	1	5	23,70	46,10	495,00	1,50 cm	1,50 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra	Pilar	25	1	Direita	-	-
V-1	11	5	21,20	53,30	540,00	2,80 cm	2,80 cm	0,00 cm	Topo bicolor	Barra	Viga	25	1	Esquerda	Tracionado	Externo
V-2	8	5	22,00	53,30	580,00	2,50 cm	2,40 cm	0,10 cm	Topo rosa	Barra	Viga	25	1	Esquerda	Tracionado	Interno
V-3	7	5	22,40	51,80	562,00	2,70 cm	2,50 cm	0,20 cm	Topo rosa	Barra	Viga	25	1	Direita	Tracionado	Interno
V-4	9	5	23,80	46,90	593,00	2,70 cm	2,70 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra	Viga	25	1	Direita	Tracionado	Externo
V-5	5	5	21,50	52,60	513,00	2,10 cm	2,00 cm	0,10 cm	Topo bicolor	Barra	Viga	25	1	Esquerda	Comprimito	Externo
V-6	6	5	21,50	52,60	513,00	2,30 cm	2,30 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra	Viga	25	1	Esquerda	Comprimito	Interno
V-7	3	5	23,70	46,10	495,00	3,20 cm	3,10 cm	0,10 cm	Topo rosa	Barra	Viga	25	1	Direita	Comprimito	Interno
V-8	2	5	23,70	46,10	495,00	2,70 cm	2,70 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra	Viga	25	1	Direita	Comprimito	Externo
L-1	10	6	25,70	43,80	524,00	3,00 cm	1,00 cm	2,00 cm	Topo rosa	Barra	Laje	25	1	Esquerda	-	-
L-4	12	6	26,70	40,10	482,00	1,20 cm	0,20 cm	1,00 cm	Topo rosa	Barra	Laje	25	1	Direita	-	-
P-1	1	6	25,80	43,50	630,00	3,00 cm	2,50 cm	0,50 cm	Topo rosa	Barra	Pilar	25	1	Esquerda	-	-
P-2	4	6	24,80	47,90	575,00	2,50 cm	1,20 cm	1,30 cm	Topo rosa	Barra	Pilar	25	1	Direita	-	-
V-1	9	6	25,70	43,80	524,00	2,00 cm	2,00 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra	Viga	25	1	Esquerda	Tracionado	Externo
V-2	7	6	24,80	46,60	538,00	2,50 cm	2,40 cm	0,10 cm	Topo rosa	Barra	Viga	25	1	Esquerda	Tracionado	Interno
V-3	8	6	24,80	47,90	575,00	3,00 cm	2,30 cm	0,70 cm	Topo bicolor	Barra	Viga	25	1	Direita	Tracionado	Interno
V-4	11	6	26,70	40,10	482,00	2,00 cm	2,00 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra	Viga	25	1	Direita	Tracionado	Externo
V-5	2	6	25,70	43,80	524,00	2,50 cm	2,40 cm	0,10 cm	Topo Carb.	Barra	Viga	25	1	Esquerda	Comprimito	Externo
V-6	3	6	24,80	46,60	538,00	3,00 cm	2,00 cm	1,00 cm	Topo rosa	Barra	Viga	25	1	Esquerda	Comprimito	Interno
V-7	6	6	24,80	47,90	575,00	2,50 cm	2,40 cm	0,10 cm	Topo rosa	Barra	Viga	25	1	Direita	Comprimito	Interno
V-8	5	6	26,60	41,00	483,00	2,80 cm	2,00 cm	0,80 cm	Topo rosa	Barra	Viga	25	1	Direita	Comprimito	Externo
L-1	10	7	23,30	50,40	486,00	2,40 cm	1,60 cm	0,80 cm	Topo rosa	Barra	Laje	25	1	Esquerda	-	-
L-4	12	7	23,70	49,90	491,00	3,30 cm	1,80 cm	1,50 cm	Topo rosa	Barra	Laje	25	1	Direita	-	-
P-1	1	7	22,50	53,40	485,00	3,00 cm	2,90 cm	0,10 cm	Topo bicolor	Barra	Pilar	25	1	Esquerda	-	-
P-2	4	7	23,60	52,40	510,00	2,50 cm	2,50 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra	Pilar	25	1	Direita	-	-
V-1	9	7	23,30	50,40	486,00	2,00 cm	2,00 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra	Viga	25	1	Esquerda	Tracionado	Externo
V-2	7	7	22,80	53,90	574,00	2,00 cm	2,00 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra	Viga	25	1	Esquerda	Tracionado	Interno
V-3	8	7	22,10	58,20	553,00	3,20 cm	3,20 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra	Viga	25	1	Direita	Tracionado	Interno
V-4	11	7	23,70	49,90	491,00	2,50 cm	2,50 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra	Viga	25	1	Direita	Tracionado	Externo
V-5	2	7	22,50	53,40	485,00	2,00 cm	2,00 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra	Viga	25	1	Esquerda	Comprimito	Externo
V-6	3	7	22,80	53,90	574,00	2,20 cm	1,30 cm	0,90 cm	Topo rosa	Barra	Viga	25	1	Esquerda	Comprimito	Interno
V-7	6	7	22,10	58,20	553,00	2,70 cm	2,00 cm	0,70 cm	Topo bicolor	Barra	Viga	25	1	Esquerda	Comprimito	Interno
V-8	5	7	23,60	52,40	510,00	2,80 cm	2,30 cm	0,50 cm	Topo bicolor	Barra	Viga	25	1	Direita	Comprimito	Externo
L-1	10	8	24,50	51,00	587,00	3,20 cm	1,50 cm	1,70 cm	Topo rosa	Barra	Laje	36	1	Esquerda	-	-
P-1	1	8	24,40	51,70	537,00	1,70 cm	1,70 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra	Pilar	36	1	Esquerda	-	-
P-2	4	8	29,20	37,70	498,00	2,30 cm	2,30 cm	0,00 cm	Topo bicolor	Barra	Pilar	36	1	Direita	-	-
V-1	9	8	24,50	51,00	587,00	2,30 cm	2,30 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra	Viga	36	1	Esquerda	Tracionado	Externo
V-2	7	8	25,90	42,90	673,00	1,80 cm	1,80 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra	Viga	36	1	Esquerda	Tracionado	Interno
V-3	8	8	26,80	39,02	509,00	3,10 cm	3,10 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra	Viga	36	1	Direita	Tracionado	Interno
V-4	11	8	29,20	37,70	498,00	2,70 cm	2,70 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra	Viga	36	1	Direita	Tracionado	Externo
V-5	2	8	24,40	51,70	537,00	3,00 cm	3,00 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra	Viga	36	1	Esquerda	Comprimito	Externo
V-6	3	8	25,90	42,90	673,00	2,50 cm	2,50 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra	Viga	36	1	Esquerda	Comprimito	Interno
V-7	6	8	26,80	39,02	509,00	1,50 cm	1,50 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra	Viga	36	1	Direita	Comprimito	Interno
V-8	5	8	29,20	37,70	498,00	2,40 cm	2,40 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra	Viga	36	1	Direita	Comprimito	Externo

PONTC	Numero campo	Obra	temp.	UR	CO2	COBRIM	CARB.	RESTAN	Obs	Parou et	Elemento	Idade aproximad	CAA	Esq/dir	Comp/tr	Interno/Ext
L-1	10	9	27,40	48,70	507,00	2,00 cm	1,30 cm	0,70 cm	Topo rosa	Barra	Laje	36	1	Esquerda	-	-
L-4	12	9	25,90	51,20	522,00	2,80 cm	0,50 cm	2,30 cm	Topo rosa	Barra	Laje	36	1	Direita	-	-
P-1	1	9	27,40	48,70	507,00	2,20 cm	2,20 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra	Pilar	36	1	Esquerda	-	-
P-2	4	9	27,00	48,90	513,00	1,80 cm	1,80 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra	Pilar	36	1	Direita	-	-
V-1	9	9	27,40	48,70	507,00	2,00 cm	2,00 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra	Viga	36	1	Esquerda	Tracionado	Externo
V-2	7	9	26,90	48,40	515,00	2,20 cm	2,20 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra	Viga	36	1	Esquerda	Tracionado	Interno
V-3	8	9	26,90	48,40	515,00	2,60 cm	2,60 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra	Viga	36	1	Direita	Tracionado	Interno
V-4	11	9	25,90	51,20	522,00	3,30 cm	3,30 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra	Viga	36	1	Direita	Tracionado	Externo
V-5	2	9	27,40	48,70	507,00	2,50 cm	2,50 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra	Viga	36	1	Esquerda	Comprimido	Externo
V-6	3	9	26,90	48,40	515,00	2,40 cm	2,40 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra	Viga	36	1	Esquerda	Comprimido	Interno
V-7	6	9	26,90	48,40	515,00	2,80 cm	2,70 cm	0,10 cm	Topo rosa	Barra	Viga	36	1	Direita	Comprimido	Interno
V-8	5	9	27,00	48,90	513,00	2,30 cm	2,30 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra	Viga	36	1	Direita	Comprimido	Externo
L-1	10	10	26,20	48,50	486,00	3,30 cm	1,80 cm	1,50 cm	Topo bicolor	Barra	Laje	36	1	Esquerda	-	-
P-1	1	10	26,20	51,80	481,00	2,70 cm	2,70 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra	Pilar	36	1	Esquerda	-	-
P-2	4	10	25,60	52,30	511,00	2,70 cm	2,70 cm	0,00 cm	Topo bicolor	Barra	Pilar	36	1	Direita	-	-
V-1	9	10	26,20	48,50	486,00	2,50 cm	2,50 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra	Viga	36	1	Esquerda	Tracionado	Externo
V-2	7	10	25,70	53,50	536,00	1,50 cm	1,50 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra	Viga	36	1	Esquerda	Tracionado	Interno
V-3	8	10	25,70	53,50	536,00	2,00 cm	2,00 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra	Viga	36	1	Direita	Tracionado	Interno
V-5	2	10	26,20	51,80	481,00	2,40 cm	2,40 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra	Viga	36	1	Esquerda	Comprimido	Externo
V-6	3	10	25,70	53,50	536,00	2,60 cm	2,60 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra	Viga	36	1	Esquerda	Comprimido	Interno
V-7	6	10	25,70	53,50	536,00	1,80 cm	1,80 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra	Viga	36	1	Direita	Comprimido	Interno
V-8	5	10	25,60	52,30	511,00	2,70 cm	2,70 cm	0,00 cm	Topo Carb.	Barra	Viga	36	1	Direita	Comprimido	Externo

PONTO	Numero campo	Obra	Cobr. Proj.	Cobr. atual	Cobr. real - Proj.	Cobr. real - cobr. atual	K teorico	K real	diferença k real k teorico em %	% carbonatada	%carbonatada por tutti	%carbonatada por tutti - % carbonatada real
L-1	8	1	1,50 em	2,50 em	66,67%	0,00%	0,35	0,37	5,41%	100,00%	94,87%	-5,13%
L-4	11	1	1,50 em	2,50 em	100,00%	20,00%	0,35	0,45	26,49%	100,00%	94,87%	-5,13%
P-2	2	1	2,00 em	3,00 em	-25,00%	-50,00%	0,42	0,07	-82,43%	33,33%	94,87%	61,53%
V-1	6	1	2,00 em	3,00 em	25,00%	-16,67%	0,42	0,37	-12,16%	100,00%	94,87%	-5,13%
V-2	7	1	2,00 em	3,00 em	50,00%	0,00%	0,42	0,45	5,41%	100,00%	94,87%	-5,13%
V-3	9	1	2,00 em	3,00 em	50,00%	0,00%	0,42	0,45	5,41%	100,00%	94,87%	-5,13%
V-4	10	1	2,00 em	3,00 em	50,00%	0,00%	0,42	0,45	5,41%	100,00%	94,87%	-5,13%
V-4	12	1	2,00 em	3,00 em	-25,00%	-50,00%	0,42	0,22	-47,30%	100,00%	94,87%	-5,13%
V-5	1	1	2,00 em	3,00 em	50,00%	0,00%	0,42	0,45	5,41%	100,00%	94,87%	-5,13%
V-6	3	1	2,00 em	3,00 em	50,00%	0,00%	0,42	0,15	-64,86%	33,33%	94,87%	61,53%
V-7	4	1	2,00 em	3,00 em	25,00%	-16,67%	0,42	0,07	-82,43%	20,00%	94,87%	74,87%
V-8	5	1	2,00 em	3,00 em	0,00%	-33,33%	0,42	0,30	-29,73%	100,00%	94,87%	-5,13%
L-1	10	2	2,50 em	2,50 em	-8,00%	-8,00%	0,35	0,43	22,57%	56,52%	42,43%	-14,10%
P-1	1	2	3,00 em	3,00 em	6,67%	6,67%	0,42	0,83	96,42%	78,13%	42,43%	-35,70%
P-2	5	2	3,00 em	3,00 em	40,00%	40,00%	0,42	1,07	151,42%	76,19%	42,43%	-33,76%
V-1	9	2	3,00 em	3,00 em	-46,67%	-46,67%	0,42	0,53	25,71%	100,00%	42,43%	-57,57%
V-2	8	2	3,00 em	3,00 em	6,67%	6,67%	0,42	0,90	112,13%	84,38%	42,43%	-41,95%
V-3	7	2	3,00 em	3,00 em	-3,33%	-3,33%	0,42	0,53	25,71%	55,17%	42,43%	-12,75%
V-4	11	2	3,00 em	3,00 em	-53,33%	-53,33%	0,42	0,47	9,99%	100,00%	42,43%	-57,57%
V-5	2	2	3,00 em	3,00 em	-33,33%	-33,33%	0,42	0,67	57,13%	100,00%	42,43%	-57,57%
V-6	3	2	3,00 em	3,00 em	6,67%	6,67%	0,42	0,53	25,71%	50,00%	42,43%	-7,57%
V-7	4	2	3,00 em	3,00 em	6,67%	6,67%	0,42	0,83	96,42%	78,13%	42,43%	-35,70%
V-8	6	2	3,00 em	3,00 em	-20,00%	-20,00%	0,42	0,67	57,13%	83,33%	42,43%	-40,91%
L-1	12	3	1,50 em	2,50 em	100,00%	20,00%	0,35	0,45	26,49%	100,00%	94,87%	-5,13%
L-4	10	3	1,50 em	2,50 em	73,33%	4,00%	0,35	0,39	9,63%	100,00%	94,87%	-5,13%
P-1	4	3	2,00 em	3,00 em	100,00%	33,33%	0,42	0,03	-92,97%	5,00%	89,87%	-1,80%
P-2	1	3	2,00 em	3,00 em	50,00%	0,00%	0,42	0,43	1,90%	96,67%	94,87%	-1,80%
V-1	11	3	2,00 em	3,00 em	75,00%	16,67%	0,42	0,45	5,41%	85,71%	94,87%	9,15%
V-2	7	3	2,00 em	3,00 em	50,00%	0,00%	0,42	0,40	-5,13%	90,00%	94,87%	4,87%
V-3	8	3	2,00 em	3,00 em	60,00%	6,67%	0,42	0,45	5,41%	93,75%	94,87%	1,12%
V-4	9	3	2,00 em	3,00 em	0,00%	-33,33%	0,42	0,30	-29,73%	100,00%	94,87%	-5,13%
V-5	6	3	2,00 em	3,00 em	15,00%	-23,33%	0,42	0,34	-19,19%	100,00%	94,87%	-5,13%
V-6	5	3	2,00 em	3,00 em	60,00%	6,67%	0,42	0,46	8,92%	96,88%	94,87%	-2,01%
V-7	3	3	2,00 em	3,00 em	70,00%	13,33%	0,42	0,51	19,46%	100,00%	94,87%	-5,13%
V-8	2	3	2,00 em	3,00 em	15,00%	-23,33%	0,42	0,34	-19,19%	100,00%	94,87%	-5,13%
L-4	7	4	1,50 em	2,50 em	40,00%	-16,00%	0,35	0,13	-64,22%	38,10%	89,44%	51,35%
P-1	2	4	2,00 em	3,00 em	-60,00%	-73,33%	0,42	0,13	-70,19%	100,00%	89,44%	-10,56%
P-2	1	4	2,00 em	3,00 em	0,00%	-33,33%	0,42	0,05	-88,82%	15,00%	89,44%	74,44%
V-1	11	4	2,00 em	3,00 em	75,00%	16,67%	0,42	0,11	-73,91%	20,00%	89,44%	69,44%
V-2	8	4	2,00 em	3,00 em	115,00%	43,33%	0,42	0,32	-25,46%	46,51%	89,44%	42,93%
V-3	3	4	2,00 em	3,00 em	140,00%	60,00%	0,42	0,05	-88,82%	6,25%	89,44%	83,19%
V-4	6	4	2,00 em	3,00 em	30,00%	-13,33%	0,42	0,02	-96,27%	3,85%	89,44%	85,60%
V-5	10	4	2,00 em	3,00 em	50,00%	0,00%	0,42	0,03	-92,55%	6,67%	89,44%	82,78%
V-6	9	4	2,00 em	3,00 em	35,00%	-10,00%	0,42	0,22	-47,83%	51,85%	89,44%	37,59%
V-7	4	4	2,00 em	3,00 em	-30,00%	-53,33%	0,42	0,22	-47,83%	100,00%	89,44%	-10,56%
V-8	5	4	2,00 em	3,00 em	25,00%	-16,67%	0,42	0,05	-88,82%	12,00%	89,44%	77,44%

PONTO	Numero campo	Obra	Cobr. Proj.	Cobr. anual	Cobr. real - cobr. Proj.	Cobr. real - cobr. atual	K teorico	K real	diferença k real k teorico em %	% carbonatada	% carbonatada por tutti	% carbonatada por tutti - % carbonatada real
L-1	12	5	2,50 em	2,00 em	-20,00%	0,00%	0,28	0,02	-92,93%	5,00%	70,71%	65,71%
L-4	10	5	2,50 em	2,00 em	0,00%	25,00%	0,28	0,10	-64,64%	20,00%	70,71%	50,71%
P-1	4	5	2,50 em	2,50 em	4,00%	4,00%	0,35	0,50	41,42%	96,15%	70,71%	-25,44%
P-2	1	5	2,50 em	2,50 em	-40,00%	-40,00%	0,35	0,30	-15,15%	100,00%	70,71%	-29,29%
V-1	11	5	2,50 em	2,50 em	12,00%	12,00%	0,35	0,56	58,39%	100,00%	70,71%	-29,29%
V-2	8	5	2,50 em	2,50 em	0,00%	0,00%	0,35	0,48	35,76%	96,00%	70,71%	-25,29%
V-3	7	5	2,50 em	2,50 em	8,00%	8,00%	0,35	0,50	41,42%	92,59%	70,71%	-21,88%
V-4	9	5	2,50 em	2,50 em	8,00%	8,00%	0,35	0,54	52,74%	100,00%	70,71%	-29,29%
V-5	5	5	2,50 em	2,50 em	-16,00%	-16,00%	0,35	0,40	13,14%	95,24%	70,71%	-24,53%
V-6	6	5	2,50 em	2,50 em	-8,00%	-8,00%	0,35	0,46	30,11%	100,00%	70,71%	-29,29%
V-7	3	5	2,50 em	2,50 em	28,00%	28,00%	0,35	0,62	75,36%	96,88%	70,71%	-26,16%
V-8	2	5	2,50 em	2,50 em	8,00%	8,00%	0,35	0,54	52,74%	100,00%	70,71%	-29,29%
L-1	10	6	2,50 em	2,00 em	20,00%	50,00%	0,28	0,20	-29,29%	33,33%	70,71%	37,38%
L-4	12	6	2,50 em	2,00 em	-52,00%	-40,00%	0,28	0,04	-85,86%	16,67%	70,71%	54,04%
P-1	1	6	2,50 em	2,50 em	20,00%	20,00%	0,35	0,50	41,42%	83,33%	70,71%	-12,62%
P-2	4	6	2,50 em	2,50 em	0,00%	0,00%	0,35	0,24	-32,12%	48,00%	70,71%	22,71%
V-1	9	6	2,50 em	2,50 em	-20,00%	-20,00%	0,35	0,40	13,14%	100,00%	70,71%	-29,29%
V-2	7	6	2,50 em	2,50 em	0,00%	0,00%	0,35	0,48	35,76%	96,00%	70,71%	-25,29%
V-3	8	6	2,50 em	2,50 em	20,00%	20,00%	0,35	0,46	30,11%	76,67%	70,71%	-5,96%
V-4	11	6	2,50 em	2,50 em	-20,00%	-20,00%	0,35	0,40	13,14%	100,00%	70,71%	-29,29%
V-5	2	6	2,50 em	2,50 em	0,00%	0,00%	0,35	0,48	35,76%	96,00%	70,71%	-25,29%
V-6	3	6	2,50 em	2,50 em	20,00%	20,00%	0,35	0,40	13,14%	66,67%	70,71%	4,04%
V-7	5	6	2,50 em	2,50 em	0,00%	0,00%	0,35	0,48	35,76%	96,00%	70,71%	-25,29%
V-8	6	6	2,50 em	2,50 em	12,00%	12,00%	0,35	0,40	13,14%	71,43%	70,71%	-0,72%
L-1	10	7	2,50 em	2,00 em	-4,00%	20,00%	0,28	0,32	13,14%	66,67%	70,71%	4,04%
L-4	12	7	2,50 em	2,00 em	32,00%	65,00%	0,28	0,36	27,28%	54,55%	70,71%	16,17%
P-1	1	7	2,50 em	2,50 em	20,00%	20,00%	0,35	0,58	64,05%	96,67%	70,71%	-25,96%
P-2	4	7	2,50 em	2,50 em	0,00%	0,00%	0,35	0,50	41,42%	100,00%	70,71%	-29,29%
V-1	9	7	2,50 em	2,50 em	-20,00%	-20,00%	0,35	0,40	13,14%	100,00%	70,71%	-29,29%
V-2	7	7	2,50 em	2,50 em	-20,00%	-20,00%	0,35	0,40	13,14%	100,00%	70,71%	-29,29%
V-3	8	7	2,50 em	2,50 em	28,00%	28,00%	0,35	0,64	81,02%	100,00%	70,71%	-29,29%
V-4	11	7	2,50 em	2,50 em	0,00%	0,00%	0,35	0,50	41,42%	100,00%	70,71%	-29,29%
V-5	2	7	2,50 em	2,50 em	-20,00%	-20,00%	0,35	0,40	13,14%	100,00%	70,71%	-29,29%
V-6	3	7	2,50 em	2,50 em	-12,00%	-12,00%	0,35	0,26	-26,46%	59,09%	70,71%	11,62%
V-7	6	7	2,50 em	2,50 em	8,00%	8,00%	0,35	0,40	13,14%	74,07%	70,71%	-3,36%
V-8	5	7	2,50 em	2,50 em	12,00%	12,00%	0,35	0,46	30,11%	82,14%	70,71%	-11,43%
L-1	10	8	2,50 em	2,00 em	28,00%	60,00%	0,28	0,25	-11,61%	46,88%	70,71%	37,98%
P-1	1	8	2,50 em	2,50 em	-32,00%	-32,00%	0,35	0,28	-19,86%	100,00%	84,85%	-15,15%
P-2	4	8	2,50 em	2,50 em	-8,00%	-8,00%	0,35	0,38	8,42%	100,00%	84,85%	-15,15%
V-1	9	8	2,50 em	2,50 em	-8,00%	-8,00%	0,35	0,38	8,42%	100,00%	84,85%	-15,15%
V-2	7	8	2,50 em	2,50 em	-28,00%	-28,00%	0,35	0,30	-15,15%	100,00%	84,85%	-15,15%
V-3	8	8	2,50 em	2,50 em	24,00%	24,00%	0,35	0,52	46,14%	100,00%	84,85%	-15,15%
V-4	11	8	2,50 em	2,50 em	8,00%	8,00%	0,35	0,45	27,28%	100,00%	84,85%	-15,15%
V-5	2	8	2,50 em	2,50 em	20,00%	20,00%	0,35	0,40	13,14%	100,00%	84,85%	-15,15%
V-6	3	8	2,50 em	2,50 em	0,00%	0,00%	0,35	0,42	17,85%	100,00%	84,85%	-15,15%
V-7	6	8	2,50 em	2,50 em	-40,00%	-40,00%	0,35	0,25	-29,29%	100,00%	84,85%	-15,15%
V-8	5	8	2,50 em	2,50 em	-4,00%	-4,00%	0,35	0,40	13,14%	100,00%	84,85%	-15,15%

PONTO	Numero campo	Obra	Cobr. Proj.	Cobr. atual	Cobr. real - Proj.	Cobr. real - cobr. atual	K teorico	K real	diferença k real k teorico em %	% carbonatada	% carbonatada por tutti	% carbonatada por tutti - % carbonatada real
L-1	10	9	2,50 em	2,00 em	-20,00%	0,00%	0,28	0,22	-23,40%	65,00%	84,85%	19,85%
L-4	12	9	2,50 em	2,00 em	-12,00%	40,00%	0,28	0,08	-70,54%	17,86%	84,85%	67,00%
P-1	1	9	2,50 em	2,50 em	-12,00%	-12,00%	0,35	0,37	3,71%	100,00%	84,85%	-15,15%
P-2	4	9	2,50 em	2,50 em	-28,00%	-28,00%	0,35	0,30	-15,15%	100,00%	84,85%	-15,15%
V-1	9	9	2,50 em	2,50 em	-20,00%	-20,00%	0,35	0,33	-5,72%	100,00%	84,85%	-15,15%
V-2	7	9	2,50 em	2,50 em	-12,00%	-12,00%	0,35	0,37	3,71%	100,00%	84,85%	-15,15%
V-3	8	9	2,50 em	2,50 em	4,00%	4,00%	0,35	0,43	22,57%	100,00%	84,85%	-15,15%
V-4	11	9	2,50 em	2,50 em	32,00%	32,00%	0,35	0,55	55,56%	100,00%	84,85%	-15,15%
V-5	2	9	2,50 em	2,50 em	0,00%	0,00%	0,35	0,42	17,85%	100,00%	84,85%	-15,15%
V-6	3	9	2,50 em	2,50 em	-4,00%	-4,00%	0,35	0,40	13,14%	100,00%	84,85%	-15,15%
V-7	6	9	2,50 em	2,50 em	12,00%	12,00%	0,35	0,45	27,28%	96,43%	84,85%	-11,58%
V-8	5	9	2,50 em	2,50 em	-8,00%	-8,00%	0,35	0,38	8,42%	100,00%	84,85%	-15,15%
L-1	10	10	2,50 em	2,00 em	32,00%	65,00%	0,28	0,30	6,07%	54,55%	84,85%	30,31%
P-1	1	10	2,50 em	2,50 em	8,00%	8,00%	0,35	0,45	27,28%	100,00%	84,85%	-15,15%
P-2	4	10	2,50 em	2,50 em	8,00%	8,00%	0,35	0,45	27,28%	100,00%	84,85%	-15,15%
V-1	9	10	2,50 em	2,50 em	0,00%	0,00%	0,35	0,42	17,85%	100,00%	84,85%	-15,15%
V-2	7	10	2,50 em	2,50 em	-40,00%	-40,00%	0,35	0,25	-29,29%	100,00%	84,85%	-15,15%
V-3	8	10	2,50 em	2,50 em	-20,00%	-20,00%	0,35	0,33	-5,72%	100,00%	84,85%	-15,15%
V-5	2	10	2,50 em	2,50 em	-4,00%	-4,00%	0,35	0,40	13,14%	100,00%	84,85%	-15,15%
V-6	3	10	2,50 em	2,50 em	4,00%	4,00%	0,35	0,43	22,57%	100,00%	84,85%	-15,15%
V-7	6	10	2,50 em	2,50 em	-28,00%	-28,00%	0,35	0,30	-15,15%	100,00%	84,85%	-15,15%
V-8	5	10	2,50 em	2,50 em	8,00%	8,00%	0,35	0,45	27,28%	100,00%	84,85%	-15,15%

PONTO	Numero campo	Obra	temp.	média	Temp. - média	UR	média	UR - média	CO2	média	CO2 - média	Obra	Elemento	Esq/dir	Comp/trac	Interno/ Externo
L-1	8	1	31,00	26,76	4,24	32,00	41,68	-9,68	599,00	564,83	34,17	1	Laje	Esquerda	-	-
L-4	11	1	28,20	26,76	1,44	35,20	41,68	-6,48	522,00	564,83	-42,83	1	Laje	Direita	-	-
P-1	2	1	24,60	26,76	-2,16	50,60	41,68	8,93	507,00	564,83	-57,83	1	Pilar	Esquerda	-	-
P-2	6	1	24,90	26,76	-1,86	49,50	41,68	7,83	582,00	564,83	17,17	1	Pilar	Direita	-	-
V-1	7	1	31,00	26,76	4,24	32,00	41,68	-9,68	599,00	564,83	34,17	1	Viga	Esquerda	Tracionado	Externo
V-2	9	1	27,00	26,76	0,24	38,00	41,68	-3,68	624,00	564,83	59,17	1	Viga	Esquerda	Tracionado	Interno
V-3	10	1	27,00	26,76	0,24	39,00	41,68	-2,68	584,00	564,83	19,17	1	Viga	Direita	Tracionado	Interno
V-4	12	1	28,50	26,76	1,74	24,00	41,68	-17,68	546,00	564,83	-18,83	1	Viga	Direita	Tracionado	Externo
V-5	1	1	24,60	26,76	-2,16	51,10	41,68	9,43	589,00	564,83	24,17	1	Viga	Esquerda	Comprimido	Externo
V-6	3	1	24,80	26,76	-1,96	50,00	41,68	8,33	525,00	564,83	-39,83	1	Viga	Esquerda	Comprimido	Interno
V-7	4	1	24,60	26,76	-2,16	49,20	41,68	7,53	519,00	564,83	-45,83	1	Viga	Direita	Comprimido	Interno
V-8	5	1	24,90	26,76	-1,86	49,50	41,68	7,83	582,00	564,83	17,17	1	Viga	Direita	Comprimido	Externo
L-1	10	2	19,60	19,84	-0,24	69,30	69,02	0,28	532,00	532,50	-0,50	2	Laje	Esquerda	-	-
P-1	1	2	19,60	19,84	-0,24	69,30	69,02	0,28	532,00	532,50	-0,50	2	Pilar	Esquerda	-	-
P-2	5	2	19,50	19,84	-0,34	69,40	69,02	0,38	500,00	532,50	-32,50	2	Pilar	Direita	-	-
V-1	9	2	19,60	19,84	-0,24	69,30	69,02	0,28	532,00	532,50	-0,50	2	Viga	Esquerda	Tracionado	Externo
V-2	8	2	19,20	19,84	-0,64	71,90	69,02	2,88	573,00	532,50	40,50	2	Viga	Esquerda	Tracionado	Interno
V-3	7	2	19,20	19,84	-0,64	71,90	69,02	2,88	573,00	532,50	40,50	2	Viga	Direita	Tracionado	Interno
V-4	11	2	19,50	19,84	-0,34	69,40	69,02	0,38	500,00	532,50	-32,50	2	Viga	Direita	Tracionado	Externo
V-5	2	2	19,60	19,84	-0,24	69,30	69,02	0,28	532,00	532,50	-0,50	2	Viga	Esquerda	Comprimido	Externo
V-6	3	2	19,60	19,84	-0,24	69,30	69,02	0,28	532,00	532,50	-0,50	2	Viga	Esquerda	Comprimido	Interno
V-7	4	2	19,20	19,84	-0,64	70,00	69,02	0,98	522,00	532,50	-10,50	2	Viga	Direita	Comprimido	Interno
V-8	6	2	19,50	19,84	-0,34	69,40	69,02	0,38	500,00	532,50	-32,50	2	Viga	Direita	Comprimido	Externo
L-1	12	3	22,10	22,92	-0,82	65,60	63,98	1,62	501,00	535,67	-34,67	3	Laje	Esquerda	-	-
L-4	10	3	22,70	22,92	-0,22	66,20	63,98	2,23	504,00	535,67	-31,67	3	Laje	Direita	-	-
P-1	4	3	23,20	22,92	0,28	63,60	63,98	-0,38	517,00	535,67	-18,67	3	Pilar	Esquerda	-	-
P-2	1	3	24,00	22,92	1,08	59,70	63,98	-4,28	562,00	535,67	26,33	3	Pilar	Direita	-	-
V-1	11	3	22,10	22,92	-0,82	65,60	63,98	1,62	501,00	535,67	-34,67	3	Viga	Esquerda	Tracionado	Externo
V-2	7	3	22,00	22,92	-0,92	66,90	63,98	2,93	611,00	535,67	75,33	3	Viga	Esquerda	Tracionado	Interno
V-3	8	3	21,80	22,92	-1,12	67,30	63,98	3,33	570,00	535,67	34,33	3	Viga	Direita	Tracionado	Interno
V-4	9	3	22,70	22,92	-0,22	66,20	63,98	2,23	504,00	535,67	-31,67	3	Viga	Direita	Tracionado	Externo
V-5	6	3	23,20	22,92	0,28	63,60	63,98	-0,38	517,00	535,67	-18,67	3	Viga	Esquerda	Comprimido	Externo
V-6	5	3	23,20	22,92	0,28	63,60	63,98	-0,38	517,00	535,67	-18,67	3	Viga	Esquerda	Comprimido	Interno
V-7	3	3	24,00	22,92	1,08	59,70	63,98	-4,28	562,00	535,67	26,33	3	Viga	Direita	Comprimido	Interno
V-8	2	3	24,00	22,92	1,08	59,70	63,98	-4,28	562,00	535,67	26,33	3	Viga	Direita	Comprimido	Externo
L-4	7	4	10,40	11,38	-0,98	58,00	56,82	1,18	493,00	524,08	-31,08	4	Laje	Direita	-	-
P-1	2	4	10,00	11,38	-1,38	58,40	56,82	1,58	483,00	524,08	-41,08	4	Pilar	Esquerda	-	-
P-2	1	4	10,30	11,38	-1,08	56,60	56,82	-0,22	470,00	524,08	-54,08	4	Pilar	Direita	-	-
V-1	11	4	10,10	11,38	-1,28	58,50	56,82	1,68	582,00	524,08	57,92	4	Viga	Esquerda	Tracionado	Externo
V-2	8	4	10,50	11,38	-0,88	56,50	56,82	-0,32	559,00	524,08	34,92	4	Viga	Esquerda	Tracionado	Interno
V-3	3	4	10,10	11,38	-1,28	58,20	56,82	1,38	498,00	524,08	-26,08	4	Viga	Direita	Tracionado	Interno
V-4	6	4	10,40	11,38	-0,98	58,00	56,82	1,18	493,00	524,08	-31,08	4	Viga	Direita	Tracionado	Externo
V-5	10	4	10,10	11,38	-1,28	58,50	56,82	1,68	582,00	524,08	57,92	4	Viga	Esquerda	Comprimido	Externo
V-6	9	4	10,50	11,38	-0,88	56,50	56,82	-0,32	559,00	524,08	34,92	4	Viga	Esquerda	Comprimido	Interno
V-7	4	4	10,10	11,38	-1,28	58,00	56,82	1,68	582,00	524,08	57,92	4	Viga	Direita	Comprimido	Externo
V-8	5	4	10,40	11,38	-0,98	58,00	56,82	1,18	493,00	524,08	-31,08	4	Viga	Direita	Comprimido	Interno

PONTO	Numero campo	Obra	temp.	média	Temp. - média	UR	média	UR - média	CO2	média	CO2 - média	Obra	Elemento	Esq/dir	Comp/trac	Interno/ Externo
L-1	12	5	21,20	22,50	-1,30	53,30	50,13	3,17	540,00	536,00	4,00	5	Laje	Esquerda	-	-
L-4	10	5	23,80	22,50	1,30	46,90	50,13	-3,23	593,00	536,00	57,00	5	Laje	Direita	-	-
P-1	4	5	21,50	22,50	-1,00	52,60	50,13	2,47	513,00	536,00	-23,00	5	Pilar	Esquerda	-	-
P-2	1	5	23,70	22,50	1,20	46,10	50,13	-4,03	495,00	536,00	-41,00	5	Pilar	Direita	-	-
V-1	11	5	21,20	22,50	-1,30	53,30	50,13	3,17	540,00	536,00	4,00	5	Viga	Esquerda	Tractionado	Externo
V-2	8	5	22,00	22,50	-0,50	53,30	50,13	3,17	580,00	536,00	44,00	5	Viga	Esquerda	Tractionado	Interno
V-3	7	5	22,40	22,50	-0,10	51,80	50,13	1,67	562,00	536,00	26,00	5	Viga	Direita	Tractionado	Interno
V-4	9	5	23,80	22,50	1,30	46,90	50,13	-3,23	593,00	536,00	57,00	5	Viga	Direita	Tractionado	Externo
V-5	5	5	21,50	22,50	-1,00	52,60	50,13	2,47	513,00	536,00	-23,00	5	Viga	Esquerda	Comprimito	Externo
V-6	6	5	21,50	22,50	-1,00	52,60	50,13	2,47	513,00	536,00	-23,00	5	Viga	Esquerda	Comprimito	Interno
V-7	3	5	23,70	22,50	1,20	46,10	50,13	-4,03	495,00	536,00	-41,00	5	Viga	Direita	Comprimito	Interno
V-8	2	5	23,70	22,50	1,20	46,10	50,13	-4,03	495,00	536,00	-41,00	5	Viga	Direita	Comprimito	Externo
L-1	10	6	25,70	25,58	0,12	43,80	44,42	-0,62	524,00	537,50	-13,50	6	Laje	Esquerda	-	-
L-4	12	6	26,70	25,58	1,13	40,10	44,42	-4,32	482,00	537,50	-55,50	6	Laje	Direita	-	-
P-1	1	6	25,80	25,58	0,22	43,50	44,42	-0,92	630,00	537,50	92,50	6	Pilar	Esquerda	-	-
P-2	4	6	24,80	25,58	-0,78	47,90	44,42	3,48	575,00	537,50	37,50	6	Pilar	Direita	-	-
V-1	9	6	25,70	25,58	0,12	43,80	44,42	-0,62	524,00	537,50	-13,50	6	Viga	Esquerda	Tractionado	Externo
V-2	7	6	24,80	25,58	-0,78	46,60	44,42	2,18	538,00	537,50	0,50	6	Viga	Esquerda	Tractionado	Interno
V-3	8	6	24,80	25,58	-0,78	47,90	44,42	3,48	575,00	537,50	37,50	6	Viga	Direita	Tractionado	Interno
V-4	11	6	26,70	25,58	1,13	40,10	44,42	-4,32	482,00	537,50	-55,50	6	Viga	Direita	Tractionado	Externo
V-5	2	6	25,70	25,58	0,12	43,80	44,42	-0,62	524,00	537,50	-13,50	6	Viga	Esquerda	Comprimito	Externo
V-6	3	6	24,80	25,58	-0,78	46,60	44,42	2,18	538,00	537,50	0,50	6	Viga	Esquerda	Comprimito	Interno
V-7	6	6	24,80	25,58	-0,78	47,90	44,42	3,48	575,00	537,50	37,50	6	Viga	Direita	Comprimito	Interno
V-8	5	6	26,60	25,58	1,03	41,00	44,42	-3,42	483,00	537,50	-54,50	6	Viga	Direita	Comprimito	Externo
L-1	10	7	23,30	23,00	0,30	50,40	53,03	-2,63	486,00	516,50	-30,50	7	Laje	Esquerda	-	-
L-4	12	7	23,70	23,00	0,70	49,90	53,03	-3,13	491,00	516,50	-25,50	7	Laje	Direita	-	-
P-1	1	7	22,50	23,00	-0,50	53,40	53,03	0,37	485,00	516,50	-31,50	7	Pilar	Esquerda	-	-
P-2	4	7	23,60	23,00	0,60	52,40	53,03	-0,63	510,00	516,50	-6,50	7	Pilar	Direita	-	-
V-1	9	7	23,30	23,00	0,30	50,40	53,03	-2,63	486,00	516,50	-30,50	7	Viga	Esquerda	Tractionado	Externo
V-2	7	7	22,80	23,00	-0,20	53,90	53,03	0,87	574,00	516,50	57,50	7	Viga	Esquerda	Tractionado	Interno
V-3	8	7	22,10	23,00	-0,90	58,20	53,03	5,17	553,00	516,50	36,50	7	Viga	Direita	Tractionado	Interno
V-4	11	7	23,70	23,00	0,70	49,90	53,03	-3,13	491,00	516,50	-25,50	7	Viga	Direita	Tractionado	Externo
V-5	2	7	22,50	23,00	-0,50	53,40	53,03	0,37	485,00	516,50	-31,50	7	Viga	Esquerda	Comprimito	Externo
V-6	3	7	22,80	23,00	-0,20	53,90	53,03	0,87	574,00	516,50	57,50	7	Viga	Esquerda	Comprimito	Interno
V-7	6	7	22,10	23,00	-0,90	58,20	53,03	5,17	553,00	516,50	36,50	7	Viga	Direita	Comprimito	Interno
V-8	5	7	23,60	23,00	0,60	52,40	53,03	-0,63	510,00	516,50	-6,50	7	Viga	Direita	Comprimito	Externo
L-1	10	8	24,50	26,52	-2,02	51,00	44,25	6,75	587,00	551,08	35,92	8	Laje	Esquerda	-	-
P-1	1	8	24,40	26,52	-2,12	51,70	44,25	7,45	537,00	551,08	-14,08	8	Pilar	Esquerda	-	-
P-2	4	8	29,20	26,52	2,68	37,70	44,25	-6,55	498,00	551,08	-53,08	8	Pilar	Direita	-	-
V-1	9	8	24,50	26,52	-2,02	51,00	44,25	6,75	587,00	551,08	35,92	8	Viga	Esquerda	Tractionado	Externo
V-2	7	8	25,90	26,52	-0,62	42,90	44,25	-1,35	673,00	551,08	121,92	8	Viga	Esquerda	Tractionado	Interno
V-3	8	8	26,80	26,52	0,28	39,02	44,25	-5,23	509,00	551,08	-42,08	8	Viga	Direita	Tractionado	Interno
V-4	11	8	29,20	26,52	2,68	37,70	44,25	-6,55	498,00	551,08	-53,08	8	Viga	Direita	Tractionado	Externo
V-5	2	8	24,40	26,52	-2,12	51,70	44,25	7,45	537,00	551,08	-14,08	8	Viga	Esquerda	Comprimito	Externo
V-6	3	8	25,90	26,52	-0,62	42,90	44,25	-1,35	673,00	551,08	121,92	8	Viga	Esquerda	Comprimito	Interno
V-7	6	8	26,80	26,52	0,28	39,02	44,25	-5,23	509,00	551,08	-42,08	8	Viga	Direita	Comprimito	Interno
V-8	5	8	29,20	26,52	2,68	37,70	44,25	-6,55	498,00	551,08	-53,08	8	Viga	Direita	Comprimito	Externo

PONTO	Numero campo	Obra	temp.	média	Temp - média	UR	média	UR - média	CO2	média	CO2 - média	Obra	Elemento	Esq/dir	Comp/trac	Interno/ Externo
L-1	10	9	27,40	26,92	0,48	48,70	49,05	-0,35	507,00	513,17	-6,17	9	Laje	Esquerda	-	-
L-4	12	9	25,90	26,92	-1,02	51,20	49,05	2,15	522,00	513,17	8,83	9	Laje	Direita	-	-
P-1	1	9	27,40	26,92	0,48	48,70	49,05	-0,35	507,00	513,17	-6,17	9	Pilar	Esquerda	-	-
P-2	4	9	27,00	26,92	0,08	48,90	49,05	-0,15	513,00	513,17	-0,17	9	Pilar	Direita	-	-
V-1	9	9	27,40	26,92	0,48	48,70	49,05	-0,35	507,00	513,17	-6,17	9	Viga	Esquerda	Tracionado	Externo
V-2	7	9	26,90	26,92	-0,02	48,40	49,05	-0,65	515,00	513,17	1,83	9	Viga	Esquerda	Tracionado	Interno
V-3	8	9	26,90	26,92	-0,02	48,40	49,05	-0,65	515,00	513,17	1,83	9	Viga	Direita	Tracionado	Interno
V-4	11	9	25,90	26,92	-1,02	51,20	49,05	2,15	522,00	513,17	8,83	9	Viga	Direita	Tracionado	Externo
V-5	2	9	27,40	26,92	0,48	48,70	49,05	-0,35	507,00	513,17	-6,17	9	Viga	Esquerda	Comprimido	Externo
V-6	3	9	26,90	26,92	-0,02	48,40	49,05	-0,65	515,00	513,17	1,83	9	Viga	Esquerda	Comprimido	Interno
V-7	6	9	26,90	26,92	-0,02	48,40	49,05	-0,65	515,00	513,17	1,83	9	Viga	Direita	Comprimido	Interno
V-8	5	9	27,00	26,92	0,08	48,90	49,05	-0,15	513,00	513,17	-0,17	9	Viga	Direita	Comprimido	Externo
L-1	10	10	26,20	25,88	0,32	48,50	51,92	-3,42	486,00	510,00	-24,00	10	Laje	Esquerda	-	-
P-1	1	10	26,20	25,88	0,32	51,80	51,92	-0,12	481,00	510,00	-29,00	10	Pilar	Esquerda	-	-
P-2	4	10	25,60	25,88	-0,28	52,30	51,92	0,38	511,00	510,00	1,00	10	Pilar	Direita	-	-
V-1	9	10	26,20	25,88	0,32	48,50	51,92	-3,42	486,00	510,00	-24,00	10	Viga	Esquerda	Tracionado	Externo
V-2	7	10	25,70	25,88	-0,18	53,50	51,92	1,58	536,00	510,00	26,00	10	Viga	Esquerda	Tracionado	Interno
V-3	8	10	25,70	25,88	-0,18	53,50	51,92	1,58	536,00	510,00	26,00	10	Viga	Direita	Tracionado	Interno
V-5	2	10	26,20	25,88	0,32	51,80	51,92	-0,12	481,00	510,00	-29,00	10	Viga	Esquerda	Comprimido	Externo
V-6	3	10	25,70	25,88	-0,18	53,50	51,92	1,58	536,00	510,00	26,00	10	Viga	Esquerda	Comprimido	Interno
V-7	6	10	25,70	25,88	-0,18	53,50	51,92	1,58	536,00	510,00	26,00	10	Viga	Direita	Comprimido	Interno
V-8	5	10	25,60	25,88	-0,28	52,30	51,92	0,38	511,00	510,00	1,00	10	Viga	Direita	Comprimido	Externo

## 9. APÊNDICE C – FOTOS ENSAIO CARBONATAÇÃO

Imagem ensaio de carbonatação Ponte sobre o arroio Barnabé antiga (OAE 01).



(a) Ponto 01 – estrutura após aplicação fenol



(b) Ponto 01 – CP rompido após aplicação fenol



(c) Ponto 02 – estrutura após aplicação fenol



(d) Ponto 02 – CP rompido após aplicação fenol



(e) Ponto 03 – estrutura após aplicação fenol



(f) Ponto 03 – CP rompido após aplicação fenol



(g) Ponto 04 – estrutura após aplicação fenol



(h) Ponto 04 – CP rompido após aplicação fenol



**(i) Ponto 05 – estrutura após aplicação fenol**



**(j) Ponto 05 – CP rompido após aplicação fenol**



**(k) Ponto 06 – estrutura após aplicação fenol**



**(l) Ponto 06 – CP rompido após aplicação fenol**



**(m) Ponto 07 – estrutura após aplicação fenol**



**(n) Ponto 07 – CP rompido após aplicação fenol**



**(o) Ponto 08 – estrutura após aplicação fenol**



**(p) Ponto 08 – CP rompido após aplicação fenol**



**(q) Ponto 09 – estrutura após aplicação fenol**



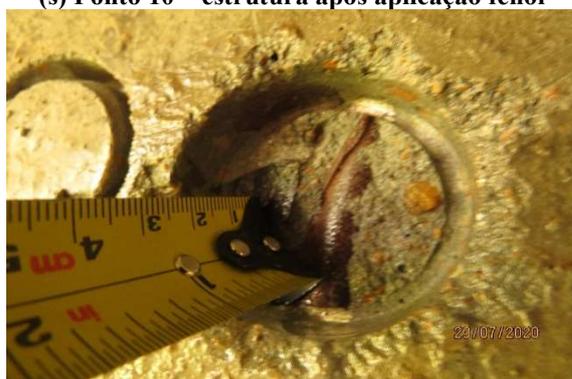
**(r) Ponto 09 – CP rompido após aplicação fenol**



**(s) Ponto 10 – estrutura após aplicação fenol**



**(t) Ponto 10 – CP rompido após aplicação fenol**



**(u) Ponto 11 – estrutura após aplicação fenol**



**(v) Ponto 11 – CP rompido após aplicação fenol**



**(x) Ponto 12 – estrutura após aplicação fenol**



**(y) Ponto 12 – CP rompido após aplicação fenol**

**Imagem ensaio de carbonatação Ponte sobre o arroio Barnabé nova (OAE 02).****(a) Ponto 01 – estrutura após aplicação fenol****(b) Ponto 01 – CP rompido após aplicação fenol****(c) Ponto 02 – estrutura após aplicação fenol****(d) Ponto 02 – estrutura após aplicação fenol****(e) Ponto 03 – estrutura após aplicação fenol****(f) Ponto 03 – CP rompido após aplicação fenol****(g) Ponto 04 – estrutura após aplicação fenol****(h) Ponto 04 – CP rompido após aplicação fenol**



**(i) Ponto 05 – estrutura após aplicação fenol**



**(j) Ponto 05 – CP rompido após aplicação fenol**



**(k) Ponto 06 – estrutura após aplicação fenol**



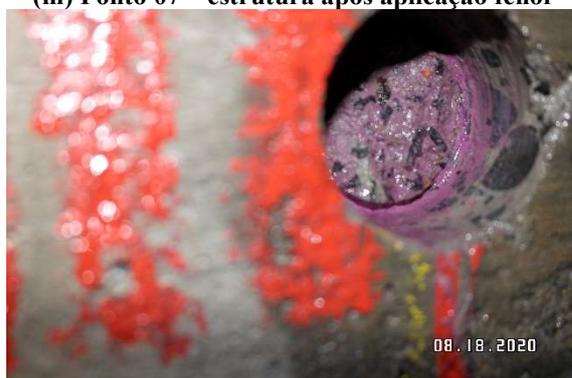
**(l) Ponto 06 – CP rompido após aplicação fenol**



**(m) Ponto 07 – estrutura após aplicação fenol**



**(n) Ponto 07 – CP rompido após aplicação fenol**



**(o) Ponto 08 – estrutura após aplicação fenol**



**(p) Ponto 08 – CP rompido após aplicação fenol**



**(q) Ponto 09 – estrutura após aplicação fenol**



**(r) Ponto 09 – CP rompido após aplicação fenol**



**(s) Ponto 10 – estrutura após aplicação fenol**



**(t) Ponto 10 – CP rompido após aplicação fenol**



**(u) Ponto 11 – estrutura após aplicação fenol**



**(v) Ponto 11 – CP rompido após aplicação fenol**

Imagem ensaio de carbonatação Ponte sobre o arroio Sapucaia (OAE 03).



(a) Ponto 01 – estrutura após aplicação fenol



(b) Ponto 01 – CP rompido após aplicação fenol



(c) Ponto 02 – estrutura após aplicação fenol



(d) Ponto 02 – CP rompido após aplicação fenol



(e) Ponto 03 – estrutura após aplicação fenol



(f) Ponto 03 – CP rompido após aplicação fenol



(g) Ponto 04 – estrutura após aplicação fenol



(h) Ponto 04 – CP rompido após aplicação fenol



(i) Ponto 05 – estrutura após aplicação fenol



(j) Ponto 05 – CP rompido após aplicação fenol



(k) Ponto 06 – estrutura após aplicação fenol



(l) Ponto 06 – CP rompido após aplicação fenol



(m) Ponto 07 – estrutura após aplicação fenol



(n) Ponto 07 – CP rompido após aplicação fenol



(o) Ponto 08 – estrutura após aplicação fenol



(p) Ponto 08 – CP rompido após aplicação fenol



**(q) Ponto 09 – estrutura após aplicação fenol**



**(r) Ponto 09 – CP rompido após aplicação fenol**



**(s) Ponto 10 – estrutura após aplicação fenol**



**(t) Ponto 10 – CP rompido após aplicação fenol**



**(u) Ponto 11 – estrutura após aplicação fenol**



**(v) Ponto 11 – CP rompido após aplicação fenol**



**(x) Ponto 12 – estrutura após aplicação fenol**



**(y) Ponto 12 – CP rompido após aplicação fenol**

## Imagem ensaio de carbonatação Ponte sobre a várzea dos Ferreiros (OAE 04).



(a) Ponto 01 – estrutura após aplicação fenol



(b) Ponto 01 – CP rompido após aplicação fenol



(c) Ponto 02 – estrutura após aplicação fenol



(d) Ponto 02 – CP rompido após aplicação fenol



(e) Ponto 03 – estrutura após aplicação fenol



(f) Ponto 03 – CP rompido após aplicação fenol



(g) Ponto 04 – estrutura após aplicação fenol



(h) Ponto 04 – CP rompido após aplicação fenol



**(i) Ponto 05 – estrutura após aplicação fenol**



**(j) Ponto 05 – CP rompido após aplicação fenol**



**(k) Ponto 06 – estrutura após aplicação fenol**



**(l) Ponto 06 – CP rompido após aplicação fenol**



**(m) Ponto 07 – estrutura após aplicação fenol**



**(n) Ponto 07 – CP rompido após aplicação fenol**



**(o) Ponto 08 – estrutura após aplicação fenol**



**(p) Ponto 08 – CP rompido após aplicação fenol**



**(q) Ponto 09 – estrutura após aplicação fenol**



**(r) Ponto 09 – CP rompido após aplicação fenol**



**(s) Ponto 10 – estrutura após aplicação fenol**



**(t) Ponto 10 – CP rompido após aplicação fenol**



**(u) Ponto 11 – estrutura após aplicação fenol**



**(v) Ponto 11 – CP rompido após aplicação fenol**

**Imagem ensaio de carbonatação Ponte sobre o Arroio Pinheiral (OAE 05).****(a) Ponto 01 – estrutura após aplicação fenol****(b) Ponto 01 – CP rompido após aplicação fenol****(c) Ponto 02 – estrutura após aplicação fenol****(d) Ponto 02 – CP rompido após aplicação fenol****(e) Ponto 03 – estrutura após aplicação fenol****(f) Ponto 03 – CP rompido após aplicação fenol****(g) Ponto 04 – estrutura após aplicação fenol****(h) Ponto 04 – CP rompido após aplicação fenol**



**(i) Ponto 05 – estrutura após aplicação fenol**



**(j) Ponto 05 – CP rompido após aplicação fenol**



**(k) Ponto 06 – estrutura após aplicação fenol**



**(l) Ponto 06 – CP rompido após aplicação fenol**



**(m) Ponto 07 – estrutura após aplicação fenol**



**(n) Ponto 07 – CP rompido após aplicação fenol**



**(o) Ponto 08 – estrutura após aplicação fenol**



**(p) Ponto 08 – CP rompido após aplicação fenol**



**(q) Ponto 09 – estrutura após aplicação fenol**



**(r) Ponto 09 – CP rompido após aplicação fenol**



**(s) Ponto 10 – estrutura após aplicação fenol**



**(t) Ponto 10 – CP rompido após aplicação fenol**



**(u) Ponto 11 – estrutura após aplicação fenol**



**(v) Ponto 11 – CP rompido após aplicação fenol**



**(x) Ponto 12 – estrutura após aplicação fenol**



**(y) Ponto 12 – CP rompido após aplicação fenol**

**Imagem ensaio de carbonatação Ponte sobre o arroio Passo do Sobrado (OAE 06)****(a) Ponto 01 – estrutura após aplicação fenol****(b) Ponto 01 – CP rompido após aplicação fenol****(c) Ponto 02 – estrutura após aplicação fenol****(d) Ponto 02 – CP rompido após aplicação fenol****(e) Ponto 03 – estrutura após aplicação fenol****(f) Ponto 03 – CP rompido após aplicação fenol****(g) Ponto 04 – estrutura após aplicação fenol****(h) Ponto 04 – CP rompido após aplicação fenol**



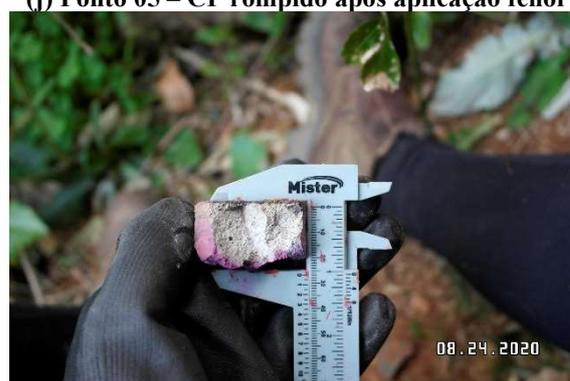
**(i) Ponto 05 – estrutura após aplicação fenol**



**(j) Ponto 05 – CP rompido após aplicação fenol**



**(k) Ponto 06 – estrutura após aplicação fenol**



**(l) Ponto 06 – CP rompido após aplicação fenol**



**(m) Ponto 07 – estrutura após aplicação fenol**



**(n) Ponto 07 – CP rompido após aplicação fenol**



**(o) Ponto 08 – estrutura após aplicação fenol**



**(p) Ponto 08 – CP rompido após aplicação fenol**



**(q) Ponto 09 – estrutura após aplicação fenol**



**(r) Ponto 09 – CP rompido após aplicação fenol**



**(s) Ponto 10 – estrutura após aplicação fenol**



**(t) Ponto 10 – CP rompido após aplicação fenol**



**(u) Ponto 11 – estrutura após aplicação fenol**



**(v) Ponto 11 – CP rompido após aplicação fenol**



**(x) Ponto 12 – estrutura após aplicação fenol**



**(y) Ponto 12 – CP rompido após aplicação fenol**

## Imagem ensaio de carbonatação Ponte sobre o arroio Passo das Carretas (OAE 07).

**(a) Ponto 01 – estrutura após aplicação fenol****(b) Ponto 01 – CP rompido após aplicação fenol****(c) Ponto 02 – estrutura após aplicação fenol****(d) Ponto 02 – CP rompido após aplicação fenol****(e) Ponto 03 – estrutura após aplicação fenol****(f) Ponto 03 – CP rompido após aplicação fenol****(g) Ponto 04 – estrutura após aplicação fenol****(h) Ponto 04 – CP rompido após aplicação fenol**



**(i) Ponto 05 – estrutura após aplicação fenol**



**(j) Ponto 05 – CP rompido após aplicação fenol**



**(k) Ponto 06 – estrutura após aplicação fenol**



**(l) Ponto 06 – CP rompido após aplicação fenol**



**(m) Ponto 07 – estrutura após aplicação fenol**



**(n) Ponto 07 – CP rompido após aplicação fenol**



**(o) Ponto 08 – estrutura após aplicação fenol**



**(p) Ponto 08 – CP rompido após aplicação fenol**



**(q) Ponto 09 – estrutura após aplicação fenol**



**(r) Ponto 09 – CP rompido após aplicação fenol**



**(s) Ponto 10 – estrutura após aplicação fenol**



**(t) Ponto 10 – CP rompido após aplicação fenol**



**(u) Ponto 11 – estrutura após aplicação fenol**



**(v) Ponto 11 – CP rompido após aplicação fenol**



**(x) Ponto 12 – estrutura após aplicação fenol**



**(y) Ponto 12 – CP rompido após aplicação fenol**

## Imagem ensaio de carbonatação Ponte sobre o Arroio Zeca (OAE 08).



(a) Ponto 01 – estrutura após aplicação fenol



(b) Ponto 01 – CP rompido após aplicação fenol



(c) Ponto 02 – estrutura após aplicação fenol



(d) Ponto 02 – CP rompido após aplicação fenol



(e) Ponto 03 – estrutura após aplicação fenol



(f) Ponto 03 – CP rompido após aplicação fenol



(g) Ponto 04 – estrutura após aplicação fenol



(h) Ponto 04 – CP rompido após aplicação fenol



**(i) Ponto 05 – estrutura após aplicação fenol**



**(j) Ponto 05 – CP rompido após aplicação fenol**



**(k) Ponto 06 – estrutura após aplicação fenol**



**(l) Ponto 06 – CP rompido após aplicação fenol**



**(m) Ponto 07 – estrutura após aplicação fenol**



**(n) Ponto 07 – CP rompido após aplicação fenol**



**(o) Ponto 08 – estrutura após aplicação fenol**



**(p) Ponto 08 – CP rompido após aplicação fenol**



**(q) Ponto 09 – estrutura após aplicação fenol**



**(r) Ponto 09 – CP rompido após aplicação fenol**



**(s) Ponto 10 – estrutura após aplicação fenol**



**(t) Ponto 10 – CP rompido após aplicação fenol**



**(u) Ponto 11 – estrutura após aplicação fenol**



**(v) Ponto 11 – CP rompido após aplicação fenol**

## Imagem ensaio de carbonatação Ponte sobre o Arroio Quebrado (OAE 09).



(a) Ponto 01 – estrutura após aplicação fenol



(b) Ponto 01 – CP rompido após aplicação fenol



(c) Ponto 02 – estrutura após aplicação fenol



(d) Ponto 02 – CP rompido após aplicação fenol



(e) Ponto 03 – estrutura após aplicação fenol



(f) Ponto 03 – CP rompido após aplicação fenol



(g) Ponto 04 – estrutura após aplicação fenol



(h) Ponto 04 – CP rompido após aplicação fenol



**(i) Ponto 05 – estrutura após aplicação fenol**



**(j) Ponto 05 – CP rompido após aplicação fenol**



**(k) Ponto 06 – estrutura após aplicação fenol**



**(l) Ponto 06 – CP rompido após aplicação fenol**



**(m) Ponto 07 – estrutura após aplicação fenol**



**(n) Ponto 07 – CP rompido após aplicação fenol**



**(o) Ponto 08 – estrutura após aplicação fenol**



**(p) Ponto 08 – CP rompido após aplicação fenol**



**(q) Ponto 09 – estrutura após aplicação fenol**



**(r) Ponto 09 – CP rompido após aplicação fenol**



**(s) Ponto 10 – estrutura após aplicação fenol**



**(t) Ponto 10 – CP rompido após aplicação fenol**



**(u) Ponto 11 – estrutura após aplicação fenol**



**(v) Ponto 11 – CP rompido após aplicação fenol**



**(x) Ponto 12 – estrutura após aplicação fenol**



**(y) Ponto 12 – CP rompido após aplicação fenol**

## Imagem ensaio de carbonatação Ponte sobre o Arroio Sabiá (OAE 10).



(a) Ponto 01 – estrutura após aplicação fenol



(b) Ponto 01 – CP rompido após aplicação fenol



(c) Ponto 02 – estrutura após aplicação fenol



(d) Ponto 02 – CP rompido após aplicação fenol



(e) Ponto 03 – estrutura após aplicação fenol



(f) Ponto 03 – CP rompido após aplicação fenol



(g) Ponto 04 – estrutura após aplicação fenol



(h) Ponto 04 – CP rompido após aplicação fenol



**(i) Ponto 05 – estrutura após aplicação fenol**



**(j) Ponto 05 – CP rompido após aplicação fenol**



**(k) Ponto 06 – estrutura após aplicação fenol**



**(l) Ponto 06 – CP rompido após aplicação fenol**



**(m) Ponto 07 – estrutura após aplicação fenol**



**(n) Ponto 07 – CP rompido após aplicação fenol**



**(o) Ponto 08 – estrutura após aplicação fenol**



**(p) Ponto 08 – CP rompido após aplicação fenol**



**(q) Ponto 09 – estrutura após aplicação fenol**



**(r) Ponto 09 – CP rompido após aplicação fenol**



**(s) Ponto 10 – CP rompido após aplicação fenol**



**(t) Pontos 11 e 12 – Não realizados devido à presença de muitas abelhas**

## 10. ANEXO A

Faixa de medição	
CO2	0 a 5000 ppm
Temperatura	-10 a 60°C
Umidade	0.1 a 99.9%UR
Resolução	
CO2	1 ppm
Temperatura	0.1°C
Umidade	0.1%UR
Exatidão	
CO2	±30 ppm ±5% da leitura (0 a 5000 ppm)
Temperatura	±0.6°C
Umidade	±3%UR
Características	
Tipo de sensor	eletroquímico
Dimensões	205 x 70 x 56 mm
Peso	200g
Temperatura de operação	-10 a 50°C
Umidade de operação	10 a 90%UR (sem condensação)
Alimentação	6V (4 pilhas AA)
Funções adicionais:	
- Calcula ponto de orvalho e temperatura de bulbo úmido	
- Função Alarme sinal sonoro (valor ajustável)	
- Registra valor máximo, mínimo e médio	
- Função HOLD	
- Visor iluminado	
- Visualização dos valores TWA e STEL	
- Saída serial RS232	
- Sincronização de dados com computador	
- Software de comunicação com o PC (opcional)	
- Desligamento automático após 20 minutos	