



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE ARQUITETURA E
URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo

**INSPEÇÕES ESPECIALIZADAS NA AVALIAÇÃO DE
ESTRUTURAS EXISTENTES DE CONCRETO
ARMADO: UM ESTUDO COMPARATIVO**

SARA PRADO NOVAIS MOURA

BRASÍLIA
2021

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E
URBANISMO

INSPEÇÕES ESPECIALIZADAS NA AVALIAÇÃO DE
ESTRUTURAS EXISTENTES DE CONCRETO ARMADO: UM
ESTUDO COMPARATIVO

SARA PRADO NOVAIS MOURA

ORIENTADOR: JOÃO DA COSTA PANTOJA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ARQUITETURA E
URBANISMO

BRASÍLIA/DF: OUTUBRO - 2021

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E
URBANISMO**

**INSPEÇÕES ESPECIALIZADAS NA AVALIAÇÃO DE
ESTRUTURAS EXISTENTES DE CONCRETO ARMADO: UM
ESTUDO COMPARATIVO**

ENG.^a SARA PRADO NOVAIS MOURA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO DA FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM ARQUITETURA E URBANISMO.

APROVADA POR:

Prof. DSc. João da Costa Pantoja, Dr. (FAU/UnB)
(Orientador)

Prof. Catedrático Humberto Varum, Dr. (FAU/UnB)
(Examinador Externo)

Prof. DSc. Márcio Augusto Roma Buzar, Dr. (FAU/UnB)
(Examinador Interno)

BRASÍLIA/DF, 28 DE OUTUBRO DE 2021

FICHA CATALOGRÁFICA

MOURA, SARA PRADO NOVAIS	
Inspeções Especializadas na Avaliação de Estruturas Existentes de Concreto Armado um Estudo Comparativo.	
[Distrito Federal] 2021.	
xvii, 191p., 210 x 297 mm (PPG-FAU/UnB, Mestre, Arquitetura e Urbanismo, 2017).	
Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo.	
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.	
1. Inspeção	2. Vistoria
3. Estruturas Existentes	4. Métodos de Avaliação
5. Degradação da Estrutura	
I. FAU/UnB	II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MOURA, S. P. N. (2021). Metodologia de Inspeção para Avaliação de Estruturas Existentes de Concreto Armado: um estudo comparativo. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 195p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Sara Prado Novais Moura

TÍTULO: Metodologia De Inspeção Para Avaliação De Estruturas Existentes De Concreto Armado: Um Estudo Comparativo

GRAU: Mestre ANO: 2021

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Sara Prado Novais Moura
SQN 214 Bl. Apt 412
70.873-080 Asa Norte – DF - Brasil
e-mail: sarapnm@gmail.com

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer a Deus, por permitir a realização de mais este sonho; e a algumas pessoas que me acompanharam e foram fundamentais nesses anos de mestrado, de muito estudo, esforço e empenho.

Ao Prof. Dr. Pantoja, pela orientação, competência, profissionalismo e dedicação tão importantes; obrigada por acreditar em mim e pelos incentivos. Tenho certeza que não chegaria neste ponto sem o seu apoio.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Dr. Varum e Prof. Dr. Buzar, que tão gentilmente aceitaram participar e colaborar com esta dissertação. Ao Prof. Dr. Varum, pela orientação, apoio e todo conhecimento compartilhado enquanto estive na FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Ao meu colega Stefano, pelo auxílio que tornou possível a concretização deste projeto. Ao FNDE, pelo auxílio financeiro ao final do mestrado, o que possibilitou maior dedicação aos estudos.

À Prof.^a Maruska, por acreditar em mim e pelo incentivo.

À minha família, meus pais Carla e Kilson; meu irmão Davi, meus avós Carlos e Sônia, minhas tias e meus tios, pela compreensão, ao serem privados em muitos momentos da minha companhia, atenção e pelo profundo apoio, estimulado-me nos momentos difíceis. Obrigada por me desejarem sempre o melhor, pelo esforço que fizeram para que eu pudesse superar cada obstáculo em meu caminho e chegar até aqui e, principalmente, pelo amor imenso que vocês têm por mim.

À minha amiga Natália, que muito me ajudou estando ao meu lado, sempre que necessário, enquanto estive em Portugal. Obrigada pelo cuidado e atenção.

Por fim, a todos aqueles que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização desta dissertação, o meu sincero agradecimento.

RESUMO

O parque edificado de estruturas de concreto armado tem aumentado ao longo dos anos, em decorrência disso, o número de estruturas que apresentam manifestações patológicas que comprometem o uso da edificação também expandiu, como uma das consequências a diminuição da vida útil da construção e, em casos mais extremos, a condenação total da mesma. O uso de inspeções nas estruturas de concreto pode auxiliar os tomadores de decisão a selecionarem a melhor técnica condizente à situação em que se encontra a estrutura. Os métodos de avaliação de estruturas devem ser aplicados por engenheiros e arquitetos que possuem conhecimento na área de inspeções, juntamente com os métodos de inspeção que auxiliam no diagnóstico, para que se obtenha resposta da investigação. As metodologias de inspeção de estruturas de concreto armado ainda são pouco difundidas dentre os avaliadores no Brasil, justificando o objetivo deste trabalho em estudar metodologias brasileiras e internacionais de avaliação desse tipo de estruturas. Nos estudos dessas metodologias, será realizado um levantamento das diferenças e semelhanças encontradas entre eles. Para iniciar o projeto, foram realizadas vistorias em três estruturas: uma unidade residencial em Brasília, os pilares do viaduto da Galeria dos Estados e os pilares do Instituto Central de Ciências, onde foram aplicadas inspeções visuais com auxílio de ensaios destrutivos e não destrutivos. Ao realizar o levantamento de dados sobre cada estrutura, foi aplicado os cálculos de nível de degradação dos elementos, das famílias e das estruturas, e das metodologias previamente selecionadas: GDE parametrizado, CEB boletim nº 243, Alert-D, MAEC e a Norma Holandesa (NEN 2767). Os resultados encontrados nas três estruturas analisadas obtiveram suas principais diferenças nos elementos e nas famílias, com classificações de condição de cada diferentes. Já a classificação das estruturas foi coerente entre si.

Palavras-chave: Concreto Armado; Degradação da Estrutura; Estruturas Existentes; Inspeção; Métodos de Avaliação; Vistoria.

ABSTRACT

The built-up stock of reinforced concrete structures has increased over the years, as a result, the number of structures that present pathological manifestations that compromise the use of the building has also expanded, as one of the consequences of the decrease in the useful life of the construction and, in more extreme cases, the total condemnation of the same. The use of inspections on concrete structures can help decision makers to select the best technique suited to the situation in which the structure is found. Structure evaluation methods must be applied by engineers and architects who have knowledge in the field of inspections, together with inspection methods that aid in the diagnosis, in order to obtain an answer from the investigation. The inspection methodologies of reinforced concrete structures are still not widespread among the evaluators in Brazil, justifying the objective of this work to study Brazilian and international methodologies for evaluating this type of structures. In the studies of these methodologies, a survey of the differences and similarities found between them will be carried out. To start the project, inspections were carried out in three structures: a residential unit in Brasília, the pillars of the Galeria dos Estados viaduct and the pillars of the Central Science Institute, where visual inspections were carried out with the aid of destructive and non-destructive tests. When carrying out the data collection on each structure, the calculations of the degradation level of the elements, families and structures, and of the previously selected methodologies were applied: parameterized GDE, CEB bulletin n° 243, Alert-D, MAEC and the Dutch Standard (NEN 2767). The results found in the three structures analyzed obtained their main differences in the elements and in the families, with different condition classifications for each. The classification of structures was coherent with each other.

Keywords: Reinforced Concrete; Structure Degradation; Existing Structures; Inspection; Assessment Methods; Survey.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivos.....	5
1.1.1	Objetivo geral	5
1.1.2	Objetivos específicos	6
2	REGULAMENTOS EXISTENTES	7
2.1	ISO 16311	7
2.2	ACI 201.1R.....	9
2.3	SEI/ASCE 11	10
2.4	NSE 6-10 (2001)	10
2.5	NEN 2767.....	11
2.6	FIB Boletim n° 62 (2012).....	20
2.7	Recapitulação das Normas.....	21
3	METODOLOGIAS PARA AVALIAÇÃO DE ESTRUTURAS EXISTENTES.....	23
3.1	Metodologias Voltadas para Estruturas.....	23
3.1.1	Klein <i>et al</i> (1991).....	23
3.1.2	Grau de Deterioração de Estruturas (GDE).....	27
3.1.2.1	Modificações Feitas por Lopes (1998)	32
3.1.2.2	Modificações Feitas por Boldo (2002)	36
3.1.2.3	Modificações Feitas por Fonseca (2007).....	38
3.1.2.4	Modificações Feitas por Euqueres (2011)	42
3.1.2.5	Modificações Feitas por Azambuja (2012)	43
3.1.2.6	Modificações feitas por Verly (2015).....	44
3.1.3	GDE Parametrizado (2018)	45
3.1.3.1	Vantagens e Desvantagens	48
3.1.4	Comitê Euro-Internacional Du Beton (CEB) Boletim n° 243	48
3.1.4.1	Cálculos do Método de Classificação de Condição.....	48
3.1.4.1	Limitações do Método	53
3.2	Metodologias Voltadas para Edificações.....	54
3.2.1	<i>Alert-Degradation</i>	54
3.2.1.2	Vantagens e Desvantagens	60
3.2.2	Método de Avaliação de Estado de Conservação de Imóveis – MAEC	60
3.2.2.3	Propostas de Alteração do MAEC.....	65
3.2.2.4	Limitações do Método MAEC	67
3.3	Recapitulação das Metodologias	68
4	Ensaio para Avaliação de Estruturas Existentes	70
4.1	Ensaio Destrutivos	70
4.1.1	Extração de Testemunhos.....	70
4.1.2	Testes de Impacto de Concreto.....	74
4.1.3	Ensaio Medida da Profundidade de Carbonatação	75
4.2	Ensaio Não Destrutivos.....	77
4.2.1	Pacômetro	77
4.2.2	Esclerômetro	77
4.2.3	Ultrassom.....	79
4.2.4	Ensaio de “ <i>Pull Off</i> ”	83
4.3	Aplicação de Ensaio em Metodologias Visuais.....	85

5	METODOLOGIA DA DISSERTAÇÃO.....	86
5.1	Coleta de Dados	86
5.2	Diferença dos Métodos Durante a Vistoria	87
5.3	Diferenças entre os Cálculos.....	88
5.4	Falsos positivos e falsos negativos	89
6	ESTUDOS DE CASO.....	91
6.1	Unidade Residencial – Brasília/DF	91
6.1.1	Vistoria	93
6.1.1.1	Fundações	93
6.1.1.2	Vigas	96
6.1.1.3	Pilares	100
6.1.1.4	Lajes	101
6.1.1.5	Reformas.....	101
6.1.2	Processamento dos Dados e Resultados	102
6.1.2.1	GDE Parametrizado	102
6.1.2.2	CEB Boletim nº 243	103
6.1.2.3	Alert-D.....	105
6.1.2.4	MAEC.....	106
6.1.2.5	NEN 2767	107
6.2	Pilares do Viaduto do Eixo Rodoviário Sul sobre a Galeria dos Estados 108	
6.2.1	Sistema Construtivo.....	109
6.2.2	Colapso da Estrutura.....	110
6.2.3	Vistoria	111
6.2.4	Resultados.....	114
6.2.4.1	GDE Parametrizado	114
6.2.4.2	CEB Boletim nº 243	119
6.2.4.3	Alert-D.....	125
6.2.4.4	MAEC.....	129
6.2.4.5	NEN 2767	134
6.3	Instituto Central de Ciência (ICC)	138
6.3.1	Construção do ICC	140
6.3.2	Vistoria	142
6.3.3	Resultados.....	148
6.3.3.6	GDE Parametrizado	149
6.3.3.7	CEB Boletim nº 243	150
6.3.3.8	Alert-D.....	152
6.3.3.9	MAEC.....	153
6.3.3.10	NEN 2767	155
7	COMPARAÇÕES	157
7.1	Edificação Residencial.....	157
7.2	Pilares do Viaduto	158
7.3	Pilares ICC	161
7.4	Comparações dos Ensaios em Inspeções Visuais	163
7.5	Discussão	166
8	CONCLUSÕES.....	170
8.1	Objetivos Alcançados	174
8.2	Trabalhos Futuros	176
	BIBLIOGRAFIA	177

Anexo A	186
----------------------	------------

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma para avaliação de estruturas existentes	8
Figura 2 - Processo de avaliação de condição	14
Figura 3 - Planejamento de manutenção usando metas de condição	18
Figura 4 - Fluxograma do método GDE/UnB	28
Figura 5 - Gráfico com valores do dano	39
Figura 6 - Modelo Tuutti Parametrizado $F_p = 1$	46
Figura 7 - Fluxograma das etapas do Alert-D	55
Figura 8 – Broca	71
Figura 9 - Broca de corte do núcleo	71
Figura 10 – Sequência do reparo da extração	74
Figura 11 – Teste de impacto	75
Figura 12 - Carbonatação	76
Figura 13 – Aplicação do esclerômetro	78
Figura 14 – Equipamento de ultrassom	80
Figura 15 – Medição direta	81
Figura 16 – Medição semidireta	81
Figura 17 – Medição indireta	81
Figura 18 – Superficial e parcialmente com núcleo	84
Figura 19 - Localização da casa	92
Figura 20 - Fachada Frontal	92
Figura 21 - Fachada Posterior	93
Figura 22 - Poços de inspeção	94
Figura 23 - Poço 1 - Blocos sobre tijolos cerâmicos	94
Figura 24 - Poço 3 - Blocos sobre tijolos cerâmicos	95
Figura 25 - Poço 2 - Bloco sob broca	95
Figura 26 - Sondagens	95
Figura 27 - Modelagem da estrutura	96
Figura 28 - Presença de corrosão nas armaduras das vigas	97
Figura 29 - Segregação do concreto da viga do subsolo	97
Figura 30 - Isopor na composição das vigas	98
Figura 31 - Fissuras nas vigas do teto subsolo	98
Figura 32 - Armaduras no cruzamento entre vigas	99
Figura 33 - Viga com flexão e viga com aparência normal	99
Figura 34 - Fissura de flexão (a) e cisalhamento (b)	100
Figura 35 - Armadura exposta (a) e esmagamento (b)	100
Figura 36 - Fissuras e deslocamento	101
Figura 37 - Escoramento dos pilares no subsolo	101
Figura 38 – Pilar do viaduto	109
Figura 39 – Localização do colapso	110
Figura 40 – Pilares do viaduto	111
Figura 41 – Infiltração	112
Figura 42 – Eflorescência e infiltração	112
Figura 43 – Deslocamento	113
Figura 44 – Corrosão da armadura	113
Figura 45 – Estrutura colapsada	114
Figura 46 - Divisões dos pilares do viaduto	114
Figura 47 – Gde Pilar 1 Lado A	115
Figura 48 - Gde Pilar 1 Lado B	116

Figura 49 - Gde Pilar 2 Lado A	116
Figura 50 - Gde Pilar 7 Lado A	117
Figura 51 - Gde Pilar 7 Lado B	118
Figura 52 - CRelemento Pilar 1 Lado A	120
Figura 53 - CRelemento Pilar 1 Lado B	121
Figura 54 - CRelemento Pilar 2 Lado A	121
Figura 55 - CRelemento Pilar 7 Lado A	122
Figura 56 - CRelemento Pilar 7 Lado B	123
Figura 57 - CRe Pilar 1 Lado A	125
Figura 58 - CRe Pilar 1 Lado B	126
Figura 59 - CRe Pilar 2 Lado A	126
Figura 60 - CRe Pilar 7 Lado A	127
Figura 61 - CRe Pilar 7 Lado B	128
Figura 62 - FG Pilar 1 Lado A	129
Figura 63 - FG Pilar 1 Lado B	130
Figura 64 - FG Pilar 2 Lado A	131
Figura 65 - FG Pilar 7 Lado A	131
Figura 66 - FG Pilar 7 Lado B	132
Figura 67 - Classificação da condição do Elemento Pilar 1 Lado A	134
Figura 68 - Classificação da condição do Elemento Pilar 1 Lado B	135
Figura 69 - Classificação da condição do Elemento Pilar 2 Lado A	135
Figura 70 - Classificação da condição do Elemento Pilar 7 Lado A	136
Figura 71 - Classificação da condição do Elemento Pilar 7 Lado B	137
Figura 72 - Campus da UnB	138
Figura 73 - Vista maquete (1962) - Oscar Niemeyer	139
Figura 74 - Localização ICC	140
Figura 75 - Entradas principais do ICC	141
Figura 76 - Esperas dos pilares	142
Figura 77 - Localização dos pilares do ICC	143
Figura 78 - Pilares BL: Falha de concretagem (a); manchas (b); deslocamento/corrosão das armaduras (c) e cobrimento deficiente (d)	144
Figura 79 - Pilares AO: Falha de concretagem (a); manchas (b); deslocamento (c) e cobrimento deficiente/ falha de concretagem (d)	146
Figura 80 - Pilares AL: Falha de concretagem (a); corrosão das armaduras (b); deslocamento/corrosão das armaduras (c) e cobrimento deficiente (d)	147
Figura 81 - Pilares BO: Corrosão das armaduras na base dos pilares	148

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Padrão holandês de escala de seis pontos para avaliação de condições de edifícios	13
Tabela 2 - Lista de componentes de construção	14
Tabela 3 - Defeitos em estruturas	16
Tabela 4 - Classificação da intensidade dos defeitos.....	16
Tabela 5 - Classificação da extensão dos defeitos.....	17
Tabela 6 – Matriz de classificações de condições resultantes para críticos, graves e leves defeitos	17
Tabela 7 – Matriz de prioridade de risco	19
Tabela 8 – Dados das Regulamentações.....	22
Tabela 9 – Classificação do Fator de Intensidade	24
Tabela 10 – Classificação do Fator de Relevância Estrutural	24
Tabela 11 – Valores de LIM.....	26
Tabela 12 – Classificação GR	26
Tabela 13 - Fator de Intensidade para cada Tipo de Dano	29
Tabela 14 - Classificação dos níveis de deterioração da estrutura	32
Tabela 15 - Alterações em relação dos danos.....	33
Tabela 16 - Alteração dos danos.....	34
Tabela 17 - Níveis de Deterioração de Elemento	37
Tabela 18 - Níveis de Deterioração da Estrutura.....	37
Tabela 19 - Tempo de intervenção de acordo com o nível de deterioração	37
Tabela 20 - Reformulações do GDE/UnB (2007)	38
Tabela 21 - Reformulação dos valores F_i	38
Tabela 22 - Novos valores de F_p	39
Tabela 23 - Valores de F_p para o dano de “Fissuras”	40
Tabela 24 - Valores de G_d	41
Tabela 25 - Valores de G_{de}	41
Tabela 26 - Fatores de relevância estrutural (F_r).....	42
Tabela 27 - Nível de deterioração do elemento e as recomendações de ações em função do valor de G_{de}	43
Tabela 28 - Nível de deterioração do elemento e as recomendações de ações em função do valor de G_d	43
Tabela 29 - F_r para estruturas metálicas	44
Tabela 30 - Planilha de avaliação de estruturas metálicas.....	44
Tabela 31 - G_{de} Parametrizado.....	46
Tabela 32 - Índice de fiabilidade de referência	47
Tabela 33 - Valores B_i	49
Tabela 34 - Valores K_{2i}	50
Tabela 35 - Valores K_{3i}	50
Tabela 36 - Valores K_{4i}	51
Tabela 37 - Valores α_R	52
Tabela 38 - Valores BR	53
Tabela 39 – Peso das Patologias.....	56
Tabela 40 – Valores dos Peso das Patologias	57
Tabela 41 – Valores de Classificação do Alert-D	60
Tabela 42 – Ponderações	62
Tabela 43 – Nível de Anomalia	63
Tabela 44 – Índice de Anomalia.....	64

Tabela 45	– Grau das gravidades da anomalia	65
Tabela 46	– Grau das extensões da anomalia	66
Tabela 47	– Dados das Metodologias	69
Tabela 48	– Tabela de fatores	88
Tabela 49	– Casa Brasília Gde Parametrizado	102
Tabela 50	– Fatores CEB	103
Tabela 51	– Valores de CEB das famílias e da estrutura global.....	104
Tabela 52	– Valores de Alet-D das famílias e da estrutura global	105
Tabela 53	– Valores de MAEC das famílias e da estrutura global.....	107
Tabela 54	– Valores de Norma Holandesa das famílias e da estrutura global	108
Tabela 55	– <i>Gd</i> dos Pilares do viaduto	119
Tabela 56	– <i>CRFamília</i> dos Pilares do viaduto	124
Tabela 57	– <i>CR_e</i> do Pilar 7 do viaduto	129
Tabela 58	– Resultado final MAEC Pilares do Viaduto.....	133
Tabela 59	– Resultado final da Norma Holandesa Pilares do Viaduto.....	137
Tabela 60	– Resultado final GDE dos Pilares	149
Tabela 61	– Resultado final CEB dos Pilares.....	150
Tabela 62	– Resultado final <i>BC_r</i> dos Pilares.....	152
Tabela 63	– Resultado final <i>FG</i> dos Pilares	153
Tabela 64	– Resultado final <i>FG</i> dos Pilares	155
Tabela 65	– Resultados das famílias e global comparados - unidade residencial	157
Tabela 66	– Resultados das famílias e global comparados Pilares do Viaduto.....	159
Tabela 67	– Resultados dos elementos comparados Pilares do Viaduto	159
Tabela 68	– Resultados das famílias e global comparados Pilares do Viaduto.....	161
Tabela 69	– Resultados dos elementos comparados Pilares do Viaduto	162
Tabela 70	– Massa específica de cada amostra de concreto	163
Tabela 71	– Dados dos ensaios do aço	164
Tabela 72	– Classificações dos níveis	172
Tabela 73	– Comparação dos graus de danos dos elementos	173
Tabela 74	– Comparação dos graus de danos dos elementos	174
Tabela 75	– Comparação dos graus de danos dos elementos	174
Tabela 76	– <i>Gde</i> das divisões do Pilar 1 e Pilar 2.	186
Tabela 77	– <i>Gde</i> das divisões do Pilar 7.	187
Tabela 78	– <i>CR_eelemento</i> do Pilar 1 e Pilar 2 do viaduto.....	188
Tabela 79	– <i>CR_eelemento</i> do Pilar 7 do viaduto.	189
Tabela 80	– <i>CR_e</i> do Pilar 1 do viaduto.....	190
Tabela 81	– <i>CR_e</i> do Pilar 2 do viaduto.....	190
Tabela 82	– <i>CR_e</i> do Pilar 7 do viaduto.....	191
Tabela 83	– <i>FG</i> do Pilar 1 e Pilar 2 do viaduto	192
Tabela 84	– <i>FG</i> do Pilar 7 do viaduto.....	193
Tabela 85	– Classificação da condição do Elemento do Pilar 1 e Pilar 2 do viaduto..	194
Tabela 86	– Classificação da condição do Elemento do Pilar 7 do viaduto.....	195

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Peso das famílias no método no GDE parametrizado na Casa Brasília ...	103
Gráfico 2 – Peso das famílias no método no CEB boletim 243 na Casa Brasília	105
Gráfico 3 – Peso das famílias no método no Alert-D na Casa Brasília.....	106
Gráfico 4 – Peso das famílias no método no MAEC na Casa Brasília.....	107
Gráfico 5 – Peso das famílias no método no Norma Holandesa na Casa Brasília	108
Gráfico 6 – Porcentagem <i>Gde</i> Pilar 1 Lado A.....	115
Gráfico 7 – Porcentagem <i>Gde</i> Pilar 1 Lado B.....	116
Gráfico 8 – Porcentagem <i>Gde</i> Pilar 2 Lado A.....	117
Gráfico 9 – Porcentagem <i>Gde</i> Pilar 7 Lado A.....	118
Gráfico 10 – Porcentagem <i>Gde</i> Pilar 7 Lado B.....	118
Gráfico 11 – Peso das famílias no método no GDE parametrizado nos Pilares do Viaduto	119
Gráfico 12 – Porcentagem <i>CRelemento</i> Pilar 1 Lado A.....	120
Gráfico 13 – Porcentagem <i>CRelemento</i> Pilar 1 Lado B	121
Gráfico 14 – Porcentagem <i>CRelemento</i> Pilar 2 Lado A.....	122
Gráfico 15 – Porcentagem <i>CRelemento</i> Pilar 7 Lado A.....	123
Gráfico 16 – Porcentagem <i>CRelemento</i> Pilar 7 Lado B	124
Gráfico 17 – Peso das famílias no método no CEB boletim 243 nos Pilares do Viaduto	125
Gráfico 18 – Porcentagem <i>CRe</i> Pilar 1 Lado A.....	126
Gráfico 19 – Porcentagem <i>CRe</i> Pilar 1 Lado B.....	126
Gráfico 20 – Porcentagem <i>CRe</i> Pilar 2 Lado A.....	127
Gráfico 21 – Porcentagem <i>CRe</i> Pilar 7 Lado A.....	128
Gráfico 22 – Porcentagem <i>CRe</i> Pilar 7 Lado B.....	128
Gráfico 23 – Peso das famílias no método no Alert-D nos Pilares do Viaduto	129
Gráfico 24 – Porcentagem <i>FG</i> Pilar 1 Lado A	130
Gráfico 25 – Porcentagem <i>FG</i> Pilar 1 Lado B.....	130
Gráfico 26 – Porcentagem <i>FG</i> Pilar 2 Lado A	131
Gráfico 27 – Porcentagem <i>FG</i> Pilar 7 Lado A.....	132
Gráfico 28 – Porcentagem <i>FG</i> Pilar 7 Lado B.....	132
Gráfico 29 – Peso das famílias no método no MAEC nos Pilares do Viaduto	133
Gráfico 30 – Porcentagem Classificação da condição do Elemento Pilar 1 Lado A	134
Gráfico 31 – Porcentagem Classificação da condição do Elemento Pilar 1 Lado B	135
Gráfico 32 – Porcentagem Classificação da condição do Elemento Pilar 2 Lado A	136
Gráfico 33 – Porcentagem Classificação da condição do Elemento Pilar 7 Lado A	136
Gráfico 34 – Porcentagem Classificação da condição do Elemento Pilar 7 Lado B	137
Gráfico 35 – Peso das famílias da Norma Holandesa nos Pilares do Viaduto	138
Gráfico 36 – Classificações das famílias no método no GDE parametrizado nos Pilares ICC	149
Gráfico 37 – Peso das famílias no método no GDE parametrizado nos Pilares ICC..	150
Gráfico 38 – Classificações das famílias no método no CEB nos Pilares ICC.....	151
Gráfico 39 – Peso das famílias no método no CEB nos Pilares ICC	151
Gráfico 40 – Classificações das famílias no método Alert-D nos Pilares ICC	152
Gráfico 41 – Peso das famílias no método Alert-D nos Pilares ICC.....	153
Gráfico 42 – Classificações das famílias no método MAEC nos Pilares ICC	154

Gráfico 43	– Peso das famílias no método MAEC nos Pilares ICC.....	154
Gráfico 44	– Classificações das famílias no método MAEC nos Pilares ICC	155
Gráfico 45	– Peso das famílias no método MAEC nos Pilares ICC.....	156
Gráfico 46	– Resultados comparados dos pesos unidade residencial.....	158
Gráfico 47	– Resultados comparados dos resultados globais unidade residencial.....	158
Gráfico 48	– Resultados comparados dos pesos Pilares do Viaduto	160
Gráfico 49	– Resultados comparados dos resultados globais Pilares do Viaduto	161
Gráfico 50	– Resultados dos elementos comparados Pilares do Viaduto.....	162
Gráfico 51	– Resultados comparados dos resultados globais Pilares do Viaduto	163

LISTA DE ABREVIACOES

AASHO: Associação Americana de Oficiais de Rodovias Estaduais
ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI: *American Concrete Institute*
ASCE: *American Society of Civil Engineers*
BS: *British Standard*
CEB: *Comite Euro International Du Beton*
CEN: *European Committee for Standardisation*
CEPLAN: Centro de Planejamento Oscar Niemeyer
DF: Distrito Federal
FIB: *Fédération Internatinal du Béton*
FUNDATEC: Fundação Universidade Empresa de Tecnologia e Ciência
GDE: Grau de Deterioração de Estruturas
ICBO: *International Conference of Building Officials*
ICC: Instituto Central de Ciência
ISO: *International Organization for Standardization*
LEME: Laboratório de Ensaio e Modelos Estruturais
LNEC: Laboratório Nacional de Engenharia Civil
MAEC: Método de Avaliação de Estado de Conservação de Imóveis
NB: Normas Brasileiras
NBIP: *National Bridge Inspection Program*
NBIS: *National Bridge Inspection Standards*
NBR: Norma Técnica brasileira
NEN: *The Royal Netherlands Standardization Institute*
NSE: *Normas de Seguridad Estructural*
OAE: Obras de Arte Especiais
SEI: *Structural Engineering Institute*
SPT: *Standard Penetration Test*
UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UnB: Universidade de Brasília
NOVACAP: Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil DER: Departamento de Estradas de Rodagem

LISTA DE SÍMBOLOS

FI	fator de intensidade;
FR	fator de relevância;
FG	fator de gravidade;
GRE	grau de risco do elemento;
GRF	grau de risco da família;
n	número de elementos de componentes da família;
GR	grau de risco da estrutura;
FR	fator de relevância estrutural;
D	grau de dano;
F_p	fator de ponderação do dano;
G_{de}	grau de deterioração da família de elementos;
G_{df}	grau de deterioração de uma família;
F_r	fator de relevância estrutural de uma família;
G_d	grau de deterioração da estrutura;
V_D	valor do tipo de dano;
B_i	valor básico associado ao tipo de dano;
K_{1i}	fator do membro estrutural;
K_{2i}	fator de intensidade/grau de dano;
K_{3i}	fator de extensão da propagação do tipo de dano;
K_{4i}	fator enfatizando a urgência;
CR	classificação da condição;
V_D	dano calculados para a estrutura;
$V_{D,ref}$	referência dos valores de dano que poderia potencialmente ocorrer na mesma estrutura;
B_R	fator de redução da capacidade;
V_R	coeficiente de variação da resistência;
SD_d	cálculo do valor de cada dano;
v_i	pesos dos critérios;
w_{ij}	pesos das alternativas;
Cr_e	classificação da condição de criticidade;

CCr_f	condição da família do elemento;
S_{tot}	área construída total;
BCr	grau de deterioração;
IA	índice de anomalias;
Pt_i	pontuação do elemento;
Pd_i	ponderação do elemento;
FG_i	fator multiplicativo da gravidade;
FE_i	fator multiplicativo da extensão.

Letras gregas

δ	coeficiente de majoração;
β	índice de confiabilidade dos elementos, famílias e estrutura;
φ	nível de confiabilidade do elemento;
Φ	fator de deterioração da força;
α_R	fator de deterioração;
β_C	coeficiente de confiabilidade;
γ_k	avaliação aproximada do número dos elementos considerados por metro quadrado;
γ_b	avaliação aproximada do número dos elementos por metro quadrado.

1 INTRODUÇÃO

As estruturas de concreto armado existentes, quando seus projetos são bem feitos, bem executados e com uma boa manutenção, têm garantia contra as ações físicas, químicas e térmicas que levam essas estruturas a degradarem mais rapidamente e, como consequência, a diminuição do tempo de vida útil da edificação. Com esse conhecimento, estudos no meio acadêmico e técnico preocupam-se em compreender e como quantificar as deteriorações em estruturas de concreto armado, para acompanhar o desempenho da estrutura às ações atuantes.

Nos Estados Unidos, os estudos sobre o uso de inspeções visuais se iniciaram no início do século XX com a *International Conference of Building Officials* (ICBO), sendo estabelecidas devido às investigações que aconteceram por causa de terremotos que ocorreram no sul da Califórnia que resultaram em diversos danos em edificações locais. Posteriormente, no final da década de 1950, ocorreu um aumento de construções de pontes, porém, no mesmo período, não foi realizado um esforço para realizar inspeções e manutenções preventivas. Como consequência, no final dos anos 1960, após o colapso da ponte Silver Bridge, ocasionado por causa de uma fissura gerada devido a uma falha de fabricação, com ferrugem incrustada nela, se iniciou o debate para inspeção de pontes. No ano de 1968, após essa tragédia, o congresso estadunidense aprovou a *National Bridge Inspection Standards* (NBIS) que fez com que os órgãos estaduais de rodovias inspecionassem suas pontes a cada dois anos e apresentassem os resultados das inspeções. Em 1970, as primeiras regulações sobre inspeções começaram a serem estabelecidas com o *National Bridge Inspection Program* (NBIP) pela instituição da Associação Americana de Oficiais de Rodovias Estaduais (AASHO) (FU, 2005; KAHLER; KANAPICKI, 2012; WITCHER, 2017).

A inspeção detalhada em pontes e viadutos visa levantar os subsídios necessários e satisfatórios para a elaboração de um diagnóstico e prognóstico precisos, para isso, o uso de vários testes e inspeções são necessárias. Em seu trabalho, Pacheco *et al* (2016), após análise de algumas normativas, levantou os requisitos mínimos para as vistorias, devidamente descritos como segue:

- a) Inspeção para levantamento do estado dos elementos estruturais, juntas de dilatação, drenagem do piso e seções de células, rodas de bagagem, guarda-corpos e calçada;
- b) Análise de todos os aterros existentes, presença de degraus no pavimento, recalques, erosão e drenagem dos taludes laterais;
- c) Registo fotográfico dos principais elementos estruturais e suas anomalias;
- d) Análise da estrutura, se há sobrecarga em seus elementos estruturais;
- e) Verificação da adequação ao gabarito exigido e, no caso de rios, a área disponível para escoamento;
- f) Teste e caracterização do concreto: extração de testemunhos, ensaios de *pull-off*, espessura de carbonatação, reconstituição da mistura de concreto, teor de cloreto, teor de umidade de equilíbrio, teor de sal solúvel, resistividade elétrica, ultrassom, martelo de rebote, termografia, georadar, radiografia, paquometria, absorção e volume vazio, resistência à compressão, módulo de elasticidade, pH da solução presente nos poros intersticiais e a concentração de cloro e grupos hidroxila no extrato aquoso;
- g) Ensaios e caracterização de armaduras: diâmetro e tipo, eventual perda de massa e diâmetro, composição química, resistência à tração e dobramento;
- h) Ensaios no sistema concreto-reforço-ambiente: potencial de corrosão e resistência à polarização.

Consequentemente, conforme Strauss *et al* (2010), diversos pesquisadores (AKTAN *et al.*, 1997; BANAN; HJELMSTAD, 1994a, 1994b; BECK; YUEN, 2004; BROWNJOHN; XIA, 2000; BROWNJOHN *et al.*, 2003; CATBAS; BROWN; AKTAN, 2006; SANAYEI *et al.*, 2006; SOHN; CZARNECKI; FARRAR, 2000) propuseram diferentes procedimentos de identificação estrutural para caracterizar o desempenho estrutural.

No Brasil, os estudos sobre as avaliações de estruturas de concreto, nas últimas décadas, vêm sendo aprimorado, com a divulgação de desabamento total ou parcial dessas estruturas a exemplo do Edifício Areia Branca¹ em Jaboatão dos Guararapes (PE), em 2004; do Viaduto da Galeria dos Estados em Brasília, em 2018; e do Edifício Andrea² em Fortaleza (CE), em 2019. Inspeções e/ou ações preventivas poderiam ter evitado os acidentes mencionados anteriormente.

A cidade de Brasília começou a ser construída no ano 1956 e sua inauguração foi no ano de 1960, com isso, muitas construções da capital alcançaram a vida útil de projeto estimado pela norma NBR 6118 (2014), por volta de 50 anos, sendo recomendado uma inspeção mais profunda para definir o estado de conservação atual, porém, mesmo com o valor estimado, a quantidade de anos para a duração da construção pode alcançar e superar os anos previstos. Assim, mesmo cumprindo os 50 anos previstos para uma edificação não é preciso mudar a atitude perante a estrutura, ela pode ter potencialmente mais problemas, mas não é no dia que a estrutura cumpre a vida útil de projeto que as adversidades se iniciam. E até mesmo estruturas que não alcançaram os anos estipulados podem apresentar complicações. Os desabamentos que aconteceram na cidade, como o teto da garagem que cedeu do prédio da SQN 210 Bloco C, em 2018, e o supracitado Viaduto da Galeria dos estados chamaram a atenção da população para a importância de uma vistoria da estrutura.

O objetivo de inspeções especializadas estruturais é o diagnóstico do estado de conservação atual das estruturas analisadas, o qual é realizado via inspeção visual, ensaios de métodos destrutivos e não destrutivos e modelagem numérica que auxiliam na busca pelo resultado final. Para este diagnóstico, considera-se um conjunto de sintomas, mecanismos, causas potenciais e origem dos problemas patológicos de uma estrutura. Outro ponto importante para a formulação do diagnóstico, além da inspeção visual, é a realização de uma anamnese do problema por meio da coleta de informações orais e do levantamento de toda a documentação disponível sobre a obra, como plantas,

¹ <http://www.impresso.diariodepernambuco.com.br/noticia/cadernos/vidaurbana/2014/10/areia-branca-dez-anos-de-uma-tragedia.html>

² <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2019-10/predio-residencial-desaba-em-bairro-de-classe-media-de-fortaleza>

especificações técnicas, trabalho diário, relatório de ensaio, entre outros (PACHECO; CARVALHO; HELENE, 2016).

Para uma vistoria ser validada, é de suma importância que os avaliadores tenham conhecimento técnico consolidado sobre as patologias, pois uma inspeção visual é altamente dependente da experiência do inspetor. Todas as inspeções estão sujeitas a incertezas, mesmo sendo difícil quantificá-las, vistoriadores, projetistas, engenheiros e arquitetos estão cientes de algum nível de subjetividade inerente a todos os diagnósticos associados ao inspetor, bem como da vulnerabilidade e imprevisibilidade dos resultados decorrentes de recomendações e decisões (AGNISARMAN *et al.*, 2019; DIAS; FLORES-COLEN; SILVA, 2021; PEREIRA *et al.*, 2021)

A avaliação das estruturas existentes está se tornando uma tarefa de engenharia cada vez mais importante e frequente. O uso contínuo das estruturas existentes é de grande importância, devido aos ativos ambientais, econômicos e sociopolíticos que aumentam a cada ano. Estes aspectos são particularmente relevantes para os edifícios antigos que agregam sempre um grande valor histórico, social e econômico. É por isso que a avaliação de estruturas existentes, muitas vezes, requer a aplicação de métodos sofisticados (HOLICKÝ; SÝKORA, 2019).

A investigação de uma estrutura existente tem como objetivo verificar e atualizar o conhecimento sobre o estado atual de uma estrutura em relação a uma série de aspectos. Frequentemente, a primeira impressão da condição estrutural será baseada na investigação qualitativa visual. A descrição de possíveis danos à estrutura podem ser apresentada em termos verbais, como, por exemplo: desconhecido, nenhum, menor, moderado, severo, destrutivo. Muitas vezes, a decisão com base em tal observação será feita por especialistas de uma forma intuitiva (HOLICKÝ; SÝKORA, 2019).

Outro ponto relevante de uma vistoria é a qualidade da informação, pois, sem informações quantitativas relevantes coletadas pelos inspetores, os dados qualitativos fornecem apenas informações limitadas e podem ser considerados irrelevantes. Durante a inspeção, o primeiro passo é que o vistoriador observe a estrutura e registre o seu nível de dano, parece ser uma tarefa simples, porém, se torna muito difícil, perigosa e custosa, quando a estrutura está em um formato complexo. Por isso, é necessário que o inspetor siga um

padrão para as manifestações patológicas que a vistoria precisa. Assim, a inspeção visual não é um método preciso, mas pode fornecer rapidamente informações gerais sobre um caso (AGNISARMAN *et al.*, 2019; PENG *et al.*, 2017; TUUTTI, 1982).

A próxima parte para a conservação da estrutura é a realização de uma inspeção detalhada no local, acompanhada por uma análise laboratorial em amostras retiradas da estrutura. Inspeções são designadas especialmente para detecção e investigação de processos de deterioração da edificação (PACHECO; CARVALHO; HELENE, 2016).

Segundo Branco e de Brito (2004 *apud* RASHIDI; GIBSON, 2011), a precisão da avaliação das condições depende muito da qualidade da inspeção. Historicamente, a inspeção de estruturas existentes foi considerada uma prioridade secundária. As inspeções eram geralmente feitas em consequência de avisos recebidos de fontes, muitas vezes, externas ao sistema da rede da ponte, ou como resultado de uma inadequação evidente da ponte que não lhe permitia cumprir a função esperada.

Compreender os métodos de avaliação de estruturas existentes de concreto armado, como estes podem ser aplicados para cada caso estudado com os seus pontos fortes e fracos para tipologias de estruturas, e, assim, poder indicar o método de reabilitação mais adequado para cada situação. Nesse sentido, este trabalho tem como finalidade indicar os métodos de avaliação visual de estruturas e suas limitações.

1.1 Objetivos

Este item apresenta os objetivos gerais e específicos para o trabalho.

1.1.1 Objetivo geral

Esta dissertação faz um trabalho comparativo de diferentes métodos de avaliação de condição de construções existentes em concreto armado com foco no levantamento de características de cada método. Os métodos escolhidos para a aplicação deste presente estudo são de origem brasileira e estrangeira, que quantificam a degradação das estruturas. As metodologias serão aplicadas em diferentes tipologias de estruturas de

concreto armado e como ocorre a utilização de cada um, sendo mostrada desde a vistoria até o resultado final do grau de deterioração da estrutura.

1.1.2 Objetivos específicos

Para encontrar o objetivo geral, serão estudados os objetivos específicos listados a seguir:

- Aplicação dos cálculos dos métodos para o resultado das famílias e da estrutura;
- Aplicação das metodologias selecionadas em tipologias diversas, localizadas na cidade de Brasília;
- Comparação das diferenças da quantificação do dano para cada metodologia;
- Comparação de como cada método orienta o vistoriador para encontrar o resultado final;
- Comparação de como cada método descreve os seus resultados e como orienta a tomada de decisão;
- Definição de como cada método define as prioridades das construções.

2 REGULAMENTOS EXISTENTES

Será apresentado, neste capítulo, os materiais necessários com os temas mais relevantes para se compreender a avaliação das estruturas, com os tópicos de regulamentos já existentes em outros países sobre estruturas de concreto armado.

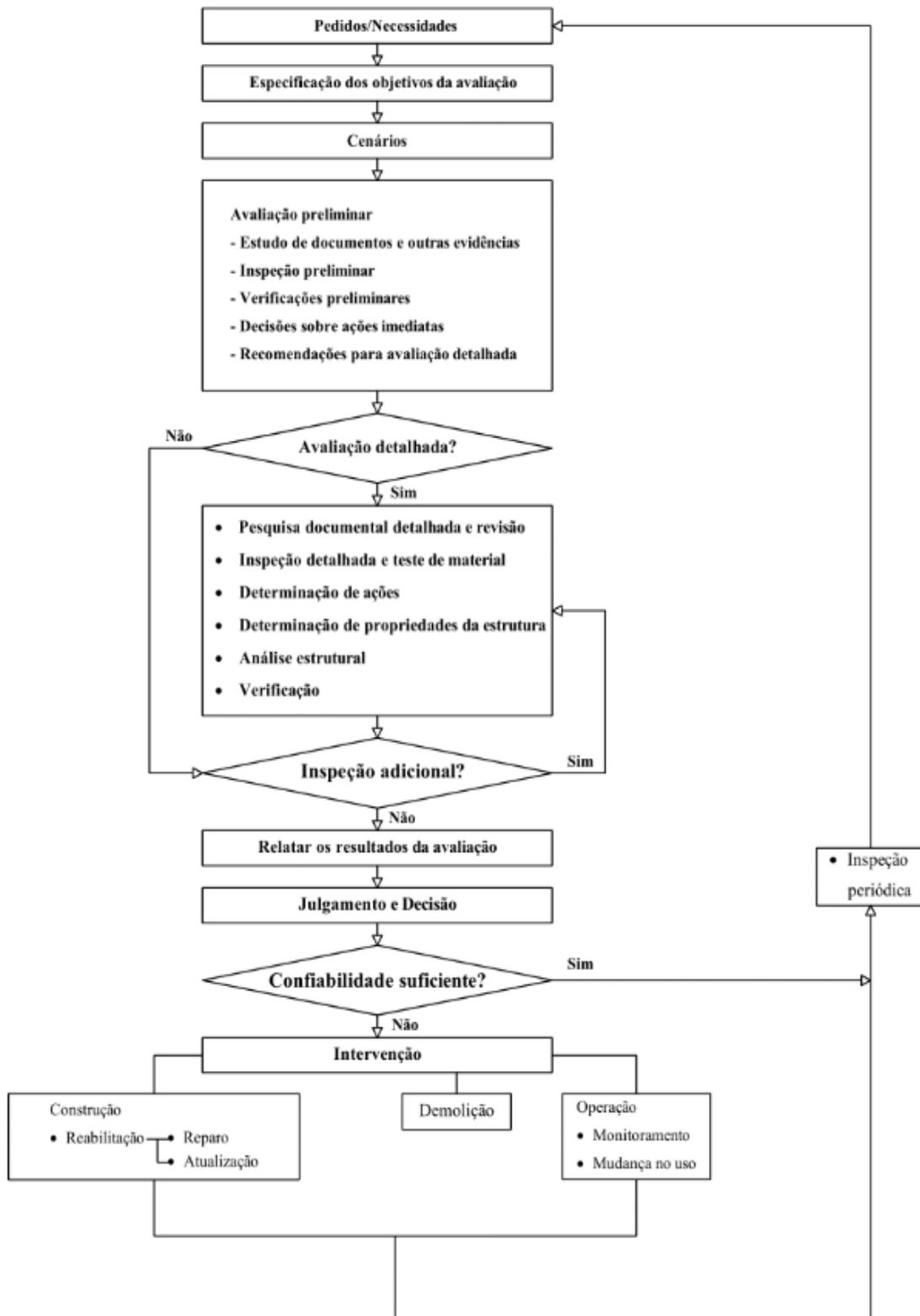
2.1 ISO 16311

No Brasil, não há nenhuma norma vigente que venha regulamentar a avaliação de estruturas existentes de concreto armado. Uma das normas geradas para a padronização dessas avaliações é a ISO 16311 parte 2 (2014) que descreve de forma geral requisitos e procedimentos necessários para a avaliação de uma estrutura de concreto. Nela é incluso um sistema para a avaliação, uma formatação para a documentação da inspeção da condição da estrutura da edificação avaliada e o nível de dedução, bem como uma formatação para a documentação do desempenho da avaliação com a verificação do funcionamento específico da estrutura. Ainda, segundo essa norma, a avaliação pode ser iniciada por quatro razões, mas não se limitando somente a elas:

- a) Uma alteração do uso ou a extensão da vida útil de projeto;
- b) Deterioração estrutural devido a ações dependentes do tempo;
- c) Verificação de segurança e/ou manutenção de edificações, conforme exigido pelas autoridades, companhias de seguros, proprietários etc.;
- d) Danos estruturais por ações acidentais.

O sistema da avaliação pela norma ISO 16311 parte 2 (2014) é complementada pela ISO 13822 (2010), porém focado para estruturas de concreto. A Figura 1 demonstra, segundo a norma, como pode ser realizada a avaliação de uma edificação.

Figura 1 - Fluxograma para avaliação de estruturas existentes



Fonte: ISO 16311 parte 2 (2014).

2.2 ACI 201.1R

Nos Estados Unidos, é possível encontrar algumas normativas para avaliação de estruturas existentes de concreto, dentre as quais as desenvolvidas pela *American Concrete Institute* (ACI) e *American Society of Civil Engineers* (ASCE).

A ACI 201.1R (2008) é uma norma guia de inspeção visual para estruturas de concreto existentes, com a intenção de identificar e definir as variadas formas de condições em que o concreto possa exibir durante a vida de útil. A norma informa que, na inspeção visual, há uma limitação, pois está apenas restrito a superfícies que são visualmente acessíveis.

A norma desenvolvida pela ACI indica também que os indivíduos que conduzem a inspeção visual devem selecionar os itens importantes para as preocupações específicas relacionadas aos motivos das inspeções. Com os dados obtidos com a inspeção completa, um relatório final deve ser preparado, sendo necessária a inclusão de, no mínimo, os seguintes itens:

- a) Nomes dos profissionais que conduziram a inspeção;
- b) Propósito da inspeção;
- c) Lista dos documentos existentes sobre a estrutura;
- d) Tipo, idade, localização e descrição geral da estrutura;
- e) As técnicas de inspeção aplicadas;
- f) Observações feitas em campo e a extensão da estrutura inspecionada;
- g) Testes aplicados em campo e os dados coletados, se aplicável;
- h) Conclusões e recomendações; e
- i) Fotografia e *sketches* comentados.

2.3 SEI/ASCE 11

A outra norma americana é a SEI/ASCE 11 (1999) que dispõe sobre as diretrizes para avaliação das condições estruturais de edifícios existentes, em cujos capítulos são especificados como as avaliações de condição devem ser aplicadas para cada tipo de material utilizado para a estrutura. A avaliação preliminar deve proceder de forma a obter os dados iniciais para estimar a adequação da estrutura existente e, assim, estabelecer qual a necessidade e a prioridade de uma análise mais detalhada. De forma simples, a avaliação deve decorrer com pelo menos as seguintes etapas:

- a) Revisão dos documentos disponíveis;
- b) Inspeção do local;
- c) Análise preliminar;
- d) Conclusões preliminares e recomendações.

Nesta norma, nos capítulos direcionados para as estruturas de concreto, diz que uma avaliação adequada para esse material pode exigir determinações de resistência e qualidade, de forma a conseguir revelar a capacidade do concreto de sustentar cargas e condições ambientais em que se encontra. A condição de uma estrutura de concreto, no momento da avaliação, pode ser obtida via uma vistoria visual em conjunto com ensaios e testes computacionais.

2.4 NSE 6-10 (2001)

Nos países da América Latina, há uma preocupação maior com a avaliação das estruturas voltadas para terremotos, para avaliá-los antes e depois do abalo sísmico. Na Guatemala, há uma norma específica para os requisitos da avaliação de obras existentes para a diminuição de riscos – NSE 6-10 (2001) cujo objetivo é determinar se uma edificação está segura e quais são as anomalias encontradas nas estruturas. De acordo com essa

norma, o procedimento que deve ser feito após um evento sísmico é dividido em três etapas:

- a) 1ª etapa – Avaliação Rápida, que consiste em uma inspeção visual das edificações a serem analisadas e de forma rápida verificar a segurança da estrutura, classificando-as como seguras, potencialmente perigosas (com entrada limitada) ou inseguras;
- b) 2ª etapa – Avaliação Detalhada, sendo uma avaliação mais minuciosa que a anterior, também classificando a estrutura como segura, potencialmente perigosa (com entrada limitada) ou insegura;
- c) 3ª etapa – Avaliação de Engenharia, esta deve ser solicitada pelo proprietário da edificação e deverá ser realizada por um engenheiro estrutural. Este estudo incluirá uma pesquisa detalhada, localização dos danos, cálculos estruturais e uma avaliação quantitativa dos danos à estrutura.

O procedimento recomendado pela NSE 6-10 (2001) é de que a avaliação deverá ocorrer nas primeiras horas depois de um terremoto, com o uso da Avaliação Rápida. As edificações que obtiveram a sua segurança questionada e estão com a entrada limitada deverão ser sujeitas à Avaliação Detalhada, que deverá ser realizada poucos dias depois da Avaliação Rápida. Se o resultado da estrutura ainda permanecer como insegura, deverá ser feita a Avaliação de Engenharia, antes que a estrutura que tenha sido classificada como segurança questionável seja novamente colocada em serviço.

2.5 NEN 2767

No ano de 2002, o *Dutch Government Buildings Agency* (Agência de Edifícios do Governo Holandês) decidiu desenvolver um método de avaliação de conservação de componentes e de instalações com a intenção de padronizar a avaliação de condições dos edifícios durante a vistoria realizada por inspetores profissionais, assim como melhorar e facilitar a troca de informações entre os administradores dos imóveis e as organizações, o *Dutch Standard* (Padrão Holandês). A norma NEN 2767, publicada em 2006, aderiu ao processo de avaliação de condição usando uma escala de seis pontos. A maioria dos métodos de avaliação de condição variam quanto à classificação hierárquica de

componentes de construção, defeitos classificados e o uso de parâmetros de condição (MARTINATTI, 2021; STRAUB, 2002, 2009; VILHENA, 2011).

O propósito desta norma é uma avaliação objetiva da qualidade técnica para fornecer aos gerentes de propriedade informações inequívocas e confiáveis sobre o status técnico, com base nos defeitos avaliados. Esse método da norma inclui a aplicação de:

- Visualização da condição física;
- Controle das condições físicas;
- Comunicação sobre a condição física real avaliada e condição desejável (NEN, 2006).

Essa norma foi composta em três partes:

(1) Metodologia (NEN, 2006);

(2) Lista de falhas (NEN, 2008);

(3) Metodologia de agregação (NEN, 2009).

O método desenvolvido para a padronização das avaliações foi elaborado para ser realizado visualmente por inspetores treinados, usando alguns pequenos equipamentos e ferramentas de medição. O padrão é limitado à avaliação da condição. O planejamento da manutenção e a priorização do trabalho de manutenção não estão incluídos, embora sejam fornecidos alguns exemplos de como fazer isso. As atividades de manutenção não estão relacionadas às classificações de condição.

Como mencionado anteriormente, a escala utilizada por esse método é a de seis pontos, cujas categorias de condição são em ordem cronológica, que descrevem defeitos que podem ocorrer sem referências a trabalho corretivo. A Tabela 1 apresenta as descrições das classificações de condição.

Tabela 1 – Padrão holandês de escala de seis pontos para avaliação de condições de edifícios

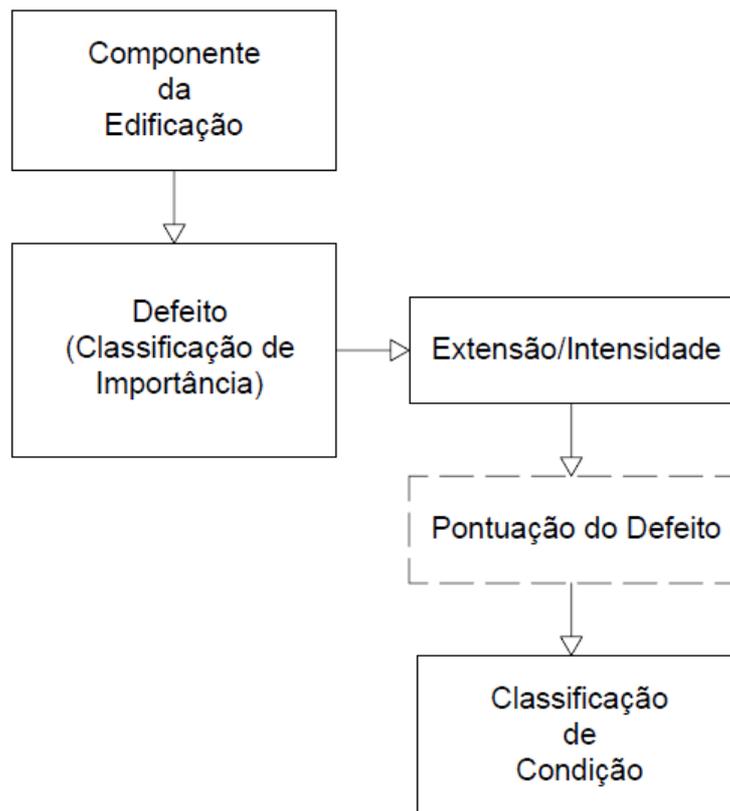
Classificação da Condição	Descrição geral da condição
1	Excelente
2	Bom
3	Razoável
4	Ruim
5	Grave
6	Intolerável

Fonte: Straub (2009).

Straub (2009) afirma que uma escala de seis pontos pode ser notável do ponto de vista psicológico. Já os psicólogos aconselham o uso de um número ímpar de itens em uma escala de julgamentos. Devido à capacidade humana limitada de processamento de informações, o número de classes deve ser sete, mais ou menos dois. A escala de seis pontos é uma relíquia do passado e tem a ver com a divisão da escala; ela não é linear, mas ordinal. Uma divisão de escala linear pressupõe uma relação linear entre as condições e a vida útil restante dos componentes do edifício. Na realidade, a condição e a vida útil de componentes e conjuntos discretos de construção serão diferentes. Uma divisão de escala ordinal significa que os valores que a variável pode ter podem ser classificados, mas seu significado não é unívoco. Um componente de construção na condição 3 não significa que é três vezes pior do que um componente na condição 1. A condição 1 da escala de seis pontos indica o valor superior da escala. Este valor absoluto não pode ser excedido. A condição 5 indica o valor inferior da escala. Essa condição ruim não é um valor absoluto. A condição 6 foi adicionada para distinguir uma situação muito ruim, o que significa que o componente já deveria ter sido substituído.

O processo de avaliação de condição da Norma Holandesa segue o padrão da Figura 2. O primeiro passo é a avaliação dos defeitos, pois sem esta informação não se poderia formular atividades de manutenção e/ou estimar custos. Posteriormente, o inspetor passa pelos seguintes parâmetros de condição: importância, intensidade e extensão dos defeitos. A extensão e a intensidade de um defeito, combinadas com a importância, levam a uma classificação de condição, provavelmente com uma pontuação de defeito como um produto intermediário.

Figura 2 - Processo de avaliação de condição



Fonte: Straub (2009).

Com a finalidade de obter uma avaliação visual objetiva, os inspetores de construção precisam de uma classificação claramente definida e hierárquica dos componentes do edifício. A lista de falhas é uma classificação hierárquica que influencia diretamente a classificação da importância dos defeitos (Tabela 2). A lista de componentes de construção cobre 80 a 90 por cento dos componentes de construção comuns em residências e imóveis. Em todos os outros casos, a estrutura fornecida para classificação de importância deve ser usada.

Tabela 2 - Lista de componentes de construção

1	TERRENO, SUBSTRUTURA	6	SERVIÇOS, PRINCIPALMENTE ELÉTRICOS
1.1	Preparação do solo	6.1	Abastecimento elétrico
1.3	Canteiro	6.2	Poder
1.6	Muros de contenção, fundações	6.3	Iluminação
1.7	Fundações de estacas	6.4	Comunicação
		6.5	Segurança
2	ELEMENTOS PRIMÁRIOS DA ESTRUTURA, CARÇAÇA	6.6	Transporte
2.1	Paredes externas	6.7	Instalações de monitoramento de edifícios
2.2	Paredes internas		

2.3	Andares	7	INSTALAÇÕES
2.4	Escadas e encostas	7.1	Instalações de trânsito
2.7	Telhados	7.2	Facilidades do usuário
2.8	Estruturas de construção	7.3	Instalações de processamento de alimentos
		7.4	Instalações sanitárias
		7.5	Instalações de manutenção
		7.6	Instalações de armazenamento
3	ELEMENTOS SECUNDÁRIOS, ABERTURAS	8	ACESSÓRIOS
3.1	Aberturas da parede externa	8.1	Ajustes de tráfego
3.2	Aberturas de parede interna	8.2	Acessórios do usuário
3.3	Aberturas de piso	8.3	Acessórios para processamento de alimentos
3.4	Balaustradas, corrimãos	8.4	Acessórios sanitários
3.7	Aberturas de telhado	8.5	Acessórios de manutenção
3.8	Sistema embutido	8.6	Acessórios de armazenamento
4	ACABAMENTOS	9	INSTALAÇÕES DE TERRA
4.1	Acabamentos de parede externa	9.0	Instalações terrestres
4.2	Acabamentos de parede interna		
4.3	Acabamentos de piso	0	INSTALAÇÕES DO PROJETO
4.4	Acabamentos de escada e declive	0-	Instalações do projeto
4.5	Acabamentos de teto		
4.7	Acabamentos de telhado		
4.8	Pacotes de acabamento		
5	SERVIÇOS, PRINCIPALMENTE MECÂNICOS		
5.1	Geração de calor		
5.2	Drenagem		
5.3	Água		
5.4	Gás		
5.5	Geração e distribuição de frio		
5.6	Distribuição de calor		
5.7	Tratamento do ar		
5.8	Monitoramento climático e sanitário		

Fonte: <http://nl-sfb.bk.tudelft.nl/eng.htm>

A importância do defeito indica quanto este influencia no funcionamento dos componentes do edifício. A norma classifica a importância dos defeitos de componentes distintos do edifício em menores, graves e críticos (Tabela 3). Defeitos críticos ameaçam significativamente o funcionamento do componente de construção. Geralmente, defeitos intrínsecos do material, como corrosão e apodrecimento da madeira, são defeitos que ameaçam a estrutura do edifício. Defeitos funcionais são aqueles que já estão associados a uma falha, defeitos graves estão gradualmente prejudicando o desempenho dos componentes da construção e defeitos nos acabamentos são classificados como defeitos menores.

Tabela 3 - Defeitos em estruturas

Importância	Tipo	Explicação
Crítico	Funcional Básico Básico da Construção Material intrínseco Qualidade relacionada aos componentes principais	Defeitos críticos prejudicam diretamente o funcionamento do componente da construção
Grave	Funcional de menor importância Estrutural de menor importância Superfície do material Qualidade e envelhecimento de componentes secundários	Defeitos graves significam degradação de um componente de construção, sem prejudicar diretamente seu funcionamento
Leve	Manutenção * Acabamento Qualidade básica e envelhecimento dos componentes terciários Deterioração **	Defeitos menores não prejudicam a função de componentes de construção

*Manutenção: as ações de manutenção destinadas a manter o componente de construção em execução não foram executadas

** Deterioração: avaliação de condições com base na vida teórica de serviço do componente de construção; isso pode ser aplicado se a condição não puder ser avaliada visualmente

Fonte: Straub (2009).

A intensidade dos defeitos influencia fortemente na condição dos componentes da edificação, pois lida com o processo de degradação. As manifestações patológicas de envelhecimento, como defeitos intrínsecos do material e defeitos envolvendo a superfície do material, desenvolvem-se ao longo de um certo período e irão ocorrer em várias intensidades. Entretanto, os defeitos causados por calamidades ocorrem em apenas um estágio. Esse item é dividido em três classes (Tabela 4). A lista de falhas determina se as intensidades são aplicáveis a um componente de construção.

Tabela 4 - Classificação da intensidade dos defeitos

Classe de Intensidade	Nome	Descrição
Intensidade 1	Baixa	O defeito é dificilmente visível
Intensidade 2	Média	O defeito está progredindo
Intensidade 3	Alta	O defeito não pode progredir mais

Fonte: Straub (2009).

Outro ponto de avaliação de uma edificação, além da análise da intensidade dos defeitos, é a extensão das manifestações patológicas, necessária para avaliar a condição. Surgem questões metodológicas sobre quantas classes são gerenciáveis pelos inspetores de construção e quantas classes são úteis para vincular as atividades de manutenção à extensão dos defeitos do elemento que é afetado pela anomalia. Estimar a extensão e

escolher a classe apropriada é difícil, mesmo para inspetores de construção mais experientes; e as dificuldades para fazer isso também dependem do defeito envolvido. Pode-se diferenciar os defeitos gerais de envelhecimento, normalmente cobrindo todo o componente do edifício, de defeitos localizados. No caso de defeitos gerais de envelhecimento, a intensidade de um defeito corresponde à condição. Para a Norma Holandesa, o padrão definido foi dividido em cinco níveis de extensão (Tabela 5).

Tabela 5 - Classificação da extensão dos defeitos

Classe de Extensão	Porcentagem	Descrição
Extensão 1	< 2%	O defeito ocorre incidentalmente
Extensão 2	2 % - 10 %	Os defeitos ocorrem localmente
Extensão 3	10 % - 30 %	Os defeitos ocorrem regularmente
Extensão 4	30 % - 70 %	Os defeitos ocorrem com frequência
Extensão 5	≥70 %	O defeito ocorre geralmente

Fonte: Straub (2009).

A extensão e a intensidade dos defeitos, combinadas com a importância do defeito, levam a uma classificação de condição. A Tabela 6 fornece as matrizes para defeitos críticos, graves e leves, respectivamente.

Tabela 6 – Matriz de classificações de condições resultantes para críticos, graves e leves defeitos

Intensidade	Críticos					Graves					Leves				
	Extensão					Extensão					Extensão				
	< 2%	2% a 10%	10% a 30%	30% a 70%	≥ 70%	< 2%	2% a 10%	10% a 30%	30% a 70%	≥ 70%	< 2%	2% a 10%	10% a 30%	30% a 70%	≥ 70%
1 Baixa	1	1	2	3	4	1	1	1	2	3	1	1	1	1	2
2 Média	1	2	3	4	5	1	1	2	3	4	1	1	1	2	3
3 Alta	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	1	1	2	3	4

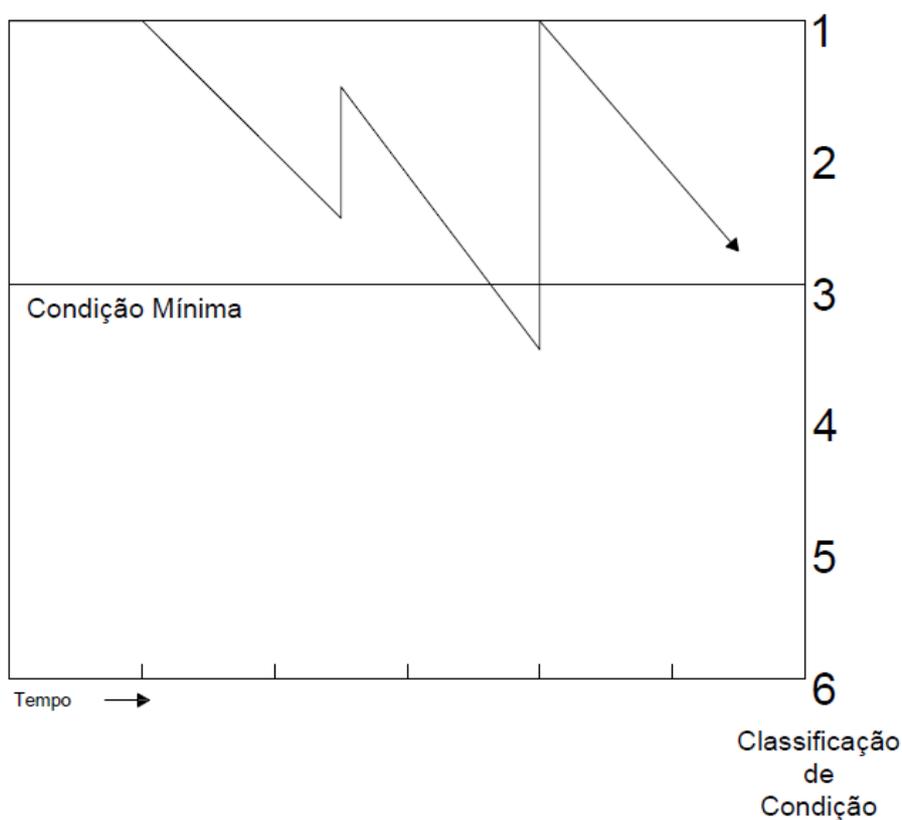
Fonte: Straub (2009).

Os componentes da edificação podem apresentar mais de um defeito. Por isso, a norma oferece duas opções de como calcular uma classificação de condição resultante. Outra opção é usar uma “pontuação de defeito” com base na intensidade e extensão de um defeito (Figura 2). Um registro de pontuações de defeitos é recomendado para monitorar o desenvolvimento de um defeito entre as pesquisas de condição subsequentes.

A formulação dos níveis de desempenho de manutenção, na manutenção planejada, envolve deliberação sobre a perda máxima de desempenho, atividades de manutenção adequadas e os meios financeiros disponíveis. As atividades de manutenção podem ser

distinguidas de acordo com o tipo (limpeza, reparo e substituição), a parte do componente de construção à qual uma atividade se aplica, a especificação de materiais, a quantidade de trabalho, a frequência de ações de manutenção preventiva cíclica curta e a natureza de uma atividade (preventiva ou corretiva). Os níveis de desempenho de manutenção podem ser baseados na condição mínima dos componentes do edifício, após a execução do trabalho de manutenção (Figura 3).

Figura 3 - Planejamento de manutenção usando metas de condição



Fonte: Straub (2009).

Para a prioridade de elementos da edificação, é estabelecido pela Agência de Edifícios do Governo Holandês o uso de uma matriz de prioridade de risco ao ajustar o estoque de manutenção anual para o orçamento disponível. Os riscos de defeitos de componentes de construção que não são resolvidos são avaliados em uma escala de três pontos. As categorias de risco avaliadas estão na Tabela 7.

Tabela 7 – Matriz de prioridade de risco

Risco	Prioridade								
	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Segurança e saúde									
Valor cultural e histórico									
Utilidade e negócios									
Dano de consequência a									
Aumento da manutenção da resposta									
Estética									

a deterioração adicional nos componentes avaliados ou outros

Fonte: Straub (2009).

A avaliação da condição, de acordo com a norma, deve ser utilizada como uma forma de ferramenta de gestão estratégica para as edificações. A avaliação não é recomendada a ser utilizada para a preparação do orçamento anual de manutenção e ao planejamento da obra. Outro ponto levantado para limitação do uso da norma é que a metodologia de avaliação de condição e os parâmetros de condição do padrão destinam-se à avaliação de propriedade em grande escala e que, para avaliação das condições de residências individuais, pode não ser tão efetivo (STRAUB, 2009).

Os pontos fracos da metodologia se iniciam com a limitação de apenas funcionar na edificação como um todo ou um conjunto edificado e não podendo ser aplicado em um único elemento, esta situação ocorre, pois um dos principais propósitos da norma é fazer a recolha de dados que possa definir e priorizar elementos e famílias que precisem de manutenções. Outra questão relacionada com a NEN 2676 é sua fórmula complexa do cálculo, sendo de grande importância para averiguação do estado de condição dos elementos, famílias e da estrutura global.

Uma das vantagens do método da NEN 2676 é como é feita a hierarquização dos elementos presentes na edificação, pois facilita que os inspetores proporcionem resultados com maior exatidão, fáceis modificações para aplicações de edificações específicas e assertividade na inspeção. Além disso, é de grande auxílio dos tomadores de decisão, uma vez que os resultados permitem gerar estratégias de intervenções.

2.6 FIB Boletim n° 62 (2012)

A norma FIB Boletim n° 62 foi desenvolvida na Europa no ano de 2012 pelas instituições CEB e FIP (*International Federation for Pre-Stressing*), normativa desenvolvida para comportamento, design e desempenho de estruturas de concreto. Neste boletim é apresentado um guia de inspeção visual para estruturas de concreto existentes que auxilia engenheiros e arquitetos para a tomada de decisão quanto à condição da estrutura.

No manual é informado o quanto a avaliação da condição da estrutura é uma interação complexa entre dados e informações de uma série de fontes. Os itens abaixo são os materiais mínimos que precisam ser recolhidos para a avaliação de estrutura, como informa a FIB Boletim n° 62 (2012):

- Dados de documentos existentes, incluindo a documentação da finalização do fim da construção e de sua entrega etc., se disponíveis;
- Dados estruturais, ambientais e de serviço;
- Dados de inspeções visuais e pesquisas, incluindo monitoramento;
- Dados de testes de laboratório, testes *in situ* e programas de investigação.

Durante a inspeção, o vistoriador precisa compreender algumas ou todas as seguintes atividades:

- Compreender o planejamento das atividades de avaliação, envolvendo a recolha de informação sobre o histórico da estrutura, realização de uma primeira visita ou de reconhecimento, programação das atividades, elaboração de proposta e estabelecimento de relação contratual adequada com o cliente / proprietário;
- Inspeção de rotina (inicial, de rotina, detalhada e extraordinária), consistindo em inspeção visual, teste básico, simples avaliação / avaliação de condições e relatórios; bem como planejar uma investigação detalhada, se necessário;

- Teste detalhado e investigação envolvendo exame e teste especial de materiais e fenômenos de deterioração para avaliação de segurança, durabilidade e previsão da evolução de deterioração / corrosão com o tempo;
- Testes e investigações especiais, incluindo potencialmente o desempenho da estrutura e testes de resposta;
- Monitoramento da estrutura e do seu ambiente em termos de cargas, ações e resposta geral ou de elementos selecionados da estrutura.

2.7 Recapitulação das Normas

A cada ano aumenta a necessidade de determinar alguma avaliação de estruturas que seja confiável e segura para edificações existentes, com a intenção de evitar ocorrências traumáticas que terão grande impacto na população, ter conservação do parque edificado, permitindo ainda manter a sua funcionabilidade e sua segurança.

Através das normas supracitadas, foi possível perceber três divisões, como forma de avaliação das estruturas: inspeção com condição de estruturas de concreto com o diagnóstico com apenas a coleta de dados, avaliação de condição em estruturas de concreto em situação de vulnerabilidade sísmica e avaliação de condição de edificações.

A normas, como as ISO 16311 parte 2 (2014), ACI 201.1R (2008), SEI/ASCE 11 (1999) e FIB Boletim n° 62 (2012), foram criadas exclusivamente para avaliações de estruturas de concreto. A ISO 16311 parte 2 (2014) descreve a forma de recolha de dados por meios de documentos, inspeção detalhada, determinação de propriedades da estrutura, análise estrutural e verificação; e depois da recolha e compilação das informações, é realizado o julgamento e a tomada de decisão. A norma não possui um cálculo de condição de estruturas, porém, o maior diferencial entre os demais métodos é que este tem uma seção para descrever se o diagnóstico da inspeção há confiabilidade. Já a ACI 201.1R (2008), SEI/ASCE 11 (1999) e FIB Boletim n° 62 (2012) possuem a forma de coleta de matérias, como na norma citada anteriormente.

A segunda forma de avaliação da condição em regiões que possuem sismo, representada pela a NSE 6-10 (2001), é realizada em sua aplicação nas estruturas de concreto pós-terremoto, com a finalidade de determinar a segurança da estruturas.

Por último, a Norma holandesa, NEN 2767, é uma norma de avaliação de edificações, a qual não foi desenvolvida para ser utilizada unicamente para estrutura, no entanto, quando necessário, pode ser aplicada em apenas uma família de elementos estruturais. O diferencial dessa norma para as demais é que esta propõe quantificar os danos e, dessa forma, estabelecendo uma grandeza mensurável, é possível utilizá-lo no cálculo da norma. Os resultados gerados possibilitam uma classificação de condições que auxiliam na avaliação e no julgamento da situação da estrutura.

Os dados coletados pela bibliografia das regulamentações encontradas possuem pontos em comum importantes para a seleção delas para avaliação das estruturas existentes, no qual estão compiladas na Tabela 8.

Tabela 8 – Dados das Regulamentações

	ISO 16311	ACI 201.1R	SEI/ASCE 11	NSE 6-10	NEN 2767	FIB Boletim nº 62
País	Suíça	Estados Unidos	Estados Unidos	Guatemala	Holanda	Suíça
Ano	2014	2008	1999	2001	2006	2012
Instituição que desenvolveu:	<i>International Organization for Standardization</i>	<i>American Concrete Institute (ACI)</i> <i>American Society of Civil Engineers (ASCE)</i>	<i>American Society of Civil Engineers</i>	<i>Asociacion Guatemalteca de Ingenieria Estructural y Sismica</i>	<i>Dutch Government Buildings Agency</i>	<i>International Federation for Pre-Stressing</i>
Fluxograma para avaliação	X			X	X	
Relatório de apoio durante a inspeção	X	X	X	X	X	X
Cálculo de Condição					X	

Fonte: Próprio Autor.

3 METODOLOGIAS PARA AVALIAÇÃO DE ESTRUTURAS EXISTENTES

Neste Capítulo, estuda-se as metodologias usadas para a avaliação de estruturas de concreto armado, desde a forma que deve ser procedida a vistoria, a análise dos dados encontrados e o cálculo de degradação da estrutura.

3.1 Metodologias Voltadas para Estruturas

3.1.1 Klein *et al* (1991)

Segundo Laner (2001), o método desenvolvido pela Fundação Universidade – Empresa de Tecnologia e Ciência (FUNDATEC), na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), pela coordenação do Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais (LEME), estabeleceu critérios de valoração dos defeitos manifestados, equacionou os problemas de forma ponderada, pelo seu grau de importância, por meio de elementos agrupados que, por sua vez, tem seu peso na determinação do grau de risco da estrutura.

Klein *et al.* (1991) desenvolveram uma escala de classificação de estruturas, a saber: Baixo, Médio, Alto e Crítico. A partir dessa classificação, foi possível dimensionar a próxima etapa dos trabalhos que correspondeu a uma análise mais aprofundada das obras com problemas severos, com a finalidade de elaborar projetos de recuperação estrutural.

A metodologia desenvolvida por Klein *et al.* (1991) para a realização das vistorias, com os critérios para a divisão das obras em seus componentes e definições dos parâmetros empregados no cálculo do grau de risco, foi apresentada na XXV jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural, no ano de 1991.

Para essa metodologia, Laner (2001) destaca a necessidade de, durante a inspeção visual, fazer um levantamento de fissuras e documentação fotográfica da obra e seu estado de conservação, e das principais ocorrências observadas. Após as inspeções, a estrutura é subdividida em seus elementos componentes, cada grupo deles forma as denominadas Famílias de Elementos. Em seu trabalho, as divisões foram: Instalações Diversas,

Encontros, Instalações Pluviais, Pavimento, Juntas de Dilatação, Aparelhos de Apoio, Pilares e Tabuleiros (Vigas e Lajes da superestrutura, vigas no caso de pontes).

Durante a aplicação do método na vistoria, o engenheiro ou arquiteto atribui uma nota para cada manifestação patológica encontrada, em função da intensidade. A pontuação final, fator de intensidade (FI), é encontrada com a média das notas atribuídas pelos vistoriadores. A Tabela 9 mostra os Fatores de Intensidade do Dano (FI), cuja escala varia de 0 a 4.

Tabela 9 – Classificação do Fator de Intensidade

0	Sem lesões	Elemento em perfeitas condições
1	Lesões leves	Elemento em bom estado
2	Lesões toleráveis	Elemento em estado razoável
3	Lesões graves	Elemento em más condições
4	Estado crítico	Elemento em péssimas condições

Fonte: Laner (2001).

Definido o FI, é feito o Fator de Relevância Estrutural (*FR*), definindo a importância de cada tipo de elemento dentro do conjunto de elementos em que a obra foi subdividida, em função de sua relevância para o comportamento estrutural e o desempenho da mesma. Para obras de arte de viadutos, pontes e passarelas, a escala está mostrada na Tabela 10.

Tabela 10 – Classificação do Fator de Relevância Estrutural

Escala	Viadutos	Pontes e Passarelas
1	Instalações Diversas	-
2	Encontros	-
3	Instalações Pluviais e Pavimento	Instalações Diversas e Condições Gerais
4	Juntas de Dilatação e Aparelhos de Apoio	-
5	Pilares, Vigas e Tabuleiros	Encontros, Instalações Pluviais e Vigas Laterais
6	-	Pavimento, Juntas de Dilatação e Aparelhos de Apoio
8	-	Pilares
10	-	Tabuleiros

Fonte: Laner (2001).

O Fator de Gravidade do Problema (FG) considerou o provável grau de comprometimento estrutural ou de desempenho, causado pela manifestação patológica detectada sobre um

elemento. Foram estabelecidos quais os problemas mais relevantes, quanto aos aspectos de durabilidade e de segurança. Assim, para cada dano específico e em função do elemento que apresenta o problema, para esse fator, a classificação de uma escala é de 0 a 10.

Com os fatores estabelecidos, é feito o cálculo do Grau de Risco do Elemento (GRE), conforme equação a seguir:

$$GRE = \frac{\sum(FG \times FI)}{\sum FG} \times 100 \quad (1)$$

Realizado o cálculo de GRE, é feito o cálculo do Grau de Risco da Família de Elementos (GRF), de acordo com a seguinte equação:

$$GRF = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i \times GRE_i}{n} \quad (2)$$

Sendo:

- n : Número de elementos de componentes da família;
- GRE : Grau de Risco do Elemento;
- δ : Coeficiente de majoração.

O coeficiente de majoração δ evidenciou elementos altamente danificados, aumentando sua contribuição do cálculo do GRF . Assim, este coeficiente reduz a possibilidade de dispersão de um elemento do estado crítico dentro de uma família em bom estado.

$$\delta = \sqrt{\frac{(n-m)+2}{2}} \text{ para } GRE > LIM \quad (3)$$

$$\delta = 1 \text{ para } GRE \leq LIM \quad (4)$$

Em que:

- δ : Número de elementos da família com $GRE > LIM$;
- LIM: Valor do GRE acima do qual um elemento está comprometido, cujos valores estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Valores de LIM

Elementos	LIM
Pilares	100
Aparelhos de Apoio	200
Encontros	95
Juntas de Dilatação	210
Tabuleiros	100

Fonte: Laner (2001).

Por fim, é feito o cálculo do Grau de Risco da Estrutura (GR), com a junção de todas as famílias de K, sendo definida pela seguinte expressão:

$$GR = \frac{\sum_{i=1}^K (FR_i \times GRF_i)}{\sum_{i=1}^K FR_i} \quad (5)$$

Em que:

- K: Número de famílias de elementos da edificação;
- FR: Fator de Relevância Estrutural;
- GRF: Grau de Risco da Família de Elementos.

Com os valores obtidos da expressão, é feita a classificação da estrutura, como informado anteriormente. A Tabela 12 apresenta os níveis, de acordo com os resultados.

Tabela 12 – Classificação GR

Grau de Risco	GR
Baixo	0 - 100

Médio	100 - 200
Alto	200 – 300
Crítico	> 300

Fonte: Laner (2001)

3.1.2 Grau de Deterioração de Estruturas (GDE)

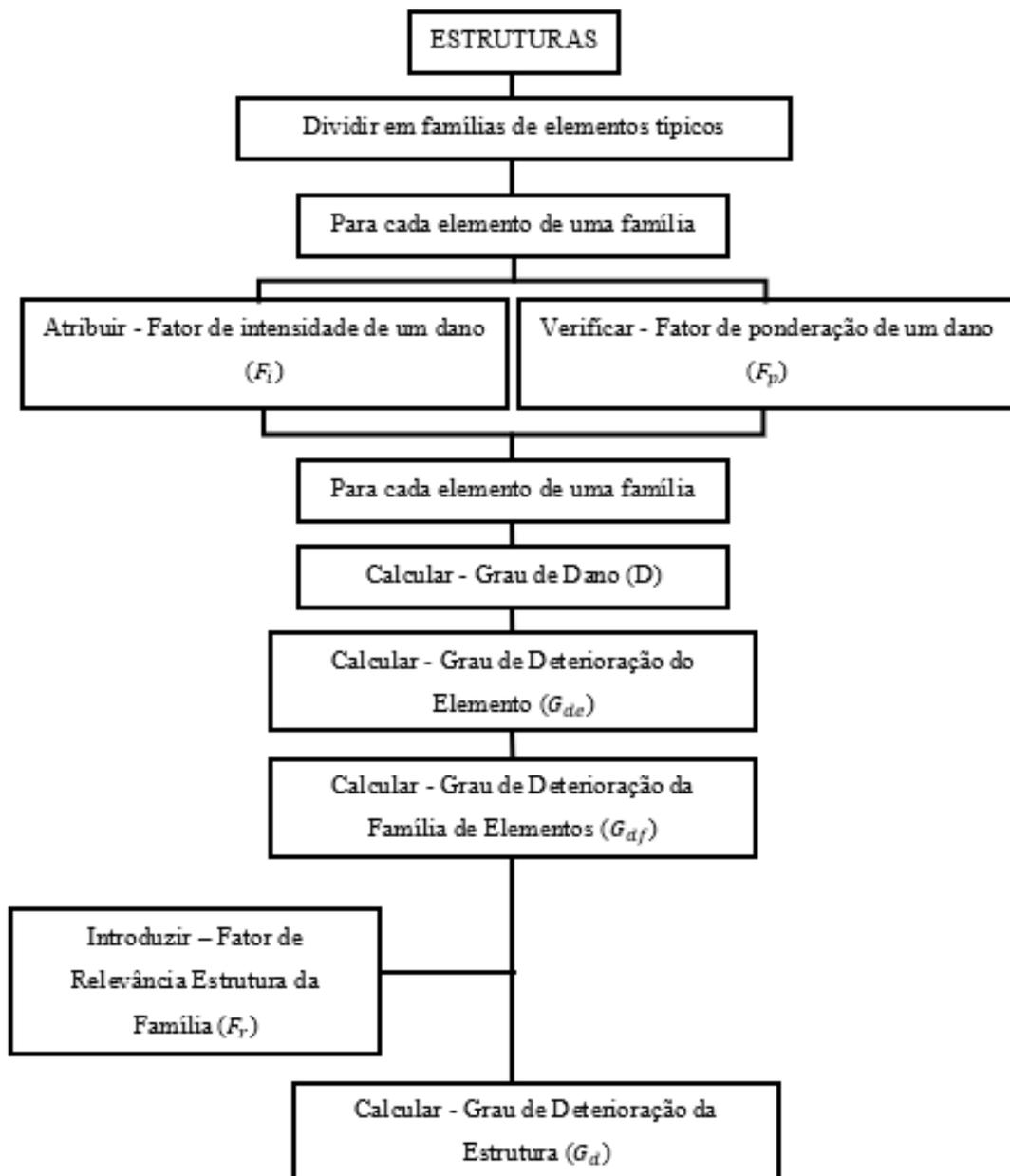
A metodologia desenvolvida por Castro (1994), em sua dissertação, foi baseada nas constantes da proposta realizada por Klein *et al.* (1991), mas com as adaptações e modificações necessárias que permitem quantificar a evolução dos danos ao longo da vida útil da estrutura. Foi adotado também, neste trabalho, um modelo desenvolvido por Tuutti (1982). Este estudo representa a evolução do dano e, conseqüentemente, deterioração da estrutura. Essa metodologia foi desenvolvida para a realização de inspeções periódicas em edificações com estruturas de concreto para a verificação do desempenho dos elementos estruturais, envolvendo aspectos de durabilidade, funcionalidade e estética. Com os dados obtidos, são montadas as Matrizes de Desempenho, segundo o tipo de elemento estrutural e, assim, sendo possível determinar o grau de deterioração dos elementos e da estrutura como um todo.

Ao longo dos anos, para melhor desempenho no diagnóstico, a metodologia GDE passou por diversas modificações. A sua primeira aplicação ocorreu na estrutura Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília em um prédio residencial localizado na SQN 107 Bloco H (Brasília, Brasil). Em 1998, Lopes foi o primeiro a apresentar uma nova modificação na qual foi atualizada a família de elementos, alterações na relação dos danos e inclusão de ensaios na inspeção, definição dos novos fatores de ponderação dos danos e mudanças do cálculo do grau de deterioração de um elemento, com aplicação dessas novas alterações em seis prédios do Banco do Brasil. No ano de 2002, Boldo também contribuiu para o desenvolvimento da metodologia, propondo as modificações no cálculo do grau de deterioração de um elemento e da família, conceituação das manifestações de dano, definindo prazos de intervenção e periodicidade de inspeções. Em 2007, Fonseca fez grandes alterações no método com redefinição dos prazos de intervenção, periodicidade de inspeções e reformulação dos danos relacionados à corrosão, para apresentar a eficácia das novas modificações, a realização do aplicado no Instituto Central de Ciências. Já Azambuja (2012) foi

responsável por acrescentar as estruturas em aço na metodologia GDE, aplicando as modificações na torre de TV de Brasília. E, por fim, Euqeres (2011 *apud* VERLY, 2015) e Verly (2015) acrescentaram especificidades de obras de arte.

O fluxograma a seguir (Figura 4) demonstra os procedimentos a serem seguidos nas inspeções e avaliações dos resultados.

Figura 4 - Fluxograma do método GDE/UnB



Fonte: Castro (1994).

A edificação é dividida em famílias de elementos, nas quais são listadas as manifestações de danos específicas para cada família e, com o respectivo fator de ponderação do dano (F_p), pode-se quantificar a importância relativa de um determinado dano referente à estética, funcionalidade e durabilidade. Esse fator possui uma escala que varia de 1 a 10 e busca refletir a realidade das estruturas de concreto armado.

O fator de intensidade do dano (F_i) é uma pontuação que classifica o nível de gravidade de uma manifestação patológica no elemento específico e demonstra, também, a evolução da deterioração estrutural. A escala desse fator varia de 0 a 4, proposto por Klein *et al.* (1991), como segue:

Sem lesões	$F_i = 0$
Lesões leves	$F_i = 1$
Lesões toleráveis	$F_i = 2$
Lesões graves	$F_i = 3$
Estado crítico	$F_i = 4$

Na metodologia, é proposta uma classificação mais detalhada com as características específicas que identifiquem o nível de gravidade das lesões e sua evolução, conforme apresentado na Tabela 13.

Tabela 13 - Fator de Intensidade para cada Tipo de Dano

Tipos de Danos	Fator de Intensidade do Dano - Tipos de Manifestação
Segregação	1 Superficial e pouco significativa em relação às dimensões da peça; 2 Significante em relação às dimensões da peça; 3 Profundo em relação às dimensões da peça, com ampla exposição da armadura; 4 Perda relevante da seção da peça.
Eflorescência	1 Início de manifestação; 2 Manchas de pequenas dimensões; 3 Manchas acentuadas, em grandes extensões.
Esfoliação	2 Pequenas escamações do concreto 3 Lascamento, de grandes proporções, com exposição da armadura; 4 Lascamento acentuado com perda relevante de seção.
Desagregação	2 Início de manifestação; 3 Manifestações leves; 4 Por perda acentuada de seção e esfarelamento do concreto.
Cobrimento	1 Menores que os previstos em norma sem, no entanto, permitir a localização da armadura; 2 Menor do que o previsto em norma permitindo a localização da armadura ou armadura exposta em pequenas extensões; 3 Deficiente com armaduras expostas em extensões significativas.
	2 Manifestações leves;

Manchas de corrosão / corrosão da armadura	3 Grandes manchas e/ou fissuras de corrosão; 4 Corrosão acentuada na armadura principal, com perda relevante de seção.
Flechas	1 Não perceptíveis a olho nu; 2 Perceptíveis a olho nu, dentro dos limites previstos em norma; 3 Superiores em até 40 % às previstas na norma; 4 Excessivas.
Recalque	2 Indícios, pelas características de trincas na alvenaria; 3 Recalque estabilizado com fissuras em peças estruturais; 4 Recalque não estabilizado com fissuras em peças estruturais;
Fissuras	1 Aberturas menores do que as máximas previstas em norma; 2 Estabilizadas, com abertura até 40 % acima dos limites de norma; 3 Aberturas excessivas, estabilizadas; 4 Aberturas excessivas, não estabilizadas.
Carbonatação	1 Localizada, com algumas regiões com pH < 9, sem atingir a armadura; 2 Localizada, atingindo a armadura, em ambiente seco; 3 Localizada, atingindo a armadura, em ambiente úmido; 4 Generalizada, atingindo a armadura, em ambiente úmido.
Infiltração	1 Indícios de umidade; 2 Pequenas manchas; 3 Grandes manchas; 4 Generalizada.
Presença de cloretos	2 Em elementos no interior sem umidade; 3 Em elementos no exterior sem umidade 4 Em ambientes úmidos.
Manchas	3 Manchas escuras de poucas extensões, porém significativas; 4 Manchas escuras em todo o elemento estrutural.
Sinais de esmagamento	3 Desintegração do concreto na extremidade superior do pilar, causada por sobrecarga ou movimentação da superestrutura; fissuras diagonais isoladas; 4 Fissuras de cisalhamento bidiagonais, com intenso lascamento (esmagamento) do concreto devido ao cisalhamento e compressão com perda substancial de seção, deformação residual aparente; exposição e início de flambagem de barras da armadura.
Desvio de geometria	2 Pilares e cortinas com excentricidade $\leq h/100$ (h = altura) 3 Pilares e cortinas com excentricidade $\geq h/100$
Infiltração na base	3 Indícios de vazamento em tubulações enterradas que podem comprometer as fundações; 4 Vazamento em tubulações enterradas causando erosão aparente junto às fundações.
Junta de dilatação obstruída	2 Perda de elasticidade do material da junta; 3 Presença de material não compressível na junta.
Fissuras vizinhas as juntas de dilatação	2 Lajes com início de fissuras adjacentes às juntas; 3 Em elementos no exterior sem umidade 4 Em ambientes úmidos.
Deslocamento por empuxo	2 Deslocamento lateral no sentido horizontal, com excentricidade, porém estável; 3 Deslocamento lateral no sentido horizontal, instável.

Fonte: Castro (1994).

O grau de dano (D) individual, determinado após o levantamento dos danos em campo, é utilizado para quantificar a manifestação de cada dano no elemento. O valor de D é dependente de F_p e F_i , como é mostrado nas equações seguintes:

Para $F_p = 10$:
$$D = 4 F_i \text{ para } F_i \leq 2,0 \quad (6)$$

$$D = 60 F_i - 140 \text{ para } F_i \geq 3,0 \quad (7)$$

Para $F_p < 10$, pela razão de $F_p/10$:

$$D = 0,4 F_i \cdot F_p \text{ para } F_i \leq 2,0 \quad (8)$$

$$D = (6 F_i - 14) \cdot F_p \text{ para } F_i \geq 3,0 \quad (9)$$

Em seguida, é feito o cálculo de grau de deterioração da família de elementos (G_{de}), a partir do F_i de cada dano e de D , sendo calculado nas equações (10) e (11):

$$G_{de} = D_{m\acute{a}x} \text{ para } m \leq 2 \quad (10)$$

$$G_{de} = D_{m\acute{a}x} + \frac{\sum D_{(i)}}{m-1} \text{ para } m > 2 \quad (11)$$

Em que:

a) $D_{(i)}$ é o grau de dano de ordem (i).

O grau de deterioração de uma família (G_{df}) é a média dos valores de G_{de} encontrados que apresentam danos expressivos, assim, evita que elementos com menor grau de deterioração mascarem os elementos que estão mais danificados. Para considerar os graus de deterioração dos elementos com $G_{de} \geq 15$, deve-se fazer o seguinte cálculo de G_{df} :

$$G_{df} = \frac{\sum G_{df(i)}}{n} \quad (12)$$

Para realizar o cálculo final, é inserido o valor pré-determinado, o Fator de Relevância Estrutural de uma Família (F_r), o qual é estabelecido segundo a importância na funcionalidade e durabilidade. Em seu trabalho, Castro (1994) adotou o trabalho de Fusco (1976) para desenvolver uma escala de importância no desempenho da estrutura. Os valores de F_r são:

Elementos de composição arquitetônica: $F_r = 1.0$

Reservatório superior: $F_r = 2.0$

Escadas/Rampas, Reservatório inferior, Cortinas, Lajes secundárias: $F_r = 3.0$

Lajes, Fundações, Vigas secundária, Pilares secundários: $F_r = 4.0$

Vigas e Pilares principais $F_r = 5.0$

Por fim, é realizado o grau de deterioração da estrutura (G_d), o qual é definido como uma função dos diferentes G_{df} e como são afetados por F_r . O cálculo para o G_d é:

$$G_d = \frac{\sum F_{r(i)} G_{df(i)}}{\sum F_{r(i)}} \quad (13)$$

Obtido o valor de G_d , é possível ser classificada com uma escala dividida em quatro níveis de deterioração, que indicam a situação atual da estrutura e as medidas de intervenção que deverão ser tomadas (Tabela 14).

Tabela 14 - Classificação dos níveis de deterioração da estrutura

Nível de Deterioração	G_d	Medidas a serem adotadas
Baixo	0 – 15	Estado aceitável
Médio	15 – 40	Observação periódica e necessidade de intervenção em médio prazo
Alto	40 - 60	Observação periódica minuciosa e necessidade de intervenção em curto prazo
Crítico	> 60	Necessidade de intervenção emediata para restabelecer funcionalidade e/ou segurança

Fonte: Castro (1994).

3.1.2.1 Modificações Feitas por Lopes (1998)

Em sua dissertação, Lopes (1998) verificou a necessidade de mudanças na metodologia de Castro (1994) para maior abrangência e facilidade de aplicação, observando que seria preciso alterar a nomenclatura das famílias, fazer acréscimos de alguns outros danos e a realização de alguns ensaios.

Na família denominada “juntas”, para o autor, houve uma dificuldade na inspeção para identificar tais elementos, já que as juntas podem ser encontradas entre elementos como pilares, vigas, lajes etc. Ao se atribuir danos a ela, poderá incorrer no erro de não os assinalar em todos os elementos que a confrontam e que são afetados por seus danos. Assim, foi definida a retirada, optando por adicioná-la aos danos como “junta danificada”.

Em suas alterações em relação aos danos, como citado anteriormente, foi incluído o dano de “junta danificada”. Os danos de recalques e deslocamentos foram unificados, sendo denominados de “recalques/deslocamentos”; para o dano de corrosão, só foi designada apenas “mancha de corrosão” e com a alteração para “corrosão” abrangendo todos os estágios, e acrescentando os danos referentes à deformação lenta ou fluência, sobrecarga, agressão ambiental e junção de elementos, conforme apresentado na Tabela 15.

Tabela 15 - Alterações em relação dos danos

Tipos de Danos	Descrição
Segregação	Deficiência de concretagem, com exposição de agregados, devido a um ou mais dos seguintes problemas: dosagem inadequada, diâmetro máximo característico do agregado graúdo não condizente com as dimensões da peça, lançamento e adensamento inadequados e taxas excessivas de armadura.
Lixiviação / Eflorescência	Percolação de água ou soluções através do concreto ou sobre o concreto, provocando carreamento de materiais. Aparecimento de manchas brancas na superfície, proveniente das águas que penetram no concreto, carregando a cal liberada na hidratação do cimento, que é extremamente solúvel em águas, principalmente puras e brandas. Ocorrem frequentemente nas fissuras em lajes, podendo, com o tempo formar estalactites.
Desagregação	Fenômeno característico de ataque químico no concreto com perda da capacidade aglomerante da pasta, causando a separação dos agregados.
Esfoliação	Ocorrência de lascas que se destacam do concreto por vários motivos, como por exemplo: proveniente de choques, por corrosão da armadura, por pressão ou expansão no interior do concreto, etc.
Carbonatação	O dióxido de carbono, CO ₂ , presente no ar, penetra através de rede de poros do concreto e reage com os constituintes alcalinos da pasta de cimento, principalmente com o hidróxido de cálcio. A carbonatação da cal reduz o pH da fase aquosa do concreto e provoca a despassivação das armaduras. Pode ser detectado por meio de um ensaio simples, através da utilização da fenolftaleína como indicador. A parte carbonatada do concreto fica incolor (pH < 8,5) e a parte não carbonatada permanece vermelho carmim.
Fissuração inaceitável	NB-1/78 - considera-se que a fissuração é nociva quando a abertura das fissuras na superfície do concreto ultrapassa os seguintes valores: 0,1 mm (peça não protegida em meio agressivo), 0,2 mm (peça não protegida em meio não agressivo), 0,3 (peça protegida).
Flecha excessiva	NB-1/78 - considera: 1) Para carga total (permanente + sobrecargas) flechas < 1/300 do vão e < 1/500 do comprimento do balanço; 2) Para cargas acidentais flechas < 1/500 do vão e < 1/250 do comprimento do balanço.
Desvio de geometria	Prumo: verticalidade das peças estruturais, com evidência para pilares; Excentricidades: quando possível, observar a ocorrência, nas zonas de interrupção de concretagem, de desvio das seções de peças estruturais subsequentes; Furos Passantes: existência de furos, não previstos em projeto, para passagem de instalações elétricas, hidráulicas, sanitárias, ar condicionado, etc., que podem comprometer a segurança estrutural e expor a armadura ao meio ambiente, proporcionado a corrosão; Nível: horizontalidade das peças estruturais.
Cobrimento deficiente	NB-1/78 - considera-se que qualquer barra da armadura, inclusive de distribuição, de montagem e estribos, deve ter cobrimento de concreto pelo menos igual ao seu diâmetro, mas não menor que: 1) Revestidas internas: lajes [0,5 cm], paredes [1,0 cm], vigas, pilares e arcos [1,5 cm]; 2) Revestidas externas: lajes e paredes [1,5 cm], vigas, pilares e arcos [2,0 cm]; 3) Aparentes: internas [2,0 cm] e externas [2,5 cm]; 4) Em contato com o solo [3,0 cm] e 5) Em meio agressivo [4,0 cm].
Agressão ambiental	Classes de exposição segundo o código modelo do CEB (1991): 1 - Ambiente Seco; 2 - Ambiente Úmido: A (com geada) e B (sem geada); 3 - Ambiente Úmido com geada e sujeito a agentes de degelo; 4 - Ambiente Marinho: A (com geada) e B (sem geada); 5 - Ambiente Quimicamente agressivo (gás, líquidos ou sólido): A (ligeiramente agressivo), B (moderadamente agressivo) e C (altamente agressivo).
Infiltração / Vazamento	Penetração de umidade ou líquidos no concreto, devido à existência de falhas de existência de falhas de execução, de impermeabilização, fissuras, alta permeabilidade, falta de proteção ao elemento, etc.

Recalque / Deslocamento	Movimentação estrutural em função de deformação excessiva e/ou diferencial do solo, por mau dimensionamento das fundações, sobrecargas excessivas, infiltrações ou elevação do lençol freático.
Ninho de concretagem	Regiões com concreto de baixa compactação ou ausência do concreto devido a falhas nas operações de lançamento e adensamento, vazamento de formas, densidade da armadura, etc., comprometem a resistência do concreto, sua aderência à armadura, ou potencializam a ação degenerativa ambiental. Com maior incidência em partes inferiores de vigas, pilares, paredes estruturais, e na região de encontros entre estes elementos. Detecção visual ou auscultação por impacto de martelo.
Esmagamento	Ruptura com maceramento do concreto, em função de carga excessiva para a resistência da peça, ou devido a movimentação da superestrutura.
Junta danificada	Preenchimento da junta de dilatação com material rígido ou com baixo módulo de elasticidade, ocasionando tensões indesejáveis à estrutura. Junta mal dimensionada ou sem impermeabilização.
Junção de elementos	Ocorrência de fixação de elementos estruturais a outros, elaborados em épocas diferentes, havendo junção entre concreto e velho ou outro material, sem a necessária aderência ou compatibilização.

Fonte: Lopes (1998).

Com a alteração dos danos, houve a necessidade da revisão dos valores de F_p para as famílias de elementos estruturais. Foram preservados alguns valores previamente definidos para os danos que não houve nenhum tipo de alteração, já os novos buscaram-se ajustar os valores com a finalidade de buscar uma coerência entre o que já foi determinado anteriormente (Tabela 16).

Tabela 16 - Alteração dos danos

F_p	Dano estrutural	Pilar	Viga	Laje	Escada/Rampa	Cortina	Reservatório	Bloco	Peça de Arquitet.
1	Segregação	6	4	5	4	5	5	6	4
2	Lixiviação/Eflorescência	5	5	3	5	5	7	5	3
3	Desagregação	7	7	7	7	7	7	7	7
4	Esfoliação	8	8	8	8	8	8	8	8
5	Carbonatação	7	7	7	7	7	7	7	7
6	Fissuração inaceitável	10	10	10	10	10	10	10	8
7	Flecha/Flambagem	10	10	10	10	10	10	10	10
8	Desvio de Geometria	9	7	7	7	7	8	7	7
9	Cobrimto deficiente	6	6	6	6	6	7	6	6
10	Corrosão	7	7	7	7	7	9	7	7
11	Cloreto (presença)	10	10	10	10	10	10	10	10
12	Mancha	5	5	5	5	5	5	5	5
13	Deformação Lenta	8	9	8	8	8	8	8	8
14	Carga Acidental	10	10	10	10	10	10	10	10
15	Agressão Ambiental	8	8	8	8	8	8	8	8
16	Infiltração / Vazamento	6	6	6	6	6	6	6	6
17	Recalque / Deslocamento	10	10	10	10	10	10	10	10
18	Ninho de concretagem	8	8	7	7	8	9	8	8
19	Esmagamento	10	9	7	7	10	9	10	7
20	Junta danificada	10	8	6	7	6	5	-	5
21	Junta de elementos	10	8	7	7	8	9	8	6

Fonte: Lopes (1998).

Lopes (1998) também argumenta sobre a importância da inclusão de ensaios durante a inspeção da estrutura, já que alguns tipos de danos precisam de uma investigação, como

nos casos do cobrimento deficiente, profundidade da carbonatação e presença de cloretos, todos estes estão relacionados com mecanismos e geram a deterioração da armadura. Ele concluiu que o número de áreas de inspeção deverá ser pelo menos seis, em elementos estruturais distintos, tendo como base localizações mais expostas e suscetíveis a deterioração, que possam apresentar ou vir a apresentar, futuramente, alguma espécie de dano que seja maior, ou elementos que, pela importância estrutural, requeiram uma atenção maior na monitoração.

A determinação do G_{de} , como citado anteriormente, depende do D e tem a função de preservar o maior grau de dano, ao passo que, com a ocorrência de danos adicionais, estes seriam acrescidos através de uma média deles, estabelecendo, assim, um valor máximo para o G_{de} que contém três ou mais danos encontrados. Porém, o procedimento de cálculo talvez não se apresente representativo o bastante para o caso de dois danos, no qual o menor é desprezado. Da mesma forma, em um elemento com três danos de mesmo grau, o surgimento de um quarto dano de grau mais baixo poderá fazer com que o seu G_{de} seja reduzido em até 16%, como mostra os cálculos realizados por Lopes (1998), fato que se constitui em um paradoxo, pois o acréscimo de novos danos deveria resultar em aumento do grau de deterioração do elemento ao invés de reduzi-lo.

Com isso, a situação criada no cálculo do G_{de} acaba por afetar, também, nos cálculos do G_{df} e do G_d . A consequência disso é que o efeito de sobreposição de danos venha a “amenizar” o grau de danos à medida que aumentem em número e assumam valores menores. Consequentemente, com a monitoração ao longo do tempo de um elemento, uma família de elementos, ou mesmo de uma estrutura, poderá ser prejudicada, pois o grau de deterioração não retratará com fidelidade a sua evolução, quando os elementos, que venham a ser acometidos de novos danos, poderão apresentar valores não condizentes com a realidade.

Em sua proposta de alteração do cálculo para elemento com qualquer número de danos, foi encontrada, como forma viável, a utilização de uma única formulação de cálculo para elementos com qualquer número de danos. E, preservando a metodologia criada por Castro (1994), deverão ser adicionados ao maior dano os demais danos, mas estes deverão

ser ponderados à medida que crescerem. Assim, o grau de deterioração do elemento (G_{de}) será expresso por:

$$G_{de} = D_{mx} \left(1 + \frac{\sum D(i) - D_{mx}}{\sum D(i)} \right) \quad (14)$$

Em que:

- a) D_{mx} é o dano de maior grau;
- b) $D(i)$ é grau de dano de ordem (i).

A partir disso, foi possível ter a simplificação da função, sendo expressa por uma única fórmula. Além da simplificação da função sendo expressa por uma única fórmula, obtém-se uma resposta da evolução do G_{de} de forma gradual, facilitando a visualização, quando ocorre o agravamento do dano, expresso pelo aumento do fator de intensidade, ou quando surgem novos danos.

3.1.2.2 Modificações Feitas por Boldo (2002)

Em sua dissertação, Boldo (2002) utilizou a metodologia criada por Castro (1994) e utilizou algumas das proposições feitas por Lopes (1998), a alteração na formulação do cálculo do G_{de} . Sua primeira proposta de alteração na metodologia foi da nomenclatura “Caderno de Inspeção para Estruturas de Concreto” para “Roteiro de Inspeção para Estruturas de Concreto”. Essa mudança foi escolhida para enfatizar a importância de usá-lo rigorosamente nas inspeções. As modificações sugeridas para o roteiro visam trazer informações suficientes para serem empregadas nas vistorias, sem ser necessário o uso de outros documentos.

Como feito por Lopes (1998) que, ao alterar a fórmula do cálculo do G_{de} , eliminou o problema da omissão de algumas manifestações, em seus estudos, Boldo (2002) percebeu que, durante a aplicação da metodologia com o uso da média aritmética, um elemento com G_{de} elevado teria sua situação “mascarada” com a aplicação de elementos com G_{de} um pouco maiores que 15 e isso faz com que o acréscimo desses danos venha amenizar

a situação da estrutura ao invés de agravar. Então, a fórmula que foi desenvolvida ressalta a importância do elemento que se encontra em piores situações de deterioração, no conjunto da família. A fórmula poderá ser apenas em elementos de $G_{de} \geq 15$, e nos casos em que $G_{de} < 15$ o valor de $G_{df} = 0$.

$$G_{df} = G_{dem\acute{a}x} \left(1 + \frac{\sum G_{de(i)} - G_{dem\acute{a}x}}{\sum G_{de(i)}} \right) \quad (15)$$

Outras alterações propostas foram a do prazo de intervenções e a periodicidade de inspeções. Essas propostas são aplicadas nas modificações das tabelas de classificação dos níveis de deterioração do elemento (Tabela 17) e da estrutura (Tabela 18), para facilitar ações mais objetivas a serem desenvolvidas.

Tabela 17 - Níveis de Deterioração de Elemento

Nível de Deterioração	G_{de}	Ações a serem adotadas
Baixo	0 – 15	Estado aceitável. Manutenção preventiva.
Médio	15 – 50	Definir prazo/natureza para nova inspeção. Planeja intervenção em médio prazo (máx. 2 anos).
Alto	50 – 80	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em curto prazo (máx. 1 anos).
Crítico	> 80	Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata.

Boldo (2002).

Tabela 18 - Níveis de Deterioração da Estrutura

Nível de Deterioração	G_d	Ações a serem adotadas
Baixo	0 – 15	Estado aceitável. Manutenção preventiva.
Médio	15 – 40	Definir prazo/natureza para nova inspeção. Planeja intervenção em médio prazo (máx. 2 anos).
Alto	40 – 60	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em curto prazo (máx. 1 anos).
Crítico	> 60	Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata.

Boldo (2002).

Para auxiliar nas execuções de intervenções, foram propostos prazos máximos, considerando o nível de deterioração (Tabela 19).

Tabela 19 - Tempo de intervenção de acordo com o nível de deterioração

Nível de deterioração	Prazo máximo para intervenção
Baixo	-----
Médio	2 anos
Alto	1 anos
Crítico	6 meses

Boldo (2002).

3.1.2.3 Modificações Feitas por Fonseca (2007)

Em seus estudos, Fonseca (2007) pretendeu aperfeiçoar e reformular a metodologia GDE/UnB. Em sua dissertação, ele propõe a reformulação: da forma de conceituação dos danos, dos fatores de intensidade (F_i) associando alguns danos à corrosão, dos fatores de ponderação (F_p), nos níveis de deterioração da estrutura e do elemento da metodologia e do grau de deterioração da família (G_{df}).

Houve uma série de modificações no roteiro de inspeção de Boldo (2002) feita na dissertação de Fonseca (2007), como mostra a Tabela 20.

Tabela 20 - Reformulações do GDE/UnB (2007)

Dano alterado	Tipo de Alteração	Reformulação
Esfoliação	Nomenclatura	Desplacamento
Segregação	Nomenclatura	Falha de concretagem (nichos ou ninhos de concretagem)
Fissura inaceitável	Abordagem	Foi adota os parâmetros pela NBR 6118
Flechas excessivas	Abordagem	Adequando à norma vigente, com relação aos deslocamentos limites de uma estrutura com os parâmetros de funcionalidade estrutural e conforto dos usuários
Infiltração	Nomenclatura	Umidade
Infiltração na base	Nomenclatura	Umidade na base
Tabela de elementos de composição arquitetônica	Reformulação	“Manchas” e “Umidade” incluídos a tabela

Fonte: Fonseca (2007).

Em seus estudos, Fonseca (2007) propôs a reformulação de F_i associado a alguns danos de corrosão, conforme apresentado na Tabela 21.

Tabela 21 - Reformulação dos valores F_i

Dano	F_i
Carbonatação, localizada ou generalizada, atinge a armadura, na presença de umidade, com risco de iniciar o processo de corrosão	3 e 4
Cobrimento de concreto deficiente, menor que o previsto na norma atual, e ainda permitindo a localização visual e exposição da armadura em pequenas ou grandes extensões, essa armadura corre o risco de corrosão	2 e 3
Risco de corrosão por meio de transporte de cloretos para elementos no interior sem presença de umidade	2
Risco de corrosão por meio de transporte de cloretos para elementos no exterior sem presença de umidade	3
Risco de corrosão por meio de transporte de cloretos para elementos em ambiente úmidos	4
Desplacamento, quando a estrutura está exposta, podendo já se iniciar a corrosão	3 e 4
Eflorescência	4
Ninhos de concretagem	3 e 4

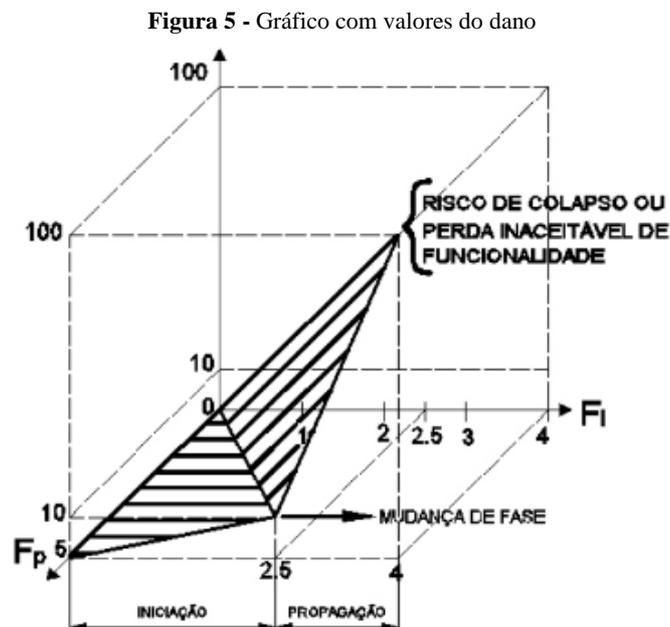
Fonte: Fonseca (2007)

Neste trabalho, foi notada que a maioria dos fatores de ponderação está acima de 5, o F_p definido em Castro (1994) tem uma escala de valores de 1 a 10, por isso, a proposta de alteração é a diminuição da escala variando de 1 a 5. Para efetuar essa nova escala, é preciso mudar, também, o D .

$$\text{Para } F_p = 5 \quad D = 0,8 F_i F_p \text{ para } F_i \leq 2,0 \quad (16)$$

$$D = (12 F_i - 28) F_p \text{ para } F_i \geq 3,0 \quad (17)$$

Por fim, independente da escala, os valores do dano em um elemento serão os mesmos para cada F_i e a representação gráfica do D apresentada na Figura 5.



Fonte: Fonseca (2007).

Outro item reformulado foi o F_p , também com danos relacionados à corrosão. Como esse dano é iniciado em consequências de outros, Fonseca (2007) chegou à conclusão que o seu valor do F_p , independente do elemento estudado, estava subestimado (Tabela 22).

Tabela 22 - Novos valores de F_p

Dano	F_p (BOLDO, 2002)	F_p (FONSECA, 2007)
Corrosão das armaduras	7	5
Contaminação por cloretos	10	4
Carbonatação	7	3

Fonte: Fonseca (2007).

Houve também uma proposta de reformulação do F_p para o dano de “fissura”. Como esse tipo de dano pode ter diversas causas para sua origem e varia de acordo com o elemento estrutural, foi proposta acrescentar uma tabela específica para fissuras. Os valores de F_p para esse dano variam entre dano, e os valores que variam entre 4 e 5 podem indicar risco de ruptura frágil (Tabela 23).

Tabela 23 - Valores de F_p para o dano de “Fissuras”

	Fissuras	Descrição	F_p
ESTADO PLÁSTICO	Retração plástica do concreto	- Comuns em lajes e paredes; - Paralelas, superficiais e afastadas de 0,3 a 1 m.	2
	Assentamento do concreto	- Acompanham as armaduras; - Em pilares, ficam abaixo dos estribos; - Interação com armaduras vizinhas.	3
	Movimentação de fôrmas	- Indicam mau posicionamento, má fixação ou resistência insuficiente de fôrmas e escoramentos.	3
ESTADO ENDURECIDO	Retração do concreto por secagem	- Vigas podem ocasionar fissuras nos pilares e vice-versa, por diferenças de rigidez; - Aspecto de mosaico em lajes e paredes, podendo aparecer em ambas as faces; - Indicam restrição de movimentos; - Profundidade reduzida; - Aberturas de 0,1 a 0,2 mm.	3
	Mapeadas	- Mais visíveis em superfícies lisas de lajes e paredes; - Abertura e extensão reduzidas; - Indicam desempenho excessivo; - Danos apenas estéticos, em geral.	2
	Variações de temperatura	- Em geral, normais ao eixo de elementos lineares; - Indicam restrição de mau funcionamento de juntas de dilatação e/ou sua inexistência.	3
ERROS DE PROJETO/EXECUÇÃO OU CARGAS EXCESSIVAS	Flexão em vigas	- Normais ao eixo, em trecho de momento fletor elevado e com boa aderência aço-concreto.	4
	Força cortante-flexão em vigas	- Inclinação nas duas faces; - Podem entrar na zona de compressão e se dirigir aos apoios.	4
	Cortante momentos de torção e flexão em vigas	- Inclinação em uma face; - Na face oposta: menor abertura e inclinação.	4
	Flexo-tração em pilares	- Normais ao eixo do pilar na face tracionada; - Paralelas ao eixo na face comprimida, podem indicar esmagamento do concreto; - Mais próximas de extremidade com maior momento.	5
	Compressão	- Paralelas ao eixo e convergindo para o centro nas proximidades de ruptura; - Indicam espaçamento excessivo ou deslocamento de estribos.	5
	Carga concentrada em área reduzida	- Comuns em apoios de pontes, estruturas pré-moldadas e apoios indiretos; - Indicam armadura deficiente de fretagem e mau detalhamento.	5
	Apoios do tipo Gerber (vigas e pilares)	- Comuns em portes e estruturas pré-moldadas; - Indicam deficiência de apoio e/ou detalhamento inadequado	3

Flexão em lajes	- Na face inferior, paralelas aos vãos com continuidade ou vãos maiores, se estendendo em direção aos cantos; - Na face superior, paralelas aos e bordos com continuidade.	4
Momentos volventes	- Em cantos de lajes extremas, podendo abrir nas duas faces; - Influenciadas por variações de temperatura e retração.	3
Punção	- Traçado circular e/ou radial em torno do pilar.	5

Fonte: Fonseca (2007).

Na reformulação dos níveis de deterioração da estrutura e do elemento da metodologia GDE/UnB que, para Boldo (2002), tinha quatro níveis de classificação de níveis de deterioração (baixo, médio, alto e crítico), a mudança proposta é a de utilizar cinco de deterioração e acrescentar o nível “sofrível”, com o intervalo de 80 a 100, e com intervalo para a intervenção sugerida para, no máximo, 6 meses. Já o nível “crítico” é alterado para o valor superior a 100 no qual são necessárias uma inspeção emergencial e uma intervenção imediata. A Tabela 24 e a Tabela 25 se referem à alteração dos níveis em G_d e G_{de} , respectivamente.

Tabela 24 - Valores de G_d

Nível de Deterioração	G_d	Ações a serem adotadas
Baixo	0 – 15	Estado aceitável. Manutenção preventiva.
Médio	15 – 50	Definir prazo/natureza para nova inspeção. Planeja intervenção em longo prazo (máx. 2 anos).
Alto	50 – 80	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em médio prazo (máx. 1 anos).
Sufrível	80 - 100	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em curto prazo (máx. 6 meses).
Crítico	> 100	Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata.

Fonte: Fonseca (2007).

Tabela 25 - Valores de G_{de}

Nível de Deterioração	G_{de}	Ações a serem adotadas
Baixo	0 – 15	Estado aceitável. Manutenção preventiva.
Médio	15 – 50	Definir prazo/natureza para nova inspeção. Planeja intervenção em longo prazo (máx. 2 anos).
Alto	50 – 80	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em médio prazo (máx. 1 anos).
Sufrível	80 - 100	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em curto prazo (máx. 6 meses).
Crítico	> 100	Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata.

Fonte: Fonseca (2007).

A última proposta de mudança é da fórmula do G_{df} na qual, anteriormente, era supervalorizado o estado real de um elemento crítico, e as famílias passam a apresentar valores de G_{df} cada vez mais próximas do dobro do valor do $G_{demáx}$ dos elementos dessas

famílias, principalmente, quando for maior o número de elementos, sendo alterado para a equação (18).

$$G_{df} = G_{demáx} \left(\sqrt{1 + \frac{\sum G_{de(i)} - G_{demáx}}{\sum G_{de(i)}}} \right) \quad (18)$$

3.1.2.4 Modificações Feitas por Euqeres (2011)

No ano de 2011, a dissertação feita por Euqeres trouxe alterações na metodologia GDE/UnB para aplicações em Obras de Arte Especiais (OAE). Foram aplicadas essas mudanças em 11 inspeções em estruturas de pontes, no estado de Goiás, a fim de validar propostas de reformulação de cálculo de deterioração da estrutura (EUQUERES, 2011 *apud* VERLY, 2015).

Para seu estudo, utilizou-se do roteiro elaborado por Fonseca (2007), que foi modificado para auxílio às inspeções das pontes com a denominação “Roteiro de Inspeção para Estruturas e Pontes de Concreto Armado”.

A primeira alteração proposta foi uma nova divisão dos elementos estruturais de OAEs em famílias (Tabela 26).

Tabela 26 - Fatores de relevância estrutural (F_r)

Elemento	F_r
Barreira de defensas e/ou Guarda-rodas	1,0
Pista de rolagem	2,0
Cortinas, juntas de dilatação	3,0
Lajes, fundações, aparelhos de apoio, vigas secundárias	4,0

Fonte: Euqeres (2011 *apud* VERLY, 2015).

Outra mudança realizada foram os prazos recomendados, dependendo do nível de deterioração do elemento (Tabela 27) e da estrutura (Tabela 28), em que, no nível médio, o “longo prazo” passou a ser definido como 2 anos e o “médio prazo” como 18 meses; e, no nível crítico, “curto prazo” como 1 ano.

Tabela 27 - Nível de deterioração do elemento e as recomendações de ações em função do valor de G_{de}

Nível de deterioração	G_{de}	Ações a serem adotadas
Baixo	0 - 15	Estado aceitável. Manutenção preventiva.
Médio	16 - 50	Definir prazo/natureza para nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máximo 2 anos)
Alto	51 - 80	Definir prazo/natureza para nova inspeção detalhada. Planejar intervenção em médio prazo (máximo 18 meses)
Sofrível	81 - 100	Definir prazo/natureza para nova inspeção especializada. Planejar intervenção em médio prazo (máximo 1 anos)
Crítico	> 101	Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata

Fonte: Euqueres (2011 *apud* VERLY, 2015).

Tabela 28 - Nível de deterioração do elemento e as recomendações de ações em função do valor de G_d

Nível de deterioração	G_d	Ações a serem adotadas
Baixo	0 - 15	Estado aceitável. Manutenção preventiva.
Médio	16 - 50	Definir prazo/natureza para nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máximo 2 anos)
Alto	51 - 80	Definir prazo/natureza para nova inspeção detalhada. Planejar intervenção em médio prazo (máximo 18 meses)
Sofrível	81 - 100	Definir prazo/natureza para nova inspeção especializada. Planejar intervenção em médio prazo (máximo 1 anos)
Crítico	> 101	Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata

Fonte: Euqueres (2011 *apud* VERLY, 2015).

Em seu estudo, aplicou a metodologia considerando todos os valores de G_{de} maiores que zero, sendo assim, todos os elementos da estrutura contribuíram na avaliação global.

3.1.2.5 Modificações Feitas por Azambuja (2012)

Em sua dissertação, Azambuja (2012) adaptou a metodologia GDE/UnB para utilizá-la em avaliações de estruturas metálicas e mistas. Foram modificados os valores de F_p , F_i e F_r e acrescentados os tipos de dano que permitam o cálculo de D e de G_{de} para essa tipologia de estrutura.

A Tabela 29 apresenta os valores de F_r dados para as famílias de elementos.

Tabela 29 - F_r para estruturas metálicas

Família de Elementos	F_r
Banzos	5
Diagonais e Montantes	4

Fonte: Azambuja (2012).

Já na Tabela 30 estão estabelecidos os tipos de dano e F_p para aplicação em estruturas metálicas e mistas.

Tabela 30 - Planilha de avaliação de estruturas metálicas

Família				
Nome do elemento				
Danos	F_p	F_i	D	Croqui/Observação
Umidade	3			
Manchas	3			
Falhas na pintura de proteção	4			
Deslocamento excessivos	5			
Falhas em ligações soldadas	4			
Falhas em ligações parafusadas	4			
Desvio de geometria	3			
Vibrações excessivas	3			
Abalroamentos	3			
Corrosão uniforme	5			
Corrosão em frestas	5			

Fonte: Azambuja (2012).

3.1.2.6 Modificações feitas por Verly (2015)

Em sua dissertação, Verly (2015) propôs algumas modificações do que foi estudado por Euqeres (2011 *apud* VERLY, 2015). Suas adaptações foram no grau de deterioração da estrutura (G_d) e renomear o Roteiro de inspeção de pontes de concreto armado.

Verley (2015) percebeu durante a sua pesquisa que, ao invés do esperado, que a medida em que os números de danos aumentem ao longo do tempo, em uma determinada estrutura, o seu nível de deterioração também se eleve, no entanto, não é o que ocorre. Para evitar esse tipo de circunstância, a fórmula de G_d precisou ser refeita, como mostra a expressão a seguir:

$$G_{d,mod} = \frac{K_{m\acute{a}x}}{7,07} \sqrt{1 + \frac{\sum K_i - K_{m\acute{a}x}}{\sum K_i}} \quad (19)$$

Em que:

- a) K : Produto do $G_{df,i}$ pelo respectivo F_r ;
- b) $K_{m\acute{a}x}$: Maior valor do produto do $G_{df,i}$ pelo respectivo F_r .

A equação tem o maior valor do produto $G_{df} \times F_r$ que é agravado pelo valor da raiz quadrada. O valor a ser majorado (K) depende também do grau de deterioração da família, que, por sua vez, majora o elemento mais deteriorado.

Na antiga equação, tende-se a amenizar o grau de deterioração da estrutura com a inclusão de danos de baixa intensidade, minimizando a influência do elemento mais deteriorado, já nessa nova, a inclusão de novos danos sempre fará com que o nível de deterioração aumente, e a eliminação de danos sempre refletirá em uma melhora na condição da estrutura.

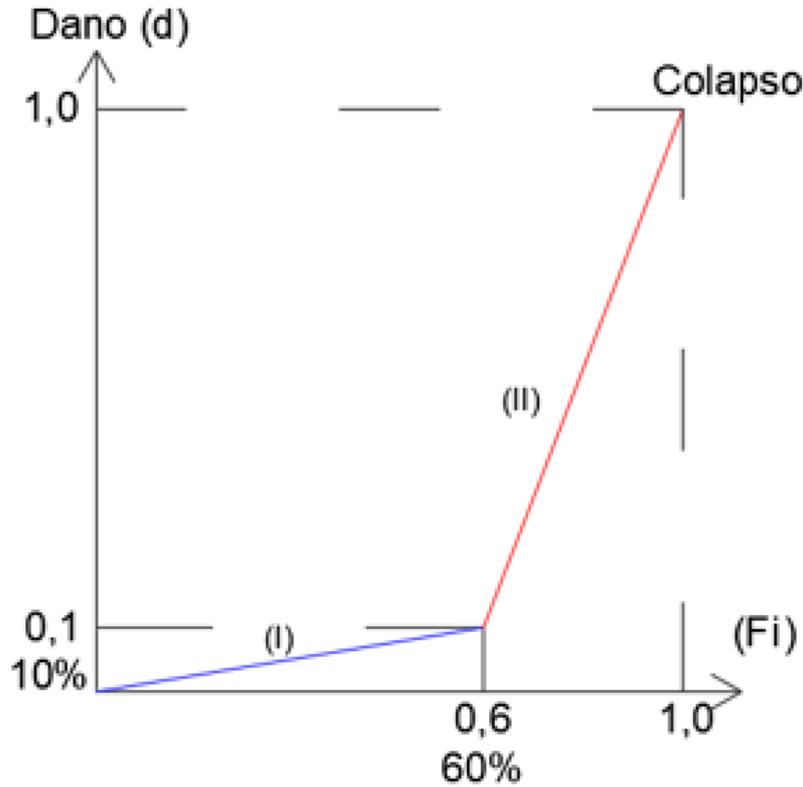
Dessa forma, foi alterada a nomenclatura dada por Euqueres (2011 *apud* VERLY, 2015) para Manual de Aplicação da Metodologia GDE/UnB a Obras de Arte Especiais, no qual foram incorporadas as recentes recomendações da NBR 6118 (2014) e a fórmula de cálculo do grau de deterioração da estrutura.

3.1.3 GDE Parametrizado (2018)

Em seu artigo, Pantoja *et al.* (2018) realizam a parametrização do método GDE/UnB com o intuito de ampliar a quantidade de escalas e seu uso em diversas formas de avaliação. Os parâmetros da metodologia alterados foram: fator de ponderação, intensidade e relevância estrutural, cujos valores originais foram alterados para variarem de 0 a 1. As escalas de valores propostas pelo trabalho original foram mantidas.

Assim, para que os resultados se mantivessem coerentes, foi necessário alterar as fórmulas (6), (7), (8) e (9), de forma a possibilitar o uso da parametrização na metodologia, como pode ser observado na Figura 6 e nas equações (20) e (21).

Figura 6 - Modelo Tuutti Parametrizado $F_p = 1$



Fonte: Pantoja *et al.* (2018).

(I) Iniciação $d(I) = (0.166 \times F_i) \times F_p$ (20)

(II) Propagação $d(II) = (2.25 \times F_i - 1.25) \times F_p$ (21)

Com essa alteração, é também preciso realizar uma parametrização do modelo de Tuutti, conforme fórmula a seguir, de forma a possibilitar o encaixe na metodologia e, com isso, o fator de Dano se transforma em Fator de Integridade do Elemento.

$$\text{Integr} = 1 - D(F_i, F_p) \quad (22)$$

A Tabela 31 mostra a parametrização de alguns dos fatores da metodologia Gde/UnB.

Tabela 31 - Gde Parametrizado

Estruturas de Concreto Armado

Tipo de degradação	F_p	Tipo de família	F_R	Gravidade	F_i
Contaminação por cloretos	1	Família 1	0.05	Sem lesões	0
Corrosão de armaduras	1	Família 2	0.125	Lesões leves	0.25
Fissurações estruturais	1	Família 3	0.34	Lesões toleráveis	0.50
Sinais de esmagamento	1	Lesões graves	0.75
Esfoliação	0.8	Família N	0.222	Lesões intoleráveis	1.00
Carbonatação	0.7	$\sum F_{Ri}$	1		
Desagregação	0.7				
Desvio de geometria	0.6				
Infiltração	0.6				
Eflorescência	0.5				
Manchas	0.5				
Segregação	0.5				

Fonte: Pantoja *et al.* (2018).

Posteriormente, é executado o acoplamento do nível de segurança da estrutura, feito de forma simplificada, adotando-se a hipótese de que a variação do índice de confiabilidade dos elementos, famílias e estrutura segue a mesma lei de comportamento que o fator de integridade. Dessa forma, é possível a realização do cálculo do nível de segurança da estrutura através da seguinte equação:

$$\beta \approx \text{Integridade} (F_i, F_p) \cdot \varphi \quad (23)$$

Em que:

- φ : Nível de confiabilidade do elemento (Tabela 32).

Tabela 32 - Índice de fiabilidade de referência

Classe de consequência	Período Mínimo de referência para estruturas existentes	β Nova		β Repara		β Existente	
		WN	WD	WN	WD	WN	WD
CCO	1 ano	3.3	2.3	2.8	1.8	1.8	0.8
CC1 - Baixa	15 anos	3.3	2.3	2.8	1.8	1.8	1.1
CC2 - Média	15 anos	3.8	2.8	3.3	2.5	2.5	2.5
CC3 - Alta	15 anos	4.3	3.3	3.8	3.3	2.5	3.3

Classes de 0 a 1 (CCO e CC1) - aplicadas apenas em situações onde não houver dano humano envolvido

WN - Forças devido ao vento não são dominantes

WD - Forças devido ao vento são dominantes

Fonte: FIB Bulletin 62 (2012).

3.1.3.1 Vantagens e Desvantagens

Um ponto positivo da nova reformulação é a reavaliação dos valores dos graus de deterioração dos elementos, famílias e da estrutura global, que ficaram entre 0 e 1. Além disso, permite a aplicação juntamente com uso de *softwares* para análise da segurança.

3.1.4 Comitê Euro-International Du Beton (CEB) Boletim n° 243

Um método eficaz de quantificar a deterioração de uma estrutura de concreto existente é por meio da classificação de condição. Este não deve basear-se simplesmente na pontuação dos membros inspecionados, mas na avaliação numérica dos danos encontrados durante a inspeção, como sua origem, intensidade e extensão, bem como seu impacto na estrutura quanto à segurança e durabilidade (CEB, 1998). Segundo Kano e Morikawa (2007), este método também é desenvolvido para que, dependendo do nível de deterioração da estrutura, possa ser colocado em uma ordem os elementos para que seja realizado uma inspeção detalhada e medidas corretivas.

O método CEB boletim 243 (1998) foi baseado no método aplicado na Áustria que foi, posteriormente, modificado por Znidaric and Znidaric (1994) e utilizado na Eslovênia como método de classificação de condição. Esse método de classificação, CEB (1998), foi desenvolvido para fins de gerenciamento de pontes e viadutos, de modo a identificar as estruturas mais modificadas. Para ampliar a sua aplicação em outros tipos de estruturas, Coronelli (2006) realizou algumas modificações no procedimento do método, sendo possível aplicar em estruturas de concreto armado.

3.1.4.1 Cálculos do Método de Classificação de Condição

A função de classificação F é calculada para cada elemento estrutural. Essa expressão é a soma efetiva dos valores de danos obtidos na inspeção e a soma de referências dos valores de danos que, por fim, é multiplicado pelos fatores de intensidade e extensão (FADDA; MISTRETTA; PIRAS, 2014), como mostra na equação (24) (CEB, 1998; CORONELLI, 2007).

$$F = \sum V_D = \sum B_i \times K_{1i} \times K_{2i} \times K_{3i} \times K_{4i} \quad (24)$$

Em que:

- V_D : Valor do tipo de dano;
- B_i : Valor básico associado ao tipo de dano “i”, expressando o efeito potencial do tipo de dano “i” na segurança e / ou durabilidade do componente estrutural observado, variando de 1 a 4 (Tabela 33);

Tabela 33 - Valores B_i

Item	Tipo de Dano	B_i	Grau do Dano			
			I	II	III	IV
1,0	Deslocamento e Deformações da estrutura					
1,1	Infraestrutura					
1,13	Assentamento	3	<2 cm	2 - 5 cm	5 - 10 cm	>10 cm
1,2	Estrutura					
1,21	Deflexão vertical	2	<L/1000	L/1000 a L/500	L/500 a L/300	> L/300
2,0	Concreto					
2,1	Acabamento ruim: descamação, estratificação, corrosão, vazios	1	Único pequeno defeito	Vários pequenos defeitos	Poucos defeitos mais fortes	Vários defeitos mais fortes
2,2	Encolhimento plástico e rachaduras de assentamento de plástico, fissuras	1	Único menor	Vários menores	Pouco mais forte	Muitos mais fortes
2,3	Força abaixo do necessário	2	< 10%	de 10 a 20%	20 - 30%	30%
2,4	Profundidade de cobertura menor que a necessária	2	< 1 cm	1 - 2 cm	2 - 3 cm	> 3 cm
2,5	Frente de carbonatação (pH <10) com referência ao nível da armadura	2	2 - 3 cm acima	1 - 2 cm acima	0 - 1 cm acima	No nível
2,6	Penetração de cloreto (pH <10) com referência ao nível da armadura	3	> 2 cm	0.5 - 2 cm	No nível	Abaixo do nível
2,7	Craqueamento causado por carregamento direto, imposição de deformações e restrições	3	Único < 0.5 mm	Alguns < 0.5 mm	Único > 0.5 mm	Alguns > 0.5 mm
2,8	Danos mecânicos: erosão, colisão	1	Critérios gerais (Tabela)			
2,9	Eflorescência, exsudação, estourar	1	Critérios gerais (Tabela)			
2,10	Vazamento através do concreto	2	Leve e médio	Pesado e severo (cloretos <0,4% de cimento)	Leve e médio	Pesado e severo (cloretos >0,4% de cimento)
2,11	Vazamento em rachaduras, juntas, itens incorporados	2	Idem	Idem		
2,12	Superfícies molhadas	1	Idem	Idem		
2,13	Congelar - descongelar	2	Intemperismo	Craqueamento	Espalhamento	Desintegração
2,15	Cobrir defeitos causados por corrosão da armadura	2	Manchas de ferrugem, leve	Manchas de ferrugem, pesadas	Rachaduras sobre estribos	Delaminação sobre estribos
2,16	Escamação causada pela corrosão da armadura	3	Rachaduras mais finas ao longo de barras da armadura nos cantos	Fissuras mais finas ao longo de outras barras da armadura e/ou rachaduras longitudinais mais amplas ou armadura exposta ao longo dos cantos	Rachaduras mais largas ao longo de outras barras ou armadura exposta	Áreas ocas e escamação superficial
2,17	Juntas abertas entre segmentos	2	1 mm	1 - 3 mm	3 - 5 mm	5 mm
3,0	Armadura					
3,1	Corrosão de estribos	1	Critérios gerais (Tabela)			
3,2	Corrosão das barras das armações principais, redução da área de aço na seção (se em seção crítica, então: K4.2)	3	Uniforme < 10 %	Localizado < 10 %	Uniforme > 10 %	Localizado > 10 %

Fonte: Coronelli (2007).

- K_{1i} : Fator do membro estrutural, que faz parte do componente estrutural, no qual o tipo de dano “i” está aparecendo, contabilizando o efeito do membro sobre a segurança geral e/ou a durabilidade do componente;
- K_{2i} : Fator de intensidade/grau de dano tipo “i”, enquanto os critérios numéricos associados a certos tipos de dano são mostrados em conjunto com os valores básicos com o $K_{2i} = 0,5, 1, 1,5, 2$ (Tabela 34);

Tabela 34 - Valores K_{2i}

Grau	Critério	K_{2i}
Baixo - Inicial	Danos de tamanho pequeno, geralmente aparecendo em locais únicos de um membro	0,5
Médio - Propagando	O dano é de tamanho médio, confinado a localidades únicas, ou o dano é de tamanho pequeno aparecendo em poucas localidades ou em uma pequena área de um membro (por exemplo, <25%)	1,0
Alto - Ativo	O dano é de grande tamanho, aparecendo em muitas localidades ou em uma área maior de um membro (25 e 75%)	1,5
Muito Alto - Crítico	O dano é de um tamanho muito grande, aparecendo na maior parte de um membro (> 50%)	2,0

Fonte: Coronelli (2007).

- K_{3i} : Fator de extensão da propagação do tipo de dano “i” em todo o membro observado ou em todos os itens do mesmo tipo de membro. Sua escala é de $K_{3i} = 0,5 - 1,0 - 1,5 - 2$ (Tabela 35);

Tabela 35 - Valores K_{3i}

Critério	K_{3i}
O dano é limitado a uma única unidade do mesmo tipo de membro	0,5
O dano está aparecendo em várias unidades (por exemplo, menos de 1/4) do mesmo tipo de membro	1,0
Danos estão aparecendo na maior parte das unidades (por exemplo, 1/4 a 3/4) do mesmo tipo de membro	1,5
Danos estão aparecendo na grande maioria das unidades (mais de 3/4) do mesmo tipo de membro	2,0

Fonte: Coronelli (2007).

- K_{4i} : Fator enfatizando a urgência da intervenção necessária no caso de o tipo de dano “i” estar diretamente comprometendo a segurança do componente ou dos usuários. Os valores variam entre 1 e 5 (Tabela 36).

Tabela 36 - Valores K_{4i}

Critério	K_{4i}
O dano é limitado a uma única unidade do mesmo tipo de membro	1
O dano está aparecendo em várias unidades (por exemplo, menos de 1/4) do mesmo tipo de membro	2
	3
Danos estão aparecendo na maior parte das unidades (por exemplo, 1/4 a 3/4) do mesmo tipo de membro	3
	4
	5
Danos estão aparecendo na grande maioria das unidades (mais de 3/4) do mesmo tipo de membro	5

Fonte: Coronelli (2007).

A classificação da condição da estrutura é dada por:

$$CR = \frac{\sum V_D}{\sum V_{D,ref}} \times 100 \quad (25)$$

Em que:

- $\sum V_D$: Soma efetiva dos valores de dano calculados para a estrutura observada ou os elementos, relacionados aos tipos de dano detectados;
- $\sum V_{D,ref}$: Soma de referência dos valores de dano que poderia potencialmente ocorrer na mesma estrutura observada ou os elementos, multiplicado por valores unitários de fatores de intensidade e extensão ($K_{2i} = K_{3i} = 2$, $K_{4i} = \text{const.} = 1$).

A equação (26) pode ser reescrita conforme equação a seguir:

$$CR = \frac{\sum_1^k k_{1m} \times M_m}{\sum_1^k k_{1m} \times M_{ref}} \times 100 \quad (26)$$

Em que:

$$M_m = \sum_1^n B_i \times K_{2i} \times K_{3i} \times K_{4i} \quad i = 1 \text{ para "n"} \quad (27)$$

$$M_{m,ref} = \sum_1^t B_i \times K_{2i} \times K_{3i} \times K_{4i} \quad i = 1 \text{ para "t"} \quad (28)$$

- k: Número de elementos “m” dentro da estrutura observada;
- n: Número de tipos de danos detectados e avaliados “i” em um elemento “m”;
- t: Número total de possíveis tipos de dano no elemento “m”.

O fator K_{1i} é deixado em evidencia no cálculo $\sum V_D$, por ser uma constante do elemento estrutural estudado ($M_m = \sum V_D/k_{1m}$ e $M_{m,ref} = \sum V_{D,ref}/k_{1m}$).

Os valores da classificação da condição são divididos em seis classes de deterioração, além dos valores de classificação, tem a descrição da condição e a intervenção necessária para estrutura. Classificações estão também relacionadas ao fator de deterioração (α_R) para avaliar a capacidade de carga reduzida da estrutura nominal.

Por último, é realizada a avaliação da capacidade de carga restante pelo fator de deterioração da força (Φ) do elemento, como apresentado na equação (29) (CORONELLI, 2007).

$$\Phi = B_R \cdot e^{-\alpha_R \beta_C V_R} \quad (29)$$

Em que:

- B_R : Fator de redução da capacidade, a razão entre a força real e a nominal de uma seção crítica de um elemento, determinada de acordo com as regras de projeto, sem considerar a deterioração da resistência (Tabela 38);
- α_R : Fator de deterioração, com valores variando de 0,3 a 0,8 em relação ao valor de classificação de condição obtido para o elemento (Tabela 37);

Tabela 37 - Valores α_R

Classe de Deterioração	Descrição da condição, intervenção necessária, exemplos de deterioração	Avaliação	α_R
I	Nenhum defeito, somente deficiências de construção Ação: Sem reparo, apenas a manutenção regular é necessária. Exemplos: irregularidades geométricas, imperfeições estéticas, descoloração	0 - 5	0,3
II	Baixa deterioração de grau, que somente após um longo período de tempo pode ser a causa da manutenção reduzida ou da durabilidade do componente estrutural afetado, se não for reparada no tempo adequado	3.0 - 10	0,4

	Ação: Locais deteriorados podem ser reparados com custos baixos como parte de trabalhos de manutenção regulares Exemplos: rachaduras locais, deficiências menores resultantes de práticas ruins de concretagem, cobertura local muito fina		
III	Deterioração de grau médio, que pode ser a causa da manutenção reduzida e durabilidade do componente estrutural afetado, mas ainda não requer qualquer limitação de uso da estrutura Ação: Reparo em tempo razoavelmente curto é necessário Exemplos: rachaduras, maiores deficiências resultantes de más práticas de concretagem, cobertura muito fina em áreas quase molhadas, defeito de impermeabilização	7.0 - 15	0,5
IV	Alto grau de deterioração, reduzindo a capacidade de manutenção e durabilidade da estrutura, mas ainda não requerendo séria limitação de uso Ação: Reparo imediato para preservar a manutenção e a durabilidade projetadas Exemplos: corrosão de armação nos principais membros transportadores	15 - 25	0,6
V	Deterioração muito pesada, exigindo limitação de uso, sustentação dos componentes mais críticos ou outras medidas de proteção Ação: É necessária a reparação imediata e o reforço da estrutura, ou a capacidade de carga deve ser adequadamente reduzida Exemplos: Corrosão pesada de reforço nos membros principais de transporte, rachaduras largas devido à sobrecarga	22 - 35	0,7
VI	Deterioração crítica, exigindo sustentação imediata da estrutura e forte limitação de uso, por exemplo, fechamento Ação: São necessários trabalhos de reabilitação imediatos e extensivos; no entanto, a facilidade de manutenção e o uso da estrutura, bem como o serviço restante aceitável, não podem mais ser alcançados com os custos econômicos Exemplos: como classe V, mais baixo nível de segurança	≤ 30	0,8

Fonte: Coronelli (2007).

- β_C : Coeficiente de confiabilidade é o valor alvo do nível de segurança mínimo aceitável que, de acordo com CEN (2001), esse valor varia de 3,3 a 4,3;
- V_R : Coeficiente de variação da resistência, a determinar com base nos dados de ensaios e inspeções dos materiais que, segundo Folić & Zenunović (2010 *apud* CORONELLI, 2007), esse coeficiente varia entre 10 a 20%.

Tabela 38 - Valores B_R

Fator de redução da capacidade (B_R)	
Flexão	0,9
Cisalhamento	0,85
Flexão combinada e carga axial	0,7

Fonte: ACI (2001).

Já Φ tem seus valores variando entre 0,5, para estruturas com alto grau de deterioração e com pouca ou nenhuma manutenção; e 1, para edificações com estruturas em boas condições com inspeções regulares.

3.1.4.1 Limitações do Método

O método CEB Boletim n° 243, segundo Coronelli (2007), apresenta as seguintes limitações:

- Os seus cálculos de deterioração se mostraram ser conservadores;
- O método é baseado em observações e medições visuais e, por isso, a confiabilidade do resultado da classificação de condição da estrutura recai, em parte, na experiência e avaliações subjetivas dos operadores. Portanto, sua aplicação requer um conhecimento sólido dos fenômenos de deterioração, sua morfologia e indicadores visíveis e suas possíveis consequências estruturais.

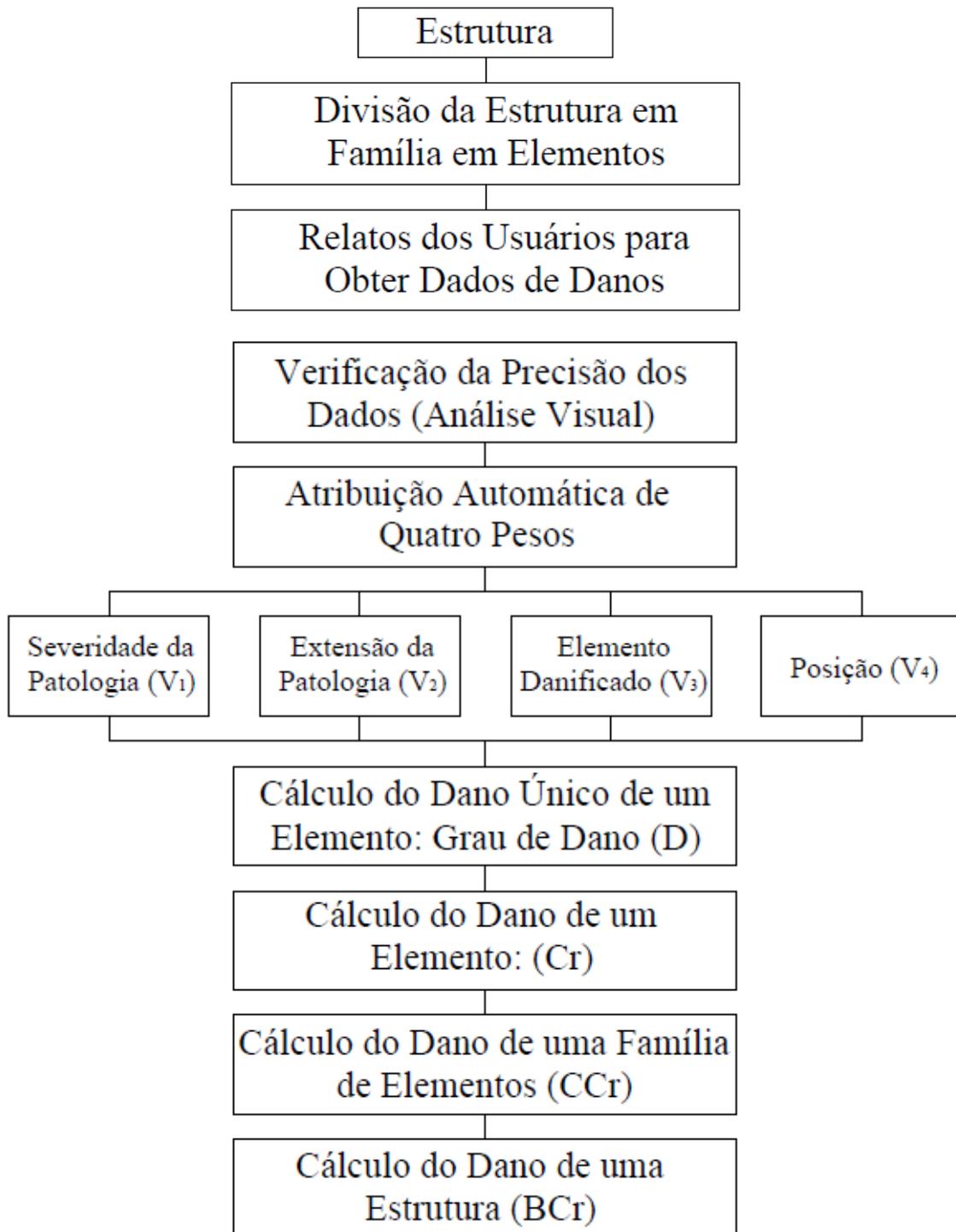
3.2 Metodologias Voltadas para Edificações

3.2.1 Alert-Degradation

A metodologia *Alert-Degradation* (Alert-D) é uma atualização da *Alert-Safety* (Alert-S), que foi anteriormente proposta por Sangiorgio, Uva e Fatiguso (2018), que se utilizava, para a avaliação das estruturas de concreto, ferramentas como inteligência artificial e tecnologias de informação para auxiliar na tomada de decisões. Porém, o método Alert-S é deficiente quanto à análise da degradação da construção, focando apenas na segurança dos usuários da edificação.

Sangiorgio *et al.* (2019) propôs mudanças no método Alert-S com o uso dos componentes utilizados no GDE, para poder realizar, de forma mais eficaz, a degradação da estrutura. O fluxograma apresentado na Figura 7 demonstra cada etapa encontrada no Alert-D.

Figura 7 - Fluxograma das etapas do Alert-D



Fonte: Sangiorgio *et al.* (2019) – Traduzido e adaptado pela autora.

Como mostrado na Figura 7, o início dessa metodologia é a escolha da estrutura a ser analisada e, posteriormente, selecionar os elementos que passarão por avaliações visuais. A próxima etapa a ser realizada é a divisão da estrutura em família de elementos. E desses

elementos, coletar dos usuários da edificação possíveis dados dos danos. Em campo, por meio de análise visual, avaliar cada patologia encontrada e documentá-las por meio de registro fotográfico.

As possíveis patologias que podem ser encontradas nas estruturas analisadas estão representadas na Tabela 39, divididos em quatro critérios:

- Severidade da patologia;
- Extensão da patologia;
- Elemento danificado;
- Posição.

Tabela 39 – Peso das Patologias

Objetivo	Degradação da Edificação			
	Severidade da Patologia (V ₁)	Extensão da Patologia (V ₂)	Elemento Danificado (V ₃)	Posição (V ₄)
Alternativas	Fissura causadas pela oxidação do aço w _{1,1}	100 % w _{2,1}	Nível de fundação w _{3,1}	Primeiro ou segundo andar w _{4,1}
	Desplacamento w _{1,2}	90% w _{2,2}	Parede de cisalhamento w _{3,2}	Terceiro ou quarto andar w _{4,2}
	Forte expulsão da cobertura de concreto w _{1,3}	80% w _{2,3}	Pilar w _{3,3}	Outros w _{4,3}
	Rachaduras finas w _{1,4}	70% w _{2,4}	Viga w _{3,4}	
	Rachaduras médias w _{1,5}	60% w _{2,5}	Armadura apoiada w _{3,5}	
	Rachaduras grandes ou ativas w _{1,6}	50% w _{2,6}	Piso w _{3,6}	
	Defeitos nas juntas w _{1,7}	40% w _{2,7}	Cobertura w _{3,7}	
	Destacamento de elemento w _{1,8}	30% w _{2,8}	Escadaria w _{3,8}	
	Queda de blocos de tijolos w _{1,9}	20% w _{2,9}	Passarelas w _{3,9}	
	Deformações de elementos w _{1,10}	10% w _{2,10}	Térreo w _{3,10}	
	Deflexão excessiva, deformações w _{1,11}		Varanda ou projeção w _{3,11}	
	Paredes ou elementos w _{1,12}		Cortina w _{3,12}	

inclinação para fora da vertical			
Recalque leve da fundação	$w_{1,13}$	Parede externa concreto armado	$w_{3,13}$
Recalque médio da fundação	$w_{1,14}$	Parede externa de tijolo	$w_{3,14}$
Recalque elevado da fundação	$w_{1,15}$	Parapeito	$w_{3,15}$
Fenômenos de decomposição (área úmida, esfoliação)	$w_{1,16}$	Parede interna	$w_{3,16}$
Rachaduras de gesso ou compensado	$w_{1,17}$	Forro	$w_{3,17}$
Destacamento de gesso ou compensado	$w_{1,18}$	Claraboia	$w_{3,18}$
Corrosão ou oxidação do elemento de aço	$w_{1,19}$	Portas	$w_{3,19}$
Produção	$w_{1,20}$	Janela	$w_{3,20}$
Corrosão ou oxidação com redução da seção	$w_{1,21}$	Juntas entre elementos	$w_{3,21}$
*Mofo ou marcescência	$w_{1,22}$	Elevador	$w_{3,22}$
*Ataque biológico de insetos	$w_{1,23}$		
*Mofo ou marcescência e redução da seção	$w_{1,24}$		
*Ataque biológico de insetos e redução da seção	$w_{1,25}$		

* Estruturas em madeira

Fonte: Sangiorgio *et al.* (2019) – Traduzido e adaptado pela autora

A cada patologia encontrada na estrutura, é atribuído os quatro pesos, já citados anteriormente, com seus valores pré-estabelecidos na Tabela 40. É possível observar que cada peso é associado a um critério ou alternativa. Desse modo, os pesos podem ser atribuídos automaticamente, assim que o conjunto de alternativas é conhecido.

Tabela 40 – Valores dos Peso das Patologias

Critérios ou Alternativas Gerais	Critérios ou Alternativas dos Pesos	Valores	Critérios ou Alternativas Gerais	Critérios ou Alternativas dos Pesos	Valores
V_i	V_1	0,44	$w_{3,j}$	$w_{3,1}$	10,00
	V_2	0,43		$w_{3,2}$	9,10
	V_3	0,10		$w_{3,3}$	7,90
	V_4	0,03		$w_{3,4}$	6,10
$w_{1,j}$	$w_{1,1}$	3,00		$w_{3,5}$	6,10

	w _{1,2}	3,90		w _{3,6}	6,10
	w _{1,3}	8,80		w _{3,7}	6,10
	w _{1,4}	3,00		w _{3,8}	6,10
	w _{1,5}	4,40		w _{3,9}	6,10
	w _{1,6}	9,50		w _{3,10}	6,10
	w _{1,7}	3,00		w _{3,11}	5,50
	w _{1,8}	3,90		w _{3,12}	2,40
	w _{1,9}	3,90		w _{3,13}	2,20
	w _{1,10}	3,50		w _{3,14}	2,20
	w _{1,11}	9,00		w _{3,15}	1,70
	w _{1,12}	9,50		w _{3,16}	1,70
	w _{1,13}	5,10		w _{3,17}	1,70
	w _{1,14}	5,10		w _{3,18}	1,00
	w _{1,15}	10,00		w _{3,19}	1,00
	w _{1,16}	2,00		w _{3,20}	1,00
	w _{1,17}	3,00		w _{3,21}	1,00
	w _{1,18}	3,90		w _{3,22}	1,00
	w _{1,19}	1,00		w _{4,1}	10,00
	w _{1,20}	4,90	w _{4,j}	w _{4,2}	6,20
	w _{1,21}	4,90		w _{4,3}	1,10
	w _{1,22}	1,00			
	w _{1,23}	1,00			
	w _{1,24}	4,90			
	w _{1,25}	4,90			
	w _{2,1}	10,00			
	w _{2,2}	9,00			
	w _{2,3}	8,00			
	w _{2,4}	7,00			
	w _{2,5}	6,00			
w _{2,j}	w _{2,6}	5,00			
	w _{2,7}	4,00			
	w _{2,8}	3,00			
	w _{2,9}	2,00			
	w _{2,10}	1,00			

Fonte: Sangiorgio *et al.* (2019) – Traduzido.

A partir dos dados já coletados anteriormente, a próxima etapa a ser executada é o cálculo do valor de cada dano (SD_d) para cada elemento, como mostrado na Equação (30), na qual para cada i apenas um j está associado.

$$SD_d = \sum_{i=1}^m v_i \times w_{ij} \quad (30)$$

Em que:

- v_i : Pesos dos critérios;
- w_{ij} : Pesos das alternativas.

Depois de obtidos os valores dos danos de cada patologia, é feito o cálculo da Classificação da Condição de Criticidade (Cr_e), conforme apresentado na Equação (31), o qual é dedicado a quantificar a deterioração de um elemento.

$$Cr_e = SD_{max} \left(1 + \frac{\sum_{d=1}^{\Delta} SD_d - SD_{max}}{2 * \sum_{d=1}^{\Delta} SD_d} \right) \quad (31)$$

Em que:

- SD_{max} : máximo valor obtido por SD_d , com $d = 1, \dots, \Delta$.

Na próxima etapa, é calculada a classificação da condição da família do elemento (CCr_f), sendo o valor desse índice definido pela Equação (32) (SANGIORGIO; UVA; FATIGUSO, 2018).

$$CCr_f = \frac{\sum_e Cr_e}{\gamma_k * S_{tot}} \quad (32)$$

Em que:

- S_{tot} : Área construída total;
- γ_k : Avaliação aproximada do número dos elementos considerados por metro quadrado.

E, por fim, é feito o cálculo do grau de deterioração de toda a estrutura (BCr) com o uso da Equação (33).

$$BCr = \frac{\sum_{e=1}^{N_E} Cr_e}{\gamma_b * S_{tot}} \quad (33)$$

Em que:

- γ_b : Avaliação aproximada do número dos elementos por metro quadrado, avaliado para a tipologia específica para construções em concreto armado (SANGIORGIO; UVA; FATIGUSO, 2018).

Por fim, as classificações do método Alert-D, que ainda se utiliza dos valores do Alert-S (Tabela 41).

Tabela 41 – Valores de Classificação do Alert-D

	Apenas o conforto é afetado.	Perigo local para usuários de edifícios.	Sério perigo para usuários de edifícios.
Cr_e	$Cr_e < 4$	$4 < Cr_e < 6$	$6 < Cr_e < 10$
CCr_f	Poucas patologias e limitado a uma única classe de componentes	Comprometimento da facilidade de manutenção. As patologias são extensas, mas limitadas a única classe de componentes	Perigo sério e prolongado
	$CCr_f < 2$	$2 < CCr_f < 6$	$6 < CCr_f < 10$
BCr	Prédio em bom estado em bom estado médio	Comprometimento da facilidade de manutenção Patologias são estendidas	Perigo sério e prolongado comprometer a construção
	$BCr < 2$	$2 < BCr < 6$	$6 < BCr < 10$

Fonte: Sangiorgio *et al.* (2018)– Traduzido.

3.2.1.2 Vantagens e Desvantagens

O artigo de proposta do método de Sangiorgio *et al.* (2019) levanta alguns pontos que podem limitar a aplicação deste, a exemplo da calibração com o modelo Tuutti que melhora a precisão dos KPIs e torna as duas metodologias comparativas mais semelhantes, mas piora a robustez. Como o método é novo, poucos materiais se encontram sobre outras aplicações, por isso, a aplicabilidade do método para edifícios de alvenaria, aço e madeira tem pouca base de dados.

3.2.2 Método de Avaliação de Estado de Conservação de Imóveis – MAEC

O Método de Avaliação do Estado de Conservação de imóveis (MAEC) foi desenvolvido por meio do Regime de Arrendamento Urbano (RAU). Por meio da Lei n.º 6/2006, o Gabinete do Secretário de Estado Adjunto e da Administração Local, do XVII Governo Constitucional, fez uma solicitação ao Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC)

com o objetivo de avaliar o estado de conservação de edifícios. No ano de 2006, essa metodologia entrou em vigor, a qual é baseada numa avaliação visual das anomalias que afetam cada elemento do imóvel, desse modo, permite classificar o estado de conservação do local avaliado, devendo, para efeito, permitir classificar com rigor, objetividade e transparência o estado de conservação de locados, habitacionais e não habitacionais, em cinco níveis, e verificar a existência de infraestruturas básicas (PEDRO; PAIVA, 2009; VILHENA, 2011).

De forma rigorosa, a edificação passa por uma avaliação minuciosa para estimar as suas condições. A avaliação é realizada com regras claras e pré-definidas, diminuindo a probabilidade de que os resultados venham divergir, a depender do técnico. A aplicação do método deve ser feita com transparência para que tanto o processo quanto os resultados sejam compreendidos por todos os envolvidos (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

O MAEC foi desenvolvido visando sete objetivos a serem avaliados em uma edificação:

1. Determinar o estado de conservação de imóveis habitacionais e não habitacionais e se há uma infraestrutura básica dividida em uma escala de cinco níveis;
2. Expor resultados da vistoria que demonstre com rigor o estado de conservação da edificação e que os resultados devem ser os mesmos, independentes do técnico avaliador;
3. Avaliar a generalidade dos tipos de imóveis, independente do uso, da data de construção, dos processos construtivos, da localização, do custo, das dimensões;
4. Ser aceito por intermediadores que trabalhem no setor de alugueis;
5. Ser aplicado por arquitetos ou engenheiros que participem de ações de formação de curta duração;
6. Garantir que os resultados a serem atingidos e a forma como foram obtidos sejam facilmente compreendidos;
7. Constituir um encargo socialmente aceitável.

Este método leva em consideração a utilização de uma escala de ponderações, de acordo com o nível de importância para cada elemento e como eles impactam no funcionamento da edificação. O MAEC é dividido em três partes principais (edifícios, áreas comuns e locado), dividido em um total de 37 elementos funcionais. Em cada elemento, as ponderações podem variar de 1 a 6. Elementos muito importantes possuem ponderações entre 5 e 6; os importantes, 3 e 4; e pouco importante, os valores variam entre 1 e 2 (Tabela 42) (GUEDES; GOMES; ALMEIDA, 2012; OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Tabela 42 – Ponderações

		Ponderação	
Edifício			
1. Estrutura	6	18. Paredes Exteriores	5
2. Cobertura	5	19. Paredes Interiores	3
3. Elementos salientes	3	20. Revestimentos de Pavimentos Exteriores	2
Áreas Comuns		21. Revestimentos de Pavimentos Interiores	4
4. Paredes	3	22. Tetos	4
5. Revestimentos de Pavimentos	2	23. Escadas	4
6. Tetos	2	24. Caixilharia e Portas Exteriores	5
7. Escadas	3	25. Caixilharia e Portas Interiores	3
8. Caixilharia e portas	2	26. Dispositivos de proteção de vãos	2
9. Dispositivos de proteção contra queda	3	27. Dispositivos de proteção contra queda	4
10. Instalação de distribuição de água	1	28. Equipamento sanitário	3
11. Instalação de drenagem de águas residuais	1	29. Equipamento de cozinha	3
12. Instalação de gás	1	30. Instalação de distribuição de água	3
13. Instalação de elétrica e de iluminação	1	31. Instalação de drenagem de águas residuais	3
14. Instalações de telecomunicações e contra a intrusão	1	32. Instalação de gás	3
15. Instalações de elevadores	3	33. Instalação elétrica	3
16. Instalações de segurança contra incêndio	1	34. Instalações de telecomunicações e contra a intrusão	1
17. Instalações de evacuação de lixo	1	35. Instalação de ventilação	2
		36. Instalação de climatização	2
		37. Instalação de segurança contra incêndio	2

Fonte: Vilhena (2011).

Para essa metodologia, a classificação do estado de conservação é dividida em cinco níveis: Excelente, Bom, Médio, Mau, Péssimo. Esses resultados são baseados na vistoria visual dos elementos da edificação ou do apartamento a ser avaliado.

Com o intuito de auxiliar na implementação do MAEC, foi desenvolvida a ficha de avaliação como uma forma de equipamento que pode ajudar na aplicação da metodologia.

Essa metodologia foi desenvolvida a fim de avaliar o estado de conservação de imóveis, para, por meio de uma inspeção visual, encontrar as principais anomalias que, de alguma forma, afetam os elementos e equipamentos da edificação. O uso de inspeção visual foi escolhido para a metodologia, pois ela é considerada adequada, já que permite detectar as anomalias mais aparentes e por ser mais econômico em relação ao tempo e aos recursos para se obter os resultados.

No MAEC, as anomalias encontradas na edificação são divididas em cinco níveis que podem afetar os elementos (Tabela 43). Os critérios de avaliação que auxiliam para determinação do nível são quatro:

- Qual é a consequência da anomalia na satisfação das exigências funcionais?;
- Tipo e extensão do trabalho que será necessário para corrigir o dano;
- Relevância dos locais afetados;
- Existência de alternativa para o espaço ou equipamento afetado.

Tabela 43 – Nível de Anomalia

Nível de Anomalia	Muito Ligeiras	Ligeiras	Média	Graves	Muito Graves
Valor	5	4	3	2	1
Descrição dos Danos	Ausência de anomalias ou anomalias sem significado	Anomalias que prejudicam o aspecto, e que requerem trabalhos de fácil execução	Anomalias que prejudicam o aspecto, e que requerem trabalhos de difícil execução Anomalias que prejudicam o uso e conforto e que requerem	Anomalias que prejudicam o uso e conforto e que requerem trabalhos de difícil execução Anomalias que colocam em risco a saúde e/ou a segurança,	Anomalias que colocam em risco a saúde e/ou a segurança, podendo motivar acidentes sem gravidade, e que requerem trabalhos de difícil execução. Anomalias que colocam em risco a saúde e/ou a segurança,

			trabalhos de limpeza, substituição ou reparação de fácil execução	podendo motivar acidentes sem gravidade, e que requerem trabalhos de fácil execução	podendo motivar acidentes graves ou muito graves. Ausência ou inoperacionalidade de infraestrutura básica
--	--	--	---	---	---

Fonte: Vilhena (2011).

O estado de conservação pode ser utilizado para comparar os níveis de dano que afetam os elementos funcionais da edificação, fazendo comparações com o momento atual da inspeção e com condições de quando foi construído ou de quando passou por sua última intervenção.

Cada elemento tem o nível da anomalia encontrado, sendo multiplicado pela ponderação (Pd_i), desse modo, é obtida a pontuação do elemento funcional (Pt_i). O resultado final do coeficiente de conservação é resultado do cálculo do Índice de Anomalias (IA), que é a média ponderada do resultado do somatório dos valores dos elementos avaliados e somatório dos valores das ponderações dos elementos

$$IA = \frac{\sum Pt_i}{\sum Pd_i} \quad (34)$$

Sendo:

- IA – Índice de Anomalias;
- Pt_i – Pontuação do elemento funcional i ;
- Pd_i – Ponderação do elemento funcional i .

O Índice de Anomalias é dividido em uma escala de cinco níveis (Tabela 44).

Tabela 44 – Índice de Anomalia

Índice de Anomalias	$5 \geq IA \geq 4,5$	$4,5 \geq IA \geq 3,5$	$3,5 \geq IA \geq 2,5$	$2,5 \geq IA \geq 1,5$	$1,5 \geq IA \geq 1$
Estado de Conservação	Excelente	Bom	Médio	Mau	Péssimo

Fonte: Vilhena (2011)

3.2.2.3 Propostas de Alteração do MAEC

Em sua tese, Vilhena (2011) apresentou alterações ao MAEC objetivando facilitar a aplicação do método para aqueles que irão aplicar e abranger o campo de aplicação, isso sem diminuir o rigor e a objetividade do método de origem e com o intuito de contribuir com o aumento do rigor da avaliação.

Ele iniciou com alterações na ficha de avaliações com a retirada de alguns elementos que foram considerados de menor importância para os avaliadores e acrescentados novos elementos que foram considerados que seriam relevantes para o resultado final da inspeção.

Outra modificação proposta é a fragmentação do nível de gravidade da anomalia para cada elemento, pois esta possui quatro critérios de avaliação, quais sejam: a consequência da anomalia, tipo e extensão dos trabalhos de correção que serão necessários, relevância dos locais e existência de alternativas para o espaço ou equipamento com danos. E, por ter esses quatro critérios em um único fator de avaliação, poderia levar o avaliador à subjetividade no resultado de avaliação do elemento. A proposta de desagregação do nível de gravidade da anomalia é a substituição por dois fatores, sendo estes:

- Gravidade da anomalia: este critério considera a verificação do estado de conservação da edificação, pois é ele que definirá qual a alteração que os elementos sofrem e como os danos afetam o seu desempenho. A sua classificação ficou dividida em cinco categorias, considerando como cada anomalia afeta o funcionamento do elemento (Tabela 45).

Tabela 45 – Grau das gravidades da anomalia

Muito Ligeiras	Ligeiras	Médias	Graves	Muito Graves
5	4	3	2	1

Fonte: Vilhena (2011)

- Extensão da anomalia: com esse critério é possível auxiliar o avaliador a entender a situação em que a edificação se encontra, sendo afetado pelos danos encontrados. A sua classificação foi dividida em 5 categorias, em função da área que a anomalia atinge

no elemento. Este critério só deverá ser utilizado, quando a gravidade da anomalia for diferente de “Muito Ligeiras”, pois esta categoria corresponde à ausência de danos ou danos sem significado

Tabela 46 – Grau das extensões da anomalia

Pontual	Localizada	Média	Extensa	Total
Anomalias que afetam pontualmente o elemento funcional, sendo a sua extensão não superior a 5%	Anomalias que afetam pontualmente o elemento funcional, estando a sua extensão compreendida entre 6% e 25%	Anomalias que afetam áreas limitadas do elemento funcional, estando a sua extensão compreendida entre 26% e 50%	Anomalias que afetam grandes áreas do elemento funcional, estando a sua extensão compreendida entre 51% e 75%	Anomalias que afetam a quase totalidade do elemento funcional, sendo a sua extensão superior a 75%
1	0,95	0,85	0,75	0,65

Fonte: Vilhena (2011).

Vilhena (2011) também propõe a alteração de como é calculado o índice de anomalias, com a pontuação de cada elemento (Pt_i) sendo igual ao produto dos fatores multiplicativos concedidos para cada conjunto da gravidade da anomalia (FG_i) e da extensão da anomalia (FE_i) encontradas e, posteriormente, multiplicar com a ponderação referida ao elemento. Com essas modificações a nova fórmula será:

$$IA = \frac{\sum(FG'_i \cdot Pd_i) + \sum(FG_i \cdot FE_i \cdot Pd_i)}{\sum Pd_i} \quad (35)$$

Sendo que:

- IA – Índice de anomalias;
- FG'_i - Fator multiplicativo da gravidade da anomalia no elemento i classificado como “Muito Ligeira”;
- FG_i - Fator multiplicativo da gravidade da anomalia no elemento i não classificado como “Muito Ligeiras”;
- FE_i - Fator multiplicativo da extensão da anomalia no elemento i ;
- Pd_i - Ponderação do elemento i .

E, por último, com o estudo de diferentes formas de ponderações, Vilhena (2011) identificou a realização do cálculo de ponderações por meio das porcentagens dos custos da construção, pois, desse modo, é possível obter um resultado aproximado dos custos de reparação e, por isso, gera o interesse da aplicação desse tipo de ponderação no MAEC.

O estudo feito por Guedes, Gomes e Almeida (2012) revela como adaptar o método MAEC, quando aplicado a apenas um elemento funcional, sendo necessário adaptar a ficha de avaliação, de acordo com o elemento estudado.

A adaptação procurou realizar uma análise matemática e encadeada de como está o método original, considerando os danos que podem ser passíveis de ocorrer e que sejam possíveis de verificar e atribuir um grau de deterioração e comprometimento do elemento. Desse modo, é recomendado que, quando a avaliação é de apenas um elemento funcional, faz-se necessário estudar os sistemas existentes do elemento e determinar as anomalias que podem afetar em maior ou menor grau o seu desempenho, considerando a sua época de construção, condições de exposição, tipologia construtiva e outros motivos que podem levar à degradação dos materiais do elemento.

3.2.2.4 Limitações do Método MAEC

Segundo Guedes, Gomes e Almeida (2012), os critérios estabelecidos pelo método MAEC possui suas limitações, conforme apresentado a seguir:

- A avaliação baseia-se na apreciação de um auditor perante às condições observadas no momento da vistoria, admitindo-se que essas condições podem se alterar num curto período de tempo em virtude do modo de utilização dos locados;
- A avaliação baseia-se na observação das condições gerais da fachada de um edifício, admitindo-se que possam existir anomalias prejudiciais ao seu estado de conservação em locados não vistoriados;

- A avaliação não constitui uma garantia da manutenção do estado de conservação do elemento inspecionado, nem garante que todas as anomalias potencialmente existentes na fachada tenham sido detectadas no decorrer da vistoria e registadas na respectiva ficha de avaliação;
- A avaliação não assegura a satisfação do disposto na regulamentação e na normativa em vigor;

A avaliação não permite garantir todas as condições mínimas de habitabilidade do locado, nem qualificar as condições de conforto, de uso, de aspecto ou de economia, visto que pretende apenas avaliar o estado de conservação do elemento funcional, a fachada.

3.3 Recapitulação das Metodologias

A metodologia proposta por Klein *et al.* (1991) foi desenvolvida para estruturas de obras especiais, nela foram estipulados parâmetros dos defeitos manifestados, com o equacionamento dos danos, de forma a ser ponderado, e classificados com fatores de importância, agrupando-os em elementos e definido critérios de importância e risco para a estrutura. Essa foi base para o desenvolvimento de outras metodologias brasileiras de avaliação de estruturas.

Em seguida, foi desenvolvido o método de avaliações de estruturas GDE por Castro (1994), com atualizações de Lopes (1998), Boldo (2002), Fonseca (2007), Euqeres (2011), Azambuja (2012) e Verly (2015). Com as evoluções houve melhorias em como classificar os danos encontrado, no cálculo de deterioração dos elementos, das famílias e deterioração da estrutura global. Um dos diferenciais dessa metodologia é o uso do modelo Tuutti para evolução do dano.

Posteriormente, ainda no que se refere às metodologias brasileiras, a metodologia supramencionada sofreu correções, pois uma das críticas do método GDE tradicional são os valores extremamente altos dos graus de deterioração, com valores de crítico variando entre 100 e 200, e com diversos casos em que as estruturas com esses resultados não

refletiram a situação real da estrutura. O método GDE parametrizado conserta essa situação, já que o valor mais alto representa a ruptura da estrutura.

A metodologia CEB Boletim nº 243, método de avaliação de estruturas em concreto, é capaz de quantificar a deterioração da estrutura e realizar a classificação de condição. O grande diferencial desse método é o fator de urgência e o coeficiente de confiabilidade.

O método Alert-D de avaliação de edificações italiano foi desenvolvido com o auxílio de inteligência artificial e tecnologias de informação. Essa metodologia se utilizou da calibração do modelo Tuutti, com o intuito de melhorar a segurança da edificação. Outro ponto diferente é seu fator de posição dos elementos, fator esse não encontrado nos demais métodos estudados.

Por último, o método MAEC, desenvolvido para avaliações de condições de edificações em Portugal, com uma forma mais simplificada de avaliação, mas com uma grande dependência dos conhecimentos dos avaliadores.

As informações coletadas de diferentes metodologias com distintas formas de aplicação entre eles possuem elementos em comum importantes para a seleção delas para avaliação das estruturas existentes, no qual estão compiladas na Tabela 47.

Tabela 47 – Dados das Metodologias

	Klein et al	Grau de Deterioração de Estruturas (GDE)	GDE Parametrizado	CEB Boletim nº 243	Alert-D	MAEC
País	Brasil	Brasil	Brasil	Suíça	Itália	Portugal
Ano	1991	1994	2018	1998	2019	2006
Fluxograma para avaliação		X	X	X	X	
Relatório de apoio durante a inspeção		X	X			X
Calculo de Condição	X	X	X	X	X	X
Fator de Intensidade	X	X	X	X	X	X
Fator de Relevância do Elemento	X	X	X	X	X	
Fator de Gravidade do Dano	X					
Fator de Ponderação do Dano		X	X	X		X
Fator de Extensão				X	X	X
Fator de Urgência				X		
Posição					X	

Fonte: Próprio Autor.

4 ENSAIOS PARA AVALIAÇÃO DE ESTRUTURAS EXISTENTES

Neste capítulo são apresentados alguns dos principais ensaios destrutivos e não destrutivos que são comumente aplicados em avaliação de estruturas existentes de concreto armado, como uma forma de apoio pós-inspeções visuais, para auxiliar no diagnóstico final da estrutura.

4.1 Ensaios Destrutivos

4.1.1 Extração de Testemunhos

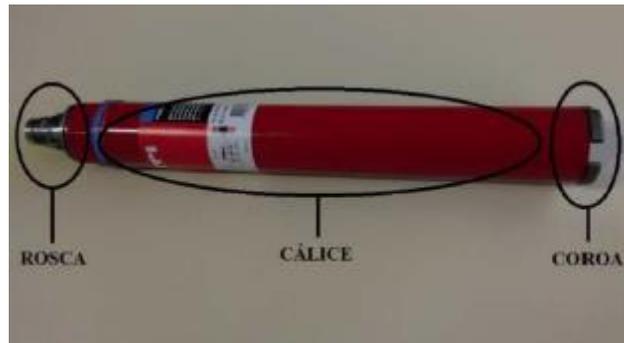
O ensaio de extração de testemunhos é o método destrutivo mais utilizado em campo para determinar a resistência do concreto *in situ*, pois a confiabilidade dos resultados obtidos é consideravelmente boa em comparação a outras técnicas. Para a extração dos testemunhos, é necessário que sejam evidentes os objetivos da atividade, tanto para as escolhas dos locais, onde serão retirados os testemunhos, quanto para o diagnóstico dos resultados. Tais objetivos podem ser relevantes para a avaliação da resistência de uma determinada região crítica da estrutura ou de uma parte suspeita de ter sido danificada, ou ainda estimar um valor de resistência representativo de toda estrutura, sendo necessária, neste caso, uma amostra aleatória que represente a estrutura como um todo (CASTRO, 2009; FIORE; PORCO; GIUSEPPINA UVA, 2013).

No Brasil, esse ensaio é regulamentado pela NBR 7680 (2015) que estabelece condições que devem ser seguidas, como processos de extração, preparação, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto. Na parte 1 da norma é explicado sobre as operações relativas à resistência à compressão.

Ainda segundo a NBR 7680 (2015), para realizar a extração de testemunhos, o equipamento utilizado deve permitir amostras cilíndricas, homogêneas e íntegras. Para se extrair os testemunhos, deve ser empregado um conjunto de extratora provido de cálice e coroa diamantada ou outro material abrasivo sem danificar significativamente a estrutura. A Figura 8 ilustra o equipamento utilizado e a demonstração do seus componentes, e a

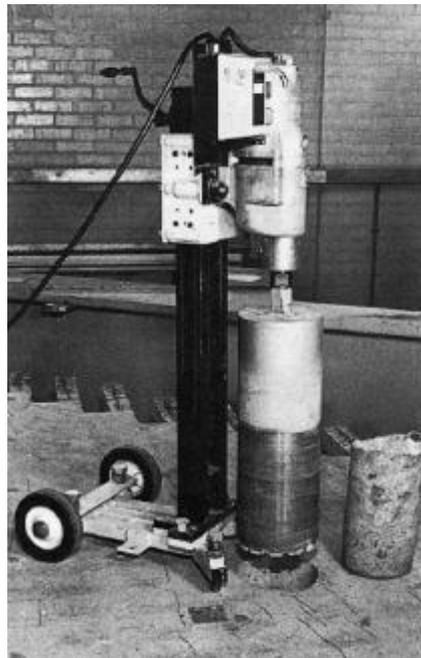
Figura 9 mostra o uso do equipamento. Outro ponto também citado na norma é que o equipamento deve possibilitar a refrigeração por meio da água no local em que está sendo realizado o corte e minimizar as vibrações, que precisam ser evitadas para se obter paralelismo entre as geratrizes dos testemunhos extraídos e evitar ondulações na superfície dos mesmos.

Figura 8 – Broca



Fonte: Santos (2016).

Figura 9 - Broca de corte do núcleo



Fonte: Bungey e Grantham (2006).

Segundo Silva Filho e Helene (2011), os diâmetros comumente utilizados para extração são 100, 75 e 50 mm e, cada vez mais, a tendência é o uso de brocas com diâmetros menores, a fim de reduzir o tamanho dos furos e, conseqüentemente, os danos à estrutura.

Referente às estruturas existentes, os requisitos para a divisão da estrutura para a retirada das amostras e a quantidade de testemunhos a serem retirados estão descritos na norma. Em alguma situação que não seja possível obter o histórico do controle tecnológico, a divisão da estrutura deve ser feita em função da importância dos elementos estruturais que a compõem e da homogeneidade do concreto, que pode ser avaliada com o uso de ensaios não destrutivos.

Para a realização da escolha onde devem ser retiradas as amostras dos elementos selecionados, após a divisão da estrutura, os testemunhos têm que ser extraídos a uma distância maior ou igual ao seu diâmetro com relação às bordas do elemento estrutural ou juntas de concretagem. Quando selecionado o local em que será retirado o testemunho, deve-se garantir que as armaduras não sejam cortadas, para isso, pode ser utilizado um pacômetro. Se for necessária a extração de mais de um testemunho no mesmo pilar, estes devem ser retirados na mesma prumada, obedecendo à distância mínima entre furos. É recomendada que a redução transversal de um pilar, em que tenha sido retirado o testemunho, seja sempre menor que 10%. A segurança estrutural deve ser monitorada em todas as etapas (antes, durante e após a extração) e, quando necessário, com o uso de escoramentos (NBR 7680, 2015).

Na retirada da amostra de concreto, após a realização do corte no elemento, é necessário exercer uma força na ortogonal ao eixo do testemunho, no topo, fazendo com que se rompa na base e com cuidado para não romper as bordas. Para a realização do ensaio de resistência, é preciso que as amostras estejam íntegras, sem fissuras, segregação, ondulações e sem materiais estranhos (exemplo: madeira), os testemunhos que possuem algum defeito são descartados (NBR 7680, 2015).

A relação entre a altura (h) e diâmetro (d), a esbelteza dos corpos de prova, é de grande relevância, por serem fatores que estão intimamente ligados à variação da resistência das amostras relacionados à sollicitação multiaxial durante o ensaio. Os testes à compressão axial com testemunhos cilíndricos devem ser o mais próximo possível de dois, mas como alguns corpos de prova, após a extração, não conseguem se igualar a dois depois do preparo, pode obedecer sempre a condição de que a relação h/d deve ficar entre um e dois ($1 \leq h/d \leq 2$).

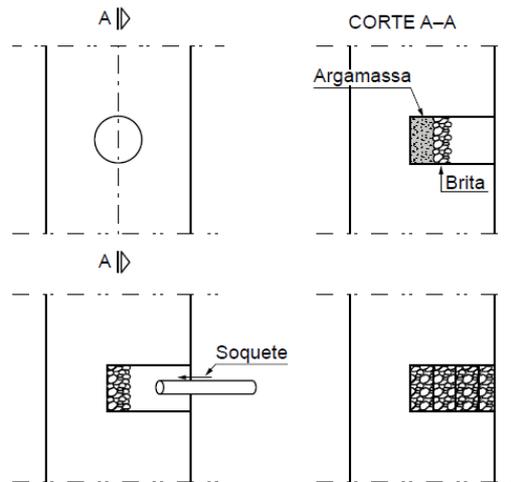
A norma descreve a determinação da resistência à compressão, informando que os ensaios das amostras retiradas devem seguir o que é estabelecido na NBR 5739 (2018), com cada etapa do teste sendo minuciosamente observada, antes e após a ruptura, e os resultados obtidos devem ser documentados. E também cita que os dados obtidos precisam passar por uma retificação que corrija possíveis interferências que possam ter sido causadas durante a execução da estrutura e na extração do testemunho.

Em seu anexo A, a NBR 7680 (2015) descreve como recuperar os locais onde foram retirados os testemunhos, de modo a garantir o desempenho da estrutura e sua durabilidade. O fechamento do furo da extração deve ser realizado o mais breve possível, de forma a evitar ataques causados por agentes presentes no ambiente externo.

O processo de recuperação do furo se inicia com o preparo e a limpeza do substrato, a fim de eliminar impurezas que poderiam atrapalhar no desempenho mecânico ou na durabilidade do elemento estrutural. Para o preparo da superfície, é recomendada que seja feita a limpeza previamente, podendo ser efetuada por meio do lixamento com auxílio de lixa apropriada para concreto ou escova de aço giratória, dessa maneira, é possível promover rugosidade no interior do furo para melhorar a aderência do concreto antigo ao que será aplicado.

No procedimento para preencher os furos horizontais, recomenda-se a utilização do socamento de argamassa seca (*dry pack*), com uma dosagem de duas partes de cimento para uma de agregado miúdo, sendo que a água da mistura deve equivaler a cerca de 10% do volume de cimento, obtendo, dessa forma, uma argamassa com uma consistência seca. O acréscimo do agregado graúdo é feito após a colocação da argamassa no interior do furo, continuando com uma sequência de uma camada com espessura inferior a 5 cm de argamassa, em seguida da camada de agregado graúdo. Após a colocação dessas camadas, com o auxílio de um soquete metálico, é preciso socar as camadas de modo que a camada de agregado graúdo seja misturada com a camada de argamassa (Figura 10) (SANTOS, 2016).

Figura 10 – Sequência do reparo da extração



Fonte: Santos (2016).

Finalizado a última camada, é preciso ser feito o acabamento do reparo, uniformizando-o com a face do elemento estrutural, com o auxílio da desempenadeira metálica. Com a finalização dessa etapa, deve ser realizada a cura que ajudem a manter a superfície do local do reparo úmida, evitando, desse modo, o destacamento das bordas.

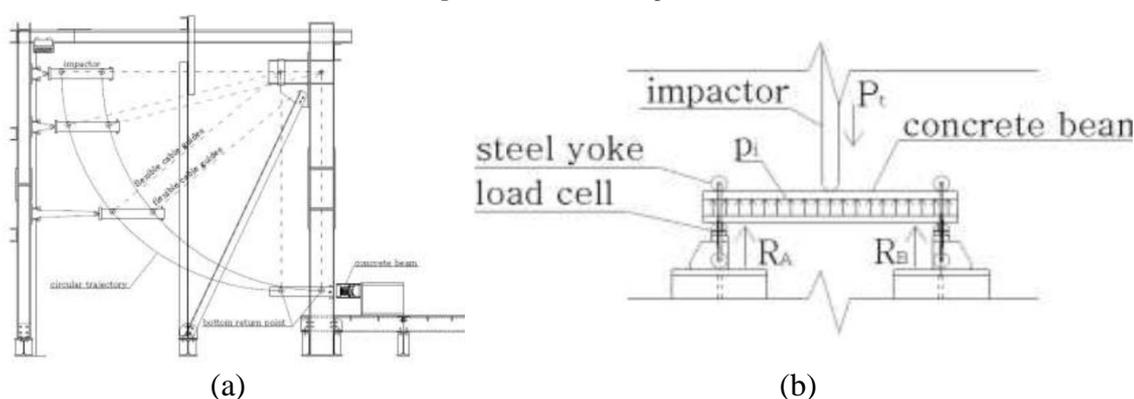
E quando os furos são realizados na vertical, a recuperação pode ser feita por meio do preenchimento de graute industrializado ou concreto autoadensável logo após o preenchimento total. Para evitar a exsudação e destacamento das bordas do reparo, recomenda-se que o material seja extravasado e, caso extravasem, é possível a utilização de fôrmas para auxiliar no preenchimento.

4.1.2 Testes de Impacto de Concreto

O princípio dos testes de impacto é a aquisição de dados como comportamento de impacto do concreto na flexão ou para projeção de elementos contra o início de trincas sob altas taxas de carregamento. O ensaio consiste em gerar uma fratura dinâmica, provocada por uma carga aplicada rapidamente, como aquela produzida por impacto. Os testes mais comuns de impacto são: teste de impacto Charpy e o teste de impacto Izod. Outros testes menos comuns são a tensão de impacto, punção, teste de protuberância explosiva, o teste de Robertson, o teste de Esso e o teste de rasgo de Nayy (MÁCA; SOVJÁK; KONVALINKA, 2014; WALTER+BAI TESTING MACHINES, 2018).

O Teste de Impacto Charpy, desenvolvido em 1905 pelo cientista francês Georges Charpy, é o teste mais comum e amplamente aplicado na indústria, pois é fácil de preparar e conduzir, e os resultados podem ser obtidos de forma rápida e barata. A amostra no teste de Charpy é apoiada em ambas as extremidades e é quebrada por um único golpe de um pêndulo (Figura 11) que atinge o meio da amostra no lado oposto do entalhe. O uso de instrumentação adicional (normalmente um percutor instrumentado) permite que uma máquina de impacto Charpy padrão monitore a resposta do tempo de carregamento da deformação e fratura do elemento avaliado. Já no Teste de Impacto Izod, que recebeu o nome do engenheiro inglês Edwin Gilbert Izod, que descreveu esse método em 1903 para a Associação Britânica, a diferença em relação ao teste anterior é que a amostra é agarrada apenas pela extremidade, o que permite que a extremidade em balanço seja atingida pelo pêndulo (WALTER+BAI TESTING MACHINES, 2018).

Figura 11 – Teste de impacto



Fonte: Máca *et al.* (2014).

As desvantagens do ensaio são sistemas de aquisição de dados insuficientemente rápidos, vibrações no quadro de carga e frequência de ressonância dos sensores. Esses problemas levam a perdas aparentes de energia e grande variação dos resultados entre os laboratórios. Esse também é limitado devido a um fato chamado duplo golpe, causado pelo rebote do impactador que pode ocorrer caso o corpo de prova não seja totalmente quebrado pelo primeiro golpe do impactador.

4.1.3 Ensaios Medida da Profundidade de Carbonatação

O ensaio consiste em determinar a profundidade da camada carbonatada na superfície do concreto endurecido por meio de um indicador. A solução de fenolftaleína é adequada

para determinar a profundidade de carbonatação, pois o material torna o concreto não carbonatado vermelho, e permanece incolor no concreto carbonatado (Figura 12). Em situações de estruturas existentes, o teste é realizado *in situ* (RILEM, 1988).

Figura 12 - Carbonatação



Fonte: Farias e Silva (2017).

Em estruturas existentes, a determinação da profundidade de carbonatação pode ser realizada utilizando núcleos perfurados, retirados de estruturas concluídas e posteriormente divididos. O diâmetro de tal núcleo perfurado deve ser de pelo menos 50 mm.

A determinação da profundidade de carbonatação em núcleos perfurados deve ser realizada imediatamente após a perfuração. Se um armazenamento mais longo for inevitável, por razões especiais, as amostras devem ser armazenadas em recipientes livres de CO₂, até que possam ser medidos.

A profundidade da carbonatação deve ser medida em superfícies divididas das amostras em ângulos retos até a superfície de um membro estrutural. As medições realizadas na superfície externa dos núcleos perfurados são menos precisas.

4.2 Ensaios Não Destrutivos

4.2.1 Pacômetro

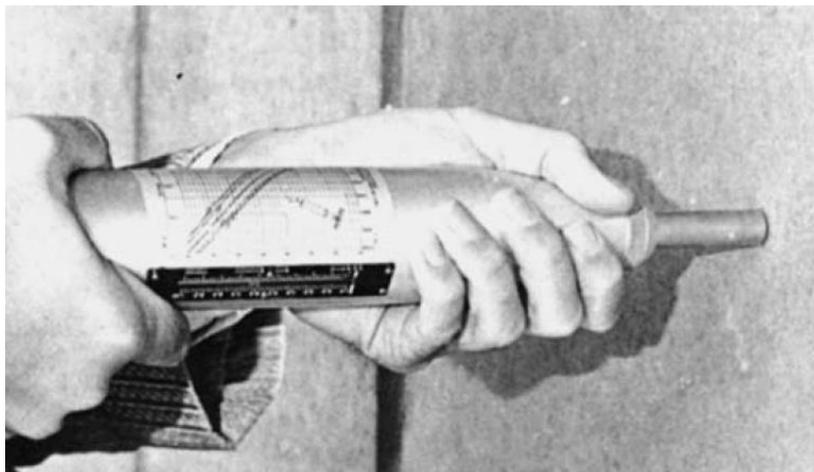
O pacômetro é um equipamento que pode detectar armaduras e também o cobrimento do concreto. Este aparelho realiza a leitura com base na interação que acontece entre a armadura e o campo eletromagnético de baixa frequência, criado pelo próprio equipamento. Desse modo, com os dados recolhidos de intensidade e frequência, é estimado o diâmetro e o cobrimento da armadura (ACI 228 2R, 2013; SANTOS, 2008).

Conforme explicado por Sahuinco (2011), após a calibração do pacômetro, o ensaio é aplicado, percorrendo a sonda em pontos previamente marcados, identificando por meio de sinais sonoros a existência de armadura nas proximidades do ponto, obtendo, desse modo, a leitura do cobrimento da armadura e espaçamento entre elas.

4.2.2 Esclerômetro

O engenheiro suíço Ernst Schmidt foi o primeiro a desenvolver a prática do uso do esclerômetro (Figura 13), aparelho também conhecido como *rebound trest hammer*, no fim dos anos de 1940. O funcionamento desse equipamento ocorre quando pressionado contra uma superfície de concreto, o êmbolo retrai contra a mola e esta é automaticamente liberada, quando totalmente tensionada, ocasionando um impacto no concreto através do êmbolo. Após a aplicação do esclerômetro, é possível ver no próprio aparelho o resultado do teste. O equipamento é de fácil utilização e pode ser operado de forma horizontal ou vertical (BUNGEY; MILLARD; GRANTHAM, 2006).

Figura 13 – Aplicação do esclerômetro



Fonte: Bungey, Millard, Grantham (2006).

De acordo com a NBR 7584 (2012), o ensaio permite, como um método não destrutivo, medir a dureza superficial do concreto e fornecer dados para avaliar a qualidade do concreto endurecido.

Ainda, na norma NBR 7584 (2012), é descrito como deve ser executado o ensaio, inicialmente a superfície do concreto deve estar seca, limpa e plana, outros tipos de superfícies devem ser evitados, pois não fornecem dados homogêneos. Para realizar o ensaio, a área de aplicação deve ser preparada por meio de um polimento energético ou disco de carborundum, por movimentos circulares, e a poeira gerada deve ser removida a seco. A aplicação deve estar afastada de regiões afetadas por segregação, exsudação, concentração excessiva de armadura, juntas de concretagem, cantos, a restas etc. Os impactos com o aparelho devem ser feitos dentro de uma área em 16 pontos.

Segundo Bungey, Millard e Grantham (2006), o ensaio do esclerômetro pode ser influenciado por dois fatores:

1. Combinação de características: tipo de cimento, composição do cimento e tipo do agregado graúdo;
2. Característica do elemento: Massa, compactação, tipo de superfície, idade, taxa de endurecimento, cura, carbonatação superficial, umidade, estado de estresse e temperatura.

4.2.3 Ultrassom

Segundo Sahuinco (2011), este ensaio consiste em avaliar a velocidade de propagação de pulsos ultrassônicos através de dois pontos marcados. O equipamento registra o tempo em que o pulso leva para percorrer de um ponto a outro. Com dado do tempo encontrado pelo aparelho e a distância entre os dois pontos, é obtido o valor da velocidade do pulso.

As primeiras informações do uso da medição da velocidade de pulsos gerados mecanicamente que passam através do concreto se iniciou nos Estados Unidos, na metade da década de 1940. Na época, foi encontrado que a velocidade dependia, primeiramente, da propriedade elástica do material e quase independentemente da geometria. Ao longo do tempo, esse método de medição foi desenvolvido para o ultrassom moderno, sendo pulsos gerados nas frequências entre 20-150kHz, gerado e registrado por circuitos eletrônicos (BUNGEY; MILLARD; GRANTHAM, 2006).

a) Equipamentos de ultrassom

Os equipamentos utilizados para este ensaio são compostos pelos seguintes elementos (NEPOMUCENO, 1999):

- Um gerador de impulsos, gera impulsos elétricos repetidos que são transmitidos através do cabo de conexão para o transdutor emissor;
- Transdutor emissor, com os impulsos elétricos recebidos, os transformam em ondas de impacto de energia mecânica, que percorrem o concreto por uma extensão conhecida, até serem recebidos pelo transdutor receptor. Esse tipo de transdutores eletroacústicos produz, predominantemente, ondas longitudinais, com deslocamento na direção do percurso (conhecidas como ondas de compressão), por serem mais rápidas em gerarem informações mais úteis;
- Transdutor receptor, recebe a energia mecânica e a converte em impulso elétrico da mesma frequência e este é transmitido para o amplificador através de um outro cabo de conexão;

- Amplificador, este amplia o sinal captado pelo receptor, de forma a permitir a sua detecção pela unidade de medição do tempo;
- Unidade de medição do tempo que, após detectar o sinal de recepção da onda, é quantificado o intervalo de tempo decorrido entre a emissão e a recepção do impulso;
- Mostrador digital, mostra o tempo que leva o percurso da onda, expresso em microssegundos.

Figura 14 – Equipamento de ultrassom



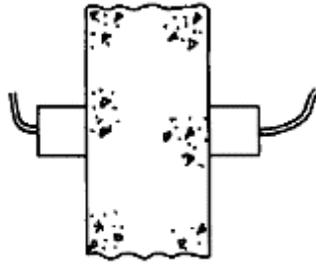
Fonte: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn%3AANd9GcQqFK6HJCYGsjALixkUxpICflu2ByqEEoyYvk43WWBqkNHvcOBX&usqp=CAU>

b) Formas de aplicação do ultrassom

Dependendo das superfícies livres em que o ensaio pode ser aplicado, poderá condicionar a escolha para as leituras e a precisão dos resultados. Conforme Bungey, Millard e Grantham (2006), é possível a aplicação de três formas de leitura, dependendo da disposição escolhida para os transdutores.

- a) Faces opostas (transmissão direta): segundo Nepomuceno (1999), este é o método mais adequado, uma vez que a máxima energia do impulso é transmitida, segundo a direção normal do transdutor emissor (Figura 15);

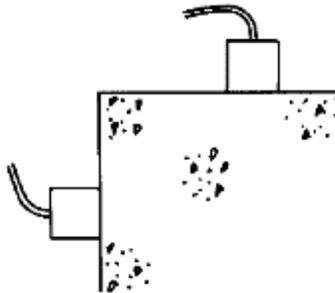
Figura 15 – Medição direta



Fonte: Bungey, Millard e Grantham (2006).

- b) Faces adjacentes (transmissão semidireta): este método pode ser utilizado quando o ângulo entre os transdutores não for muito grande e a distância não pode ser longa, pois o comprimento do percurso da onda não fica bem definida, tanto quanto a leitura direta (Figura 16);

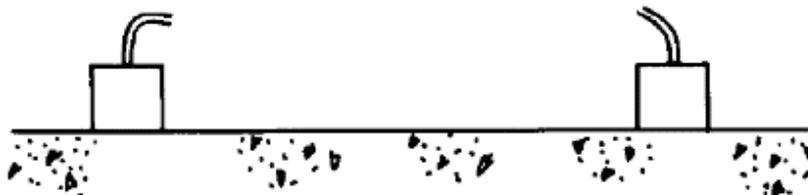
Figura 16 – Medição semidireta



Fonte: Bungey, Millard e Grantham (2006).

- c) Mesma face (transmissão indireta): dentre os três, esse é o método menos satisfatório, pois a amplitude do sinal emitido pode ser inferior a 3% em relação ao método direto. A velocidade de propagação será influenciada predominantemente pela camada superficial do concreto, conseqüentemente, isso não pode ser representativo pelo seu interior (Figura 17);

Figura 17 – Medição indireta



Fonte: Bungey, Millard e Grantham (2006).

- c) Aplicações

Segundo Sahuinco (2011), este é um método totalmente não destrutivo e pode avaliar o concreto em toda a espessura do elemento estrutural, caso seja feita a transmissão direta. Quando há boa ligação entre o concreto e o transdutor, é um ponto crítico do método e a interpretação dos resultados pode ser difícil.

O aparelho de ultrassom pode ser utilizado em laboratório, em experimentos que estão relacionados ao comportamento do material ou da estrutura, incluindo os ensaios com o desenvolvimento ou deterioração das amostras em diferentes condições de cura ou ambientes agressivos.

Em campo, a aplicação desse equipamento é abrangente e variada. Uma medição que pode ser realizada é a da uniformidade do concreto que, conforme apresentado por Bungey, Millard e Grantham (2006), essa é provavelmente a aplicação mais valiosa e confiável deste método em campo. Nessa área de atuação, há diversas pesquisas publicadas com o uso do ultrassom para examinar a uniformidade dos elementos.

Com o uso do ultrassom em campo, também é possível a detecção de fissuras e de segregação, outra aplicação de grande importância. Como uma das características do pulso gerado é que este não consegue viajar pelo ar, por isso, a presença de uma rachadura ou um vazio no caminho aumentará o comprimento do percurso (à medida que percorre a falha) e aumentará a atenuação para que um tempo de trânsito mais longo seja registrado. Sendo assim, a velocidade obtida do pulso será menor do que para o material sonoro. Porém, esse conhecimento só se aplica em rachaduras ou vazios que não estejam cheios d'água, pois as ondas de compressão viajam pela água.

Outra aplicação é para estimar a resistência do concreto, no entanto, não há como ter um valor absoluto da resistência em campo com a velocidade do pulso. Pois, mesmo que seja possível estabelecer correlações com a resistência, a compressão e a flexão encontradas em laboratório, os problemas são consideráveis. Embora não seja o método ideal, pode ser utilizado quando for a única forma de abordagem a ser utilizada em campo, devendo ser levada em consideração a umidade relativa das amostras para realização da calibração, pois, se isso não for levado em consideração, pode subestimar a resistência.

O método de ultrassom é comumente utilizado para avaliação da deterioração do concreto, pois com o pulso é possível definir a extensão e magnitude da deterioração resultante de um incêndio, ataque mecânico, geada ou química. Para avaliar a profundidade do incêndio ou do ataque químico, pressupõe-se que a velocidade na superfície danificada é igual a zero e que a velocidade do pulso aumenta no interior.

4.2.4 Ensaio de “*Pull Off*”

O ensaio *Pull Off* foi desenvolvido na década de 70, na Inglaterra, com o propósito de determinar a resistência do concreto *in locu*, como informa Long e Murray (1984 *apud* PEREIRA; MEDEIROS, 2012). Com este ensaio, é possível medir a resistência à tração, aplicando uma força de tração direta (BUNGEY; MILLARD; GRANTHAM, 2006).

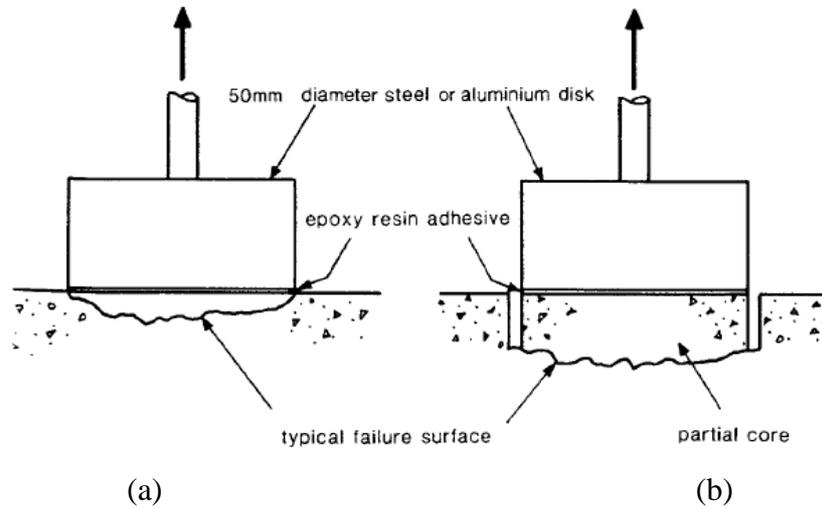
Para este ensaio, não há uma norma brasileira, é comumente utilizado a norma alemã BS 1881: Part 207 (1992 *apud* EVANGELISTA, 2002). A metodologia *Pull Off* vem mostrando resultados consistentes e de confiança, e os resultados que não são satisfatórios são visíveis após o ensaio, através da observação da superfície de ruptura (PEREIRA; MEDEIROS, 2012).

a) Aplicação do ensaio

Este ensaio é aplicado com um disco circular metálico (usualmente de 50 mm) colado no concreto; posteriormente uma força tração é empregada a este disco, usando um sistema mecânico portátil até o concreto, até romper a peça que está colada. O dispositivo utilizado aplica uma força máxima de tração 10 kN em uma razão de, aproximadamente, 6 kN/min, através da haste rosqueada do disco de metal (EVANGELISTA, 2002; MALHOTRA; CARINO, 2004).

De acordo com a norma BS 1881 Parte 207 (1992 *apud* EVANGELISTA, 2002), há duas formas de ser realizada: com corte superficial seguindo a dimensão do disco (Figura 18b) e sem a execução deste (Figura 18a). A vantagem em realizar a execução do corte é que este pode evitar a influência das condições da superfície do concreto, como no caso das superfícies carbonatadas.

Figura 18 – Superficial e parcialmente com núcleo



Fonte: Bungey, Millard, Grantham (2006).

Caso o ensaio seja executado sem o corte superficial, a zona fraturada ocorre aproximadamente a 5 mm abaixo da superfície. Contudo, se for o ensaio com o corte, a zona em que deve ser fraturada deverá ocorrer a uma profundidade de no mínimo de 20 mm, para que não tenham variações na resistência no arrancamento (BUNGEY, MANDANDOUST, 1992 *apud* EVANGELISTA, 2002).

b) Vantagens do ensaio

Uma das vantagens apresentadas neste ensaio é por ele ser simples de se executar, não sendo necessária uma mão de obra qualificada. Esse ensaio se mostra eficiente se utilizado em vigas lajes, pois o ensaio demonstra que também é adequado para execução em elementos estruturais de pequena seção (PEREIRA; MEDEIROS, 2012). E, conforme Malhotra e Carino (2004), todo o processo de preparo de superfície e colagem do disco de metal não demora mais que 15 min e o dano causado na superfície do concreto após o teste não é severo.

Segundo Long e Murray (1984 *apud* EVANGELISTA, 2002), a tensão de ruptura tem relação direta com a resistência à tração, pois esta é afetada pela compactação e as condições de cura. Para o ensaio *Pull Off*, não é necessário um planejamento anterior ao lançamento do concreto.

c) Fatores que influenciam no resultado do ensaio

Segundo Gonsalves (1986 *apud* EVANGELISTA, 2002), a relação entre a força de tração e a resistência à compressão está diretamente ligada a fatores como: idade, tipo e dimensão máxima do agregado, condições de cura, dosagem e tipo de cimento.

Além dos fatores supracitados, para Bungey e Madandoust (1992 *apud* EVANGELISTA, 2002), outros fatores, como material do disco, diâmetro e espessura do disco, efeitos do corte no concreto, sistema de reação do equipamento, velocidade de aplicação de carga, devem ser levados em consideração no momento do ensaio.

4.3 Aplicação de Ensaio em Metodologias Visuais

Os ensaios destrutivos e não destrutivos em metodologias visuais são utilizados como apoio para confirmar o que foi visto ou verificar danos não visíveis. Os ensaios como extração de testemunho servem para confirmar as resistências dos elementos ou para profundidade de carbonatação, que são danos não visíveis, e para confirmar as suspeitas do avaliador. Um dos itens do método GDE é a classificação da profundidade, como não é visível a olho nu, é utilizado o ensaio como auxílio.

Nos ensaios não destrutivos, como o resultado do esclerometro pode dar a indicação de uma determinada classe do concreto e este pode estar muito degradado, com os dados coletados e o conhecimento do inspetor, é possível aplicar essa informação às metodologias.

Dessa forma, seguramente pode-se utilizar os dados de ensaios, porém é preciso um critério e cuidado, pois essa é uma ferramenta muito importante, entretanto, o que sustenta as metodologias são os levantamentos visuais, já que a experiência do vistoriador é de extrema importância. Ainda há um risco no uso das informações de alguns ensaios, pois alguns são muito localizados ou não são tão sensíveis a determinados materiais de patologias, assim, alguns ensaios podem ser úteis para alguns parâmetros e não para outros.

5 METODOLOGIA DA DISSERTAÇÃO

A seleção dos métodos de avaliação escolhidos para este estudo levou em consideração os seguintes critérios:

- Instruções dadas para as vistorias;
- Cálculos que possam quantificar e qualificar os resultados;
- Atualização mais recente de cada metodologia.

Para este trabalho, foram selecionados cinco métodos de avaliação de estruturas existentes, sendo estas:

- GDE Parametrizado (PANTOJA *et al.*, 2018): Método Brasileiro de análise voltado para estruturas de concreto;
- CEB Boletim nº 243 (1998): Norma com método europeu de análise voltado para estruturas de concreto;
- Alert-D (SANGIORGIO *et al.*, 2019): Método desenvolvido na Itália para avaliação de edificações;
- MAEC (2007): Método português de avaliação de edificações;
- Norma Holandesa NEN 2767 (2006): Método holandês de avaliação de condição de edificações.

5.1 Coleta de Dados

Para se conseguir um melhor resultado das vistorias, é de suma importância que no perfil do técnico avaliador possua experiência na área de inspeção e manutenção de estruturas de concreto. O inspetor precisa ser capaz de ler as metodologias, capacitado para interpretá-las e conseguir usá-las como ferramentas de avaliação. Se este não possuir compreensão sobre as estruturas e conhecimento técnico sobre as patologias, sem ter esse conhecimento consolidado, maior o risco de erro dos resultados das avaliações.

Na coleta das manifestações patológicas, previamente à inspeção, é preciso encontrar danos que podem ser gerados em razão de falhas originadas no projeto, condição que foi

feita na execução, qualidade de materiais usados, na utilização e na manutenção. A qualidade e a quantidade das informações coletadas são imprescindíveis para os resultados.

Por fim, a inspeção precisa ser efetuada de forma cautelosa e fundamentada em bibliografias, seguindo etapas já estabelecidas nas metodologias de avaliação de estrutura.

5.2 Diferença dos Métodos Durante a Vistoria

A partir das informações levantadas com as estruturas avaliadas, foi possível definir pontos relevantes para cada metodologia para a aplicação destas na vistoria.

A metodologia GDE parametrizado trata-se de um método desenvolvido no Brasil, voltado para estruturas de concreto e estendida posteriormente para estruturas de aço. Um ponto que pôde ser levantado durante a análise foi o auxílio da lista dos fatores de intensidade extensa, que facilita no momento de definir o grau do dano durante a aplicação e, mesmo sendo uma vasta lista, ainda é possível alterar para acrescentar novas manifestações patológicas

A metodologia CEB boletim 243 é uma norma desenvolvida na Europa cuja análise está voltada para estruturas de concreto. No entanto, assim como o método anterior, a lista dos fatores de intensidade é extensa e de grande ajuda durante a vistoria, podendo também ser alterada para acrescentar novos danos.

A metodologia Alert-D é um método desenvolvido na Itália para inspeções de edificações, contudo, para este trabalho, foi utilizado especificamente para estrutura de concreto. Por ser um método recente, há poucas aplicações com este método. A lista do fator de intensidade das manifestações patológicas possui um número baixo de danos listados, mas é possível ser alterada para acrescentar novos itens.

O método MAEC, da mesma forma que o Alert-D, foi desenvolvido para inspeções de edificações, porém esse também pode ser aplicado somente em um único tipo de família

de elementos. Por ser um método desenvolvido em Portugal, assim como o GDE parametrizado, já é um método bem estabelecido nos países em que foram desenvolvidos. A lista do fator de intensidade é mais aberta em relação aos métodos anteriores, sendo necessário uma maior experiência do vistoriador para aplicação correta.

Já a norma holandesa, NEN 2767, é uma metodologia voltada para inspeções de edificações, assim como os dois métodos descritos anteriormente, e pode ser voltada especificamente para estruturas, nomeada na norma como elemento construtivo. A normativa não apresenta em seu texto uma lista de classificação de danos, deixando a identificação apenas na experiência do inspetor.

5.3 Diferenças entre os Cálculos

Para a classificação da situação do grau de deterioração da estrutura, cada método se utiliza de fatores de avaliação que podem influenciar no resultado final. A Tabela 48 mostra quais fatores foram utilizados durante a avaliação da estrutura e para os cálculos do grau de degradação.

Tabela 48 – Tabela de fatores

Métodos	Fatores					
	Fator de Ponderação do Dano	Fator de Intensidade	Fator de Extensão	Elemento Danificado	Posição	Fator de Urgência
GDE parametrizado	X	X		X		
CEB boletim 243	X	X	X	X		X
Alert-D		X	X	X	X	
MAEC	X	X	X	X		
Norma Holandesa (NEN 2767)	X	X	X			

Fonte: Próprio autor.

Outra diferença entre os métodos é o cálculo do grau dos danos. O método GDE parametrizado se utiliza do modelo Tutti para regular o resultado do grau do dano, dependendo se o dano está em estágio inicial ou em propagação. No método CEB boletim 243, para esse item é feito o cálculo do produto dos fatores para o grau de dano. No método Alert-D, mesmo sendo o produto dos fatores, foi feito também o uso do modelo Tutti para regular o resultado final do grau do dano. No método MAEC e a NEN 2767 não ocorre a separação pelo grau do dano, generalizando o dano em um único resultado.

Para o cálculo do grau de deterioração dos elementos, foram gerados resultados diferentes entre cada método. Começando pelo método GDE parametrizado, para o cálculo do grau do dano, é necessário o valor da soma de todos os danos do elemento e o dano máximo do elemento; o método Alert-D também se utiliza desses dados. Para o método CEB boletim 243, é a somatória de todos os danos do elemento e o maior valor possível para um dano; e no método MAEC, o dano do elemento se dá a partir dos resultados da multiplicação do fator de gravidade e extensão. Já na Norma Holandesa, é a relevância do dano, intensidade e extensão multiplicados para gerar o dado.

Para o cálculo do grau de deterioração das famílias, no método GDE parametrizado é feito com a soma de todos os graus de deterioração do elemento e o maior valor dos graus de deterioração do elemento. Para método Alert-D, é necessário o somatório de todos os graus de deterioração dos elementos, o índice de elementos por metro quadrado e a área total da estrutura. No método MAEC e Norma Holandesa, é apenas a média de todos os elementos das famílias.

E, por fim, para o grau de deterioração da estrutura no método GDE parametrizado, CEB boletim 243, MAEC e NEN 2767, é necessário o fator de ponderação e grau de deterioração das famílias. No método Alert-D, é realizado pelo somatório de todos os graus de deterioração dos elementos, o índice de todos os elementos por metro quadrado e a área total da estrutura.

5.4 Falsos positivos e falsos negativos

A avaliação visual de estruturas, como em todos os métodos supracitados, ainda pode passar por situações de falsos positivos (estruturas que estão em situação leve, mas são diagnosticados como críticos) e falsos negativos (estruturas que estão em situação crítica, mas são diagnosticados como leve). Os métodos informam que é de suma importância a experiência e treinamento do vistoriador, pois o inspetor com baixa experiência pode gerar resultados imprecisos.

O método GDE parametrizado, a fim de diminuir essa imprecisão, se utiliza do “Roteiro de Inspeção para Estruturas de Concreto”, com descrições das manifestações patológicas mais comuns, de forma a facilitar a identificação, e como aplicá-las nos fatores dos métodos, sem tirar a importância da qualificação dos avaliadores. Nesse método, os principais itens a serem observados para evitar esses erros são: a identificação do dano e o valor de intensidade, pois estes são os únicos dos itens que dependem fundamentalmente da experiência do vistoriador para preenchê-las, as demais fases do método possuem os seus valores tabelados.

O método CEB boletim 243 possui uma tabela com a seleção dos danos mais comuns e suas formas de identificação, bem como a quantificação dos danos. Igualmente ao método GDE parametrizado, os itens em que se deve ter maior atenção no preenchimento são: seleção dos danos, o fator de intensidade e o fator de extensão, pois estes precisam de um profissional qualificado.

No Alert-D também possui uma tabela de identificação das manifestações patológicas de maior presença nas estruturas de concreto armado. Os itens que se deve ter maior cuidado são: seleção dos danos, o fator de intensidade e o fator de extensão, que, assim como nas situações anteriores, os vistoriadores precisam de treinamento especializado.

Já o CEB boletim 243 e o MAEC não possuem roteiros ou tabelas com descrições específicas dos danos, porém há descrição de como identificar os danos de forma geral, assim, esses métodos se apoiam mais nos conhecimentos dos inspetores. Os três fatores de avaliação são modificáveis pelo avaliador, dessa forma, o inspetor deve ter uma maior experiência para aplicação desses métodos.

6 ESTUDOS DE CASO

Neste capítulo será apresentado um breve histórico sobre as estruturas inspecionadas, com os dados levantados nas vistorias com a utilização dos métodos de avaliação. Nos estudos de caso, são apresentados as manifestações patológicas encontradas e os dados dos ensaios realizados em campo.

A escolha se iniciou sobre uma edificação escolar pública, o Instituto Central de Ciências (ICC), localizado em Brasília, por se tratar de uma construção histórica para a cidade e por ser uma estrutura que ao longo dos anos passou por poucas manutenções. Em seguida, uma edificação residencial privada, uma casa com dois pavimentos, localizada no bairro Jardim Botânico, em Brasília, a qual foi escolhida por ser uma estrutura possível de realizar a vistoria em diversas famílias de elemento. Além disso, antes da inspeção, há algum tempo, a edificação começou a apresentar um princípio de um colapso estrutural. A terceira edificação do estudo trata-se de um dos principais viadutos da capital brasileira, o viaduto da galeria dos estados, que passou, em 2018, por uma das principais situações mais críticas de uma construção, que foi o colapso parcial.

6.1 Unidade Residencial – Brasília/DF

Essa edificação fica localizada em Brasília (Brasil), no bairro do Jardim Botânico, no Condomínio AMOBB (Figura 19). Foi projetado para ser utilizada como uma unidade residencial. A sua estrutura está localizada em uma região que não apresenta grandes variações de temperatura durante o ano, cujas estações apresentam predominantemente duas estações: a estação chuvosa, de outubro até março; e a estação de seca, de abril até dezembro. O local onde se encontra a edificação não há grandes índices de poluição, por ser um bairro afastado do centro da cidade e não possuir nenhuma indústria em sua intermediação.

Figura 19 - Localização da casa



Fonte: Google Maps (2020).

Com uma área construída de 252,81 m², a residência é composta por dois níveis, sendo estes o térreo (Figura 20) e o subsolo (Figura 21).

Figura 20 - Fachada Frontal



Fonte: Arquivo Próprio.

Figura 21 - Fachada Posterior



Fonte: Arquivo Próprio.

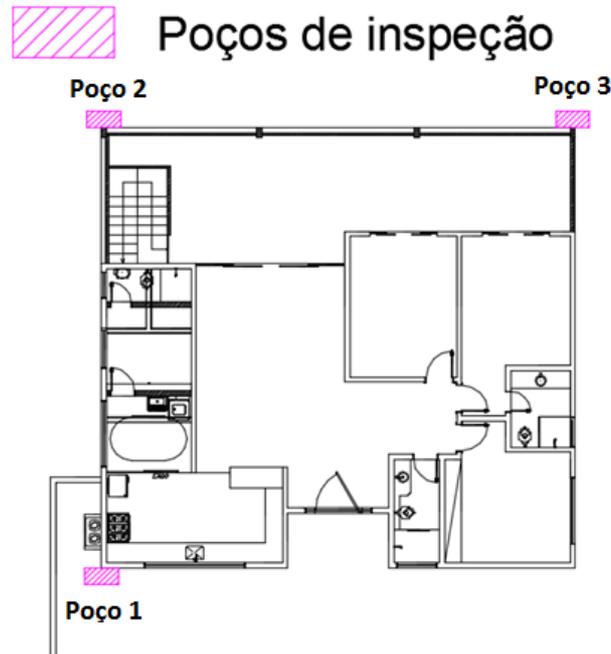
6.1.1 Vistoria

Uma inspeção visual da edificação foi realizada, em 2016, com análise dos elementos estruturais da edificação. A estrutura analisada, segundo o projeto, é em concreto armado, com fundações em estacas de concreto e em alvenaria de tijolos cerâmicos furados. Os itens a seguir explanam informações levantadas em campo.

6.1.1.1 Fundações

Um dos danos identificados no início da avaliação foi o recalque da fundação. Para melhor diagnóstico da manifestação patológica, foi estudado o projeto estrutural e arquitetônico e feito um levantamento do que foi efetivamente executado, para ser realizado uma verificação entre o projeto e a execução. No projeto, é mostrado que os maiores blocos teriam as dimensões de 70cm x 70cm x 40cm e associado ao bloco há um elemento de estaca, também detalhado no projeto. Para realizar as inspeções, foram escavados três poços, como mostrado na Figura 22.

Figura 22 - Poços de inspeção



Fonte: Arquivo Próprio.

Com as escavações dos poços, foi verificado que os blocos apresentaram as dimensões de 80 cm x 80 cm x 50 cm, diferente do que estava no projeto. No local em que deveria ser encontradas as estacas, foi observada, nos poços de visita 1 (Figura 23) e 3 (Figura 24), a existência de tijolos cerâmicos abaixo do bloco; e no poço de visita 2 (Figura 25), foi detectada uma broca de 30 centímetros de diâmetro com a profundidade de 40 centímetros, e não sendo detectada nenhuma estaca, como estava previsto no projeto.

Figura 23 - Poço 1 - Blocos sobre tijolos cerâmicos



Fonte: Arquivo Próprio.

Figura 24 - Poço 3 - Blocos sobre tijolos cerâmicos



Fonte: Arquivo Próprio.

Figura 25 - Poço 2 - Bloco sob broca



Fonte: Arquivo Próprio.

Na avaliação das funções, foi realizado o ensaio SPT (*Standard Penetration Test*) para caracterizar o solo do local. Com esse teste, foi possível detectar que o solo é muito resistente e não foi encontrado presença de água, conforme mostra a Figura 26.

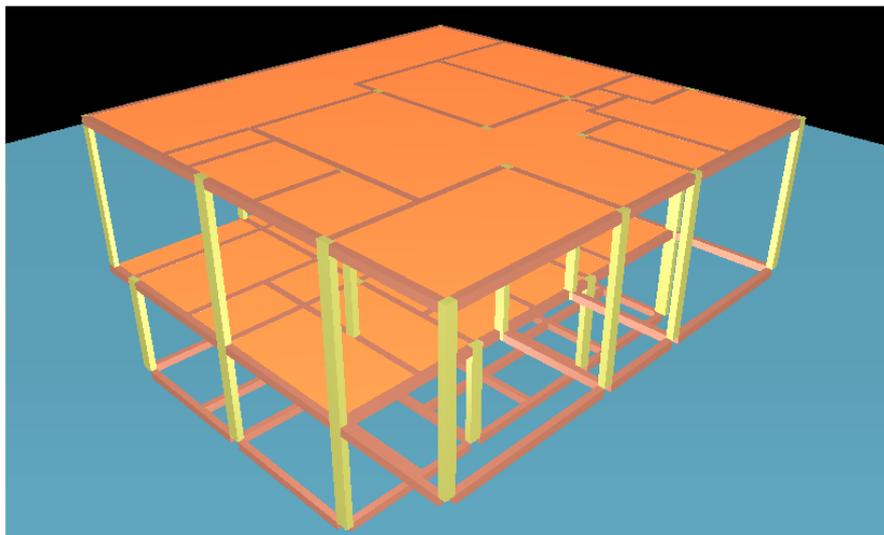
Figura 26 - Sondagens



Fonte: Arquivo Próprio.

Por meio de modelagem numérica, com o uso do programa CAD TQS (Figura 27) da estrutura, foi encontrado que 63% dos pilares ultrapassavam a resistência de aproximadamente 16 toneladas-força.

Figura 27 - Modelagem da estrutura



Fonte: Arquivo Próprio.

6.1.1.2 Vigas

Na sequência, foram encontrados danos nas vigas do subsolo, como insuficiência de cobertura, corrosão (Figura 28) e segregação (Figura 29). Nota-se que essas manifestações patológicas são encontradas em todos os elementos dessa família. Nas vigas, também há presença das armaduras expostas, indicando o cobertura deficiente ou até a falta deste, como está evidenciado na Figura 28 (a), não seguindo o que pede na norma ABNT NBR 6118 (2014), que informa que o cobertura deve ser de 30 mm para ambientes urbanos. Como uma das consequências disso, essas armaduras expostas apresentam focos de corrosão, conforme apresentado na Figura 28.

Figura 28 - Presença de corrosão nas armaduras das vigas



Fonte: Arquivo Próprio.

Figura 29 - Segregação do concreto da viga do subsolo



Fonte: Arquivo Próprio.

A causa dessas anomalias foi gerada pela baixa qualidade da execução da estrutura, podendo ser correlacionada com a tentativa do executor em economizar nos materiais. Com uma possível tentativa de economia dos materiais, em substituição do agregado, foram encontrados restos de obras, tais como pedaços de isopor, madeira e pedaços de concreto rompido (Figura 30).

Figura 30 - Isopor na composição das vigas



Fonte: Arquivo Próprio.

Em cerca de 25% das vigas do subsolo, foram encontrados um quadro de fissuração generalizada, o que deve ter sido ocasionado pelos grandes esforços a que estão submetidos e junto com a má execução das vigas. Das fissuras encontradas, a maioria está no sentido vertical, o que pode ter sido ocasionada pela tração nas vigas, retração hidráulica ou mesmo corrosão da armadura, devido ao cobrimento insuficiente (Figura 31).

Figura 31 - Fissuras nas vigas do teto subsolo



Fonte: Arquivo Próprio.

Na verificação da armadura, foi realizada uma escarificação para inspeções em alguns pontos. Assim, pode-se constatar que, na junção entre as vigas, não há ligação entre algumas ferragens, visto que as armaduras negativas de flexão não se envolvem, não ocorrendo a transferência adequada de esforços entre estas (Figura 32).

Figura 32 - Armaduras no cruzamento entre vigas



(a)

(b)

Fonte: Arquivo Próprio.

Também foi possível notar na inspeção que, em algumas vigas flexionadas, é perceptível uma deformação e a falta de linearidade que é esperado desse elemento (Figura 33).

Figura 33 - Viga com flexão e viga com aparência normal



Fonte: Arquivo Próprio.

Nas fissuras inspecionadas, indicava a ocorrência de cisalhamento e flexão (Figura 34).

Figura 34 - Fissura de flexão (a) e cisalhamento (b)



Fonte: Arquivo Próprio.

6.1.1.3 Pilares

Na inspeção, foi encontrada armadura exposta em um dos pilares que sustentava a varanda. Outra manifestação patológica encontrada referente aos pilares é a ocorrência de deslocamento, ocasionada por causa do esmagamento do concreto do pilar (Figura 35).

Figura 35 - Armadura exposta (a) e esmagamento (b)



Fonte: Arquivo Próprio.

6.1.1.4 Lajes

O sistema construtivo para as lajes é que elas são pré-moldadas, sendo constituídas por vigotas de concreto armado pré-moldado com preenchimento entre elas, feitos por blocos de EPS (Poliestireno Expansível) para redução de volume de concreto e peso da laje. As manifestações patológicas encontradas nesse elemento foram grandes fissuras e deslocamentos (Figura 36), provavelmente ocorridos devido a sobrecargas na extremidade da vigota, material inadequado ou execução de corte da vigota incorretamente.

Figura 36 - Fissuras e deslocamento



Fonte: Arquivo Próprio.

6.1.1.5 Reformas

É possível encontrar algumas escoras de concreto no subsolo apoiando alguns pilares. No projeto estrutural original, essas escoras não estavam presentes, indicando uma provável tentativa de remediar os sintomas já existentes de movimentação (Figura 37).

Figura 37 - Escoramento dos pilares no subsolo



Fonte: Arquivo Próprio.

6.1.2 Processamento dos Dados e Resultados

Após a coleta dos dados da vistoria pela equipe especializada LABRAC, foi iniciado o processamento dos dados levantados. Os resultados referentes à unidade residencial em Brasília estão presentes nesta seção, os quais foram classificados pelos métodos estudados. Com as famílias selecionadas, foi possível gerar um resultado global da estrutura. Os cinco métodos de avaliação selecionados estão apresentados a seguir.

6.1.2.1 GDE Parametrizado

O resultado global da estrutura (Tabela 49), para o método GDE parametrizado, apresentou um Grau de Dano (Gd) igual a 1,0, representando um nível crítico de degradação, sendo recomendável uma inspeção especial emergencial e iniciar um planejamento para intervenção imediata. Para o processamento dos dados, foi desenvolvida a Tabela 49, contendo um resumo dos resultados coletados, na qual está sintetizada toda a estrutura com as informações levantadas das anomalias, exibindo, para cada família da estrutura e para a estrutura global, resultados das anomalias, de forma qualitativa e quantitativa. Quantitativa, quando exterioriza a frequência da presença das anomalias e com a representação do grau de deterioração.

Tabela 49 – Casa Brasília Gde Parametrizado

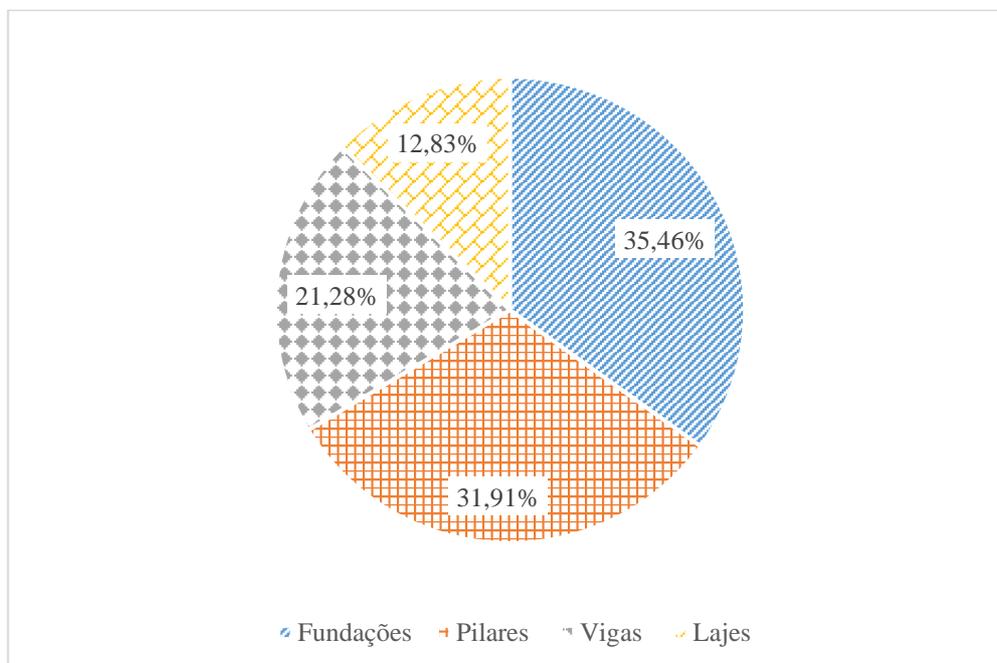
Família	Elemento	Dano	<i>Fp</i>	<i>Fi</i>	<i>D</i>	<i>Gde</i>	Nível Elemento	<i>Gdf</i>
Fundações	Sapatas	Recalque	1,0	1,00	1,00	1,0	(crítico)	1,0
Pilares	Pilar (nº 1 a 24)	Cobrimento deficiente	0,6	0,75	0,26	0,9	(sofrível)	0,9
		Corrosão de armaduras	0,7	1,00	0,70			
		Fissuras	1,0	0,75	0,44			
		Recalque	1,0	1,00	1,00			
		Segregação	0,6	0,75	0,26			
Vigas	Viga (subsolo)	Siniais de esmagamento	1,0	1,00	1,00	0,6	(alto)	0,6
		Cobrimento deficiente	0,6	0,75	0,26			
		Corrosão de armaduras	0,7	1,00	0,70			
		Fissuras	1,0	0,75	0,44			
		Segregação	0,4	0,75	0,18			
Lajes	Lajes (varandas)	Siniais de esmagamento	0,8	0,75	0,35	0,4	(médio)	0,4
		Fissuras	1,0	0,75	0,44			
<i>Gd (estrutura global)</i>							(alto)	0,76

Fonte: Próprio autor.

Na Tabela 49, foram identificados os graus de deterioração e, dentre as famílias de elementos, a que atingiu o maior grau foram as “Fundações” com G_{df} igual a 1,0 (Crítico).

Dessa forma, cada família, como demonstra o Gráfico 1, apresenta os pesos que afetam no resultado final da estrutura analisada pelo método GDE parametrizado e, assim como o valor de G_{df} , a “Fundação”, com 48%, também representou o maior peso, seguido pela família das “Lajes”, com 21%.

Gráfico 1 – Peso das famílias no método no GDE parametrizado na Casa Brasília



Fonte: Próprio autor.

6.1.2.2 CEB Boletim nº 243

O resultado global da estrutura, pelo método CEB Boletim nº 243, mostrado na Tabela 51, apresenta os cálculos com grau de deterioração (G_d) igual a 0,52, revelando a necessidade de reabilitação imediata e extensa. Na Tabela 50, são apresentados todos os danos identificados na estrutura.

Quanto às famílias de elementos estruturais, a família das “Fundações” apresentou o maior grau de deterioração da estrutura, com o valor do $CR_{famílias}$ de 0,95, classificado como nível médio.

Tabela 50 – Fatores CEB

Família	Elemento	Dano	B	K1	K2	K3	K4
Fundações	Sapatas	Falha na mão de obra	0,25	1	1,00	1,00	0,8
		Recalque	0,75	1	1,00	1,00	1,0
Pilar	Pilar (nº 1 a 24)	Esmagamento	0,75	1	0,75	0,50	1,0

		Corrosão das armaduras	0,75	1	0,25	0,50	0,4
		Ninhos de concretagem	0,25	1	0,50	0,50	0,2
		Sub dimensionamento	0,50	1	1,00	0,50	1,0
		Baixo cobrimento	0,50	1	0,50	0,50	0,2
Vigas	Viga (subsolo)	Corrosão de armaduras	0,75	1	0,50	0,50	0,6
		Fissuras estruturais	0,75	1	1,00	1,00	1,0
		Flexão excessiva	0,75	1	1,00	1,00	1,0
		Esmagamento	0,50	1	1,00	0,75	1,0
		Falha na mão de obra	0,25	1	1,00	0,75	0,6
Lajes	Lajes (varandas)	Fissuras estruturais	0,75	1	0,75	0,50	0,6
		Desplacamentos	0,50	1	0,75	0,50	0,6

Fonte: Próprio autor.

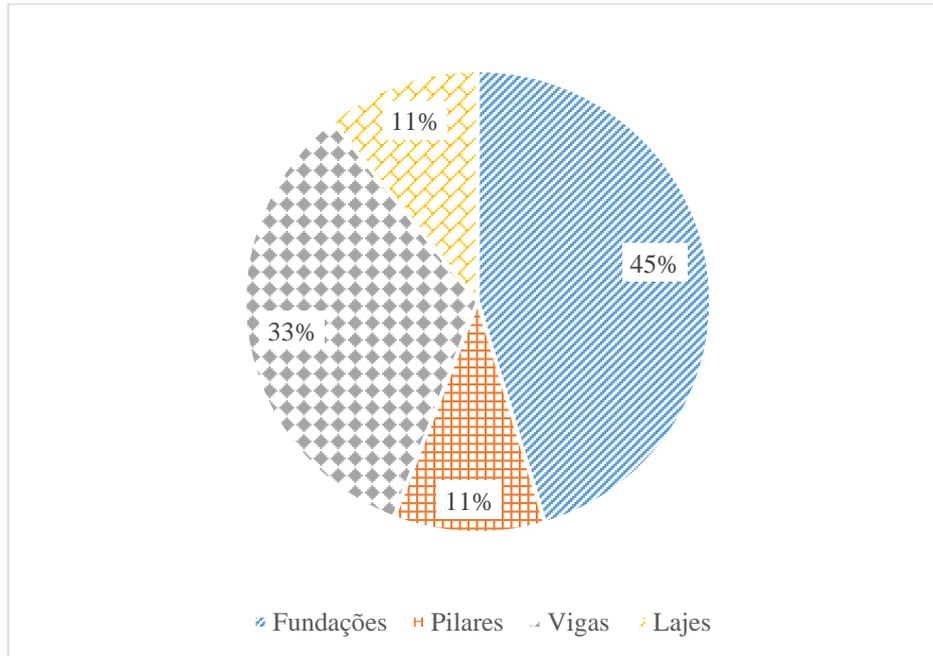
Tabela 51 – Valores de CEB das famílias e da estrutura global

Família	Elemento	Dano	V_d	ΣM_m	$V_{ref,d}$	$\Sigma M_{ref,m}$	CR Elemento	Nível Elemento	α_R	Φ	CR Família	Nível Família
Fundações	Sapatas	Falha na mão de obra	0,20	1	0,25	1	0,95	(crítica)	0,8	0,50	0,95	(crítica)
		Recalque	1		0,75							
Pilar	Pilar (n° 1 a 24)	Esmagamento	0,28	0,61	0,75	3	0,22	(grave)	0,7	0,54	0,22	(grave)
		Corrosão das armaduras	0,04		0,75							
		Ninhos de concretagem	0,01		0,25							
		Sub dimensionamento	0,25		0,50							
		Baixo cobrimento	0,03		0,50							
Vigas	Viga (subsolo)	Corrosão de armaduras	0,11	2	0,75	3	0,70	(crítica)	0,8	0,50	0,70	(crítica)
		Fissuras estruturais	0,75		0,75							
		Flexão excessiva	0,75		0,75							
		Esmagamento	0,38		0,50							
		Falha na mão de obra	0,11		0,25							
Lajes	Lajes (varandas)	Fissuras estruturais	0,17	0,28	0,75	1,25	0,23	(grave)	0,7	0,54	0,23	(grave)
		Desplacamentos	0,11		0,50							
CR (estrutura global)										(crítica)	0,52	

Fonte: Próprio autor.

Os resultados representam o bom estado de conservação da estrutura, como demonstrado no Gráfico 2, representando o maior peso a família das “Fundações”, com 45%, porém, nesse método, a família das “Vigas”, com 33%, também apresentou uma influência considerável para o resultado final da estrutura.

Gráfico 2 – Peso das famílias no método no CEB boletim 243 na Casa Brasília



Fonte: Próprio autor.

6.1.2.3 Alert-D

Na Tabela 52, encontram-se os cálculos do grau de deterioração dos elementos (C_{re}) da família (C_{CrF}) e da estrutura global (BC_r). O resultado global da estrutura apresentou um valor igual a 0,01, com a alteração do método original cuja tabela de classificação não pode ser aplicada para estrutura geral.

Observa-se na planilha que a família com o grau de deterioração mais alto foi a família das “Fundações”, sendo um sério perigo para usuários da edificação.

Tabela 52 – Valores de Alet-D das famílias e da estrutura global

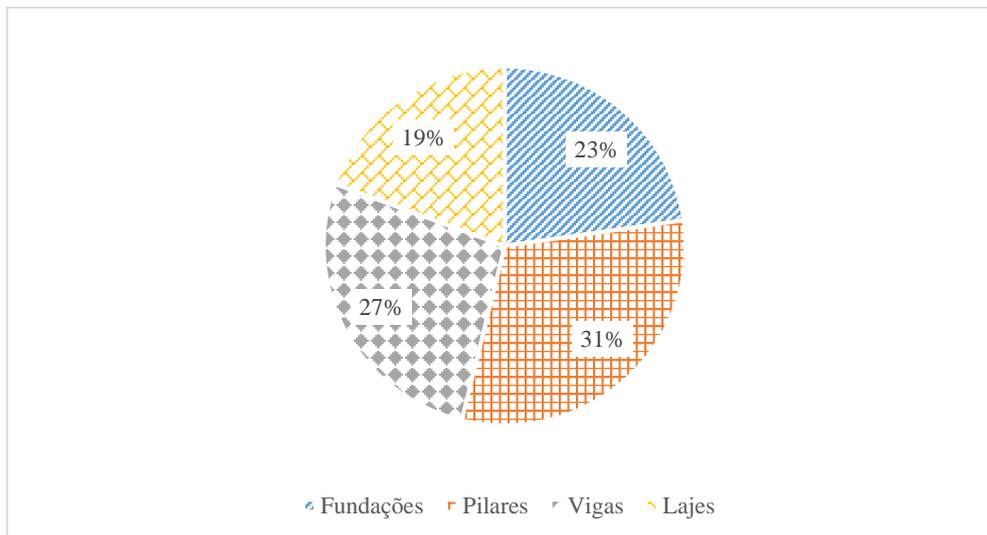
Elemento	Severidade da Patologia			Extensão da Patologia		Elemento Danificado		Posição		Grau de Dano (SD_d)	C_{re}		C_{CrF}		
	Dano	V_i	W_i	V_i	W_i	V_i	W_i	V_i	W_i						
Sapatas	Recalque elevado da fundação	0,44	1,00	0,43	1,00	0,10	Nível de fundação	1	0,03	Primeiro	1,00	1	Sério perigo para usuários da edificação	1,00	
	Forte expulsão da cobertura de concreto		0,88		0,80							0,84			
Pilares	Corrosão ou oxidação com redução da seção	0,44	0,49	0,43	1,00	0,10	Pilar	0,79	0,03	Primeiro	1,00	1,37	Sério perigo para usuários da edificação	1,37	
	Rachaduras grandes ou ativas		0,95		0,80										0,87
	Recalque elevado da fundação		1,00		1,00										0,98
	Produção		0,49		0,80										0,67
	Deformação de Elementos		0,35		1,00										0,69

Vigas	Forte expulsão da cobertura de concreto	0,88	0,80	Viga	0,61					0,82	1,18	Sério perigo para usuários da edificação	1,18
	Corrosão ou oxidação com redução da seção	0,49	1,00							0,74			
	Rachaduras grandes ou ativas	0,95	0,80							0,85			
	Produção	0,49	0,80							0,65			
	Deformação de Elementos	0,35	0,80							0,59			
Lajes	Rachaduras grandes ou ativas	0,95	0,80	Piso	0,61					0,85	0,85	Sério perigo para usuários da edificação	0,85
BCr												1,10	

Fonte: Próprio autor.

Como esperado, a família das “Pilares”, com 31%, foi a família que mais apresentou maior peso para o resultado da estrutura global, seguido da família de “Vigas”, com 27%.

Gráfico 3 – Peso das famílias no método no Alert-D na Casa Brasília



Fonte: Próprio autor.

6.1.2.4 MAEC

Como pode ser verificado na Tabela 53, é localizado o conjunto de elementos analisados, com a enumeração das anomalias encontradas e com a seleção dos dados coletados, segundo a metodologia MAEC. O fator de deterioração da estrutura global, o valor 1, sendo classificado como “Péssimo”, sendo recomendada intervenção a curto prazo. Todas as famílias alcançaram o valor 1, “Péssimo”.

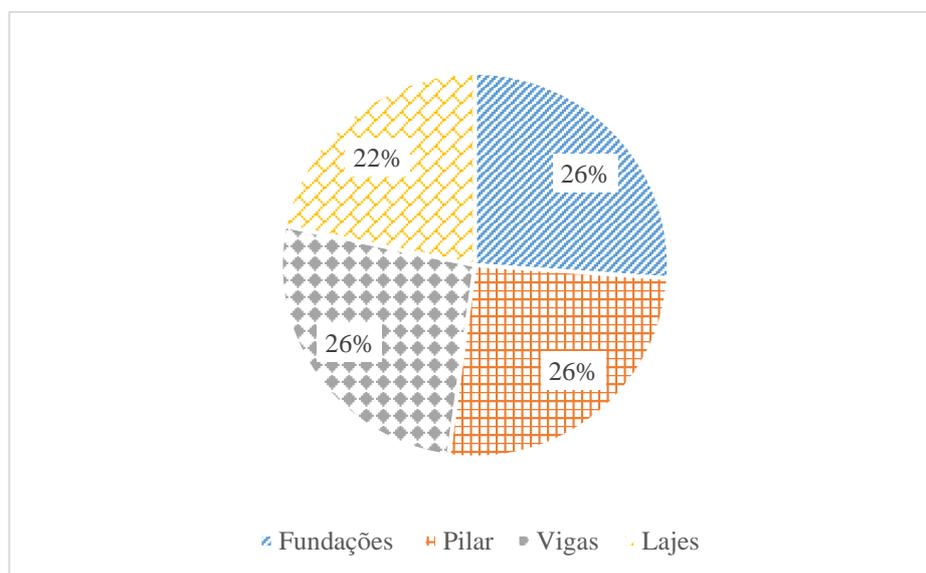
Tabela 53 – Valores de MAEC das famílias e da estrutura global

Elemento	Anomalia		Gravidade	Extensão		FG	
Fundações - Sapatas	Recalque	1	Muito Graves	0,65	Total	1	Péssimo
Pilar	Cobrimento deficiente	3	Médias	0,75	Extensa	1	Péssimo
	Corrosão de armaduras	1	Muito Graves	0,65	Total		
	Fissuras	1	Muito Graves	0,75	Extensa		
	Recalque	1	Muito Graves	0,65	Total		
	Segregação	3	Médias	0,75	Extensa		
	Sinais de esmagamento	1	Muito Graves	0,65	Total		
Vigas	Cobrimento deficiente	3	Médias	0,75	Extensa	1	Péssimo
	Corrosão de armaduras	1	Muito Graves	0,65	Total		
	Fissuras	1	Muito Graves	0,75	Extensa		
	Segregação	3	Médias	0,65	Total		
	Sinais de esmagamento	2	Graves	0,65	Total		
Lajes	Fissuras	1	Muito Graves	0,75	Extensa	1	Péssimo
Total						1	Péssimo

Fonte: Próprio autor.

Dentre as famílias observadas, as “Fundações”, “Pilares” e “Vigas”, com 26%, se destacaram com o mesmo peso, sendo o maior peso para a estrutura, como demonstrado no Gráfico 4. Fica evidenciado como cada família de elemento afeta para o valor final do grau de deterioração da estrutura.

Gráfico 4 – Peso das famílias no método no MAEC na Casa Brasília



Fonte: Próprio autor.

6.1.2.5 NEN 2767

Na Tabela 54, em que se encontram os cálculos, seleção dos danos e fatores, é possível verificar a classificação da condição da estrutura com o valor de 0,92, sendo “Intolerável”,

precisando de se iniciar o planejamento para intervenção da estrutura para restabelecer a segurança. Outro ponto apresentado é o das famílias que apresentaram a maior classificação da condição, quais sejam: as “Fundações” e “Lajes”.

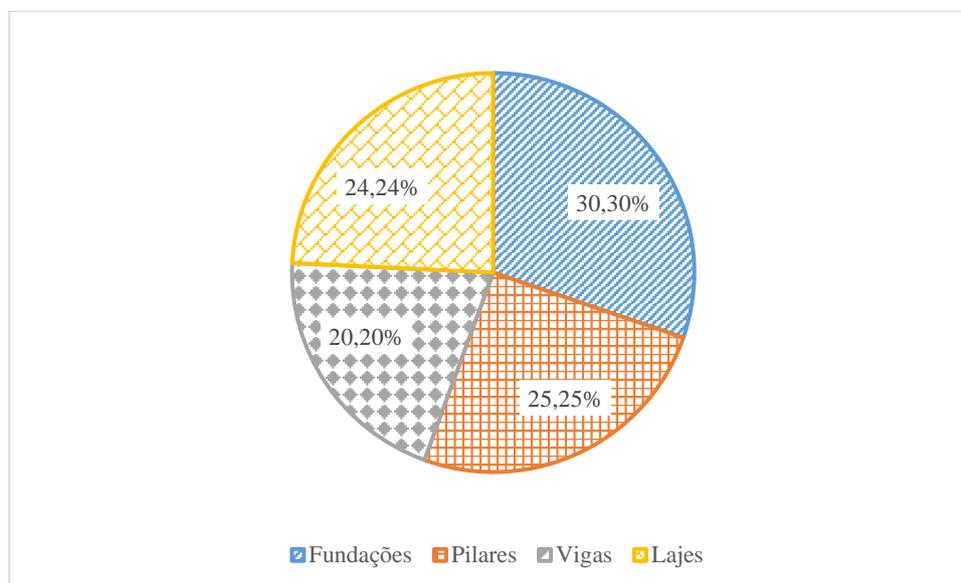
Tabela 54 – Valores de Norma Holandesa das famílias e da estrutura global

Família	Elemento	Dano	Importância dos Defeitos	Intensidade dos Defeitos	Extensão dos Defeitos	Classificação da Condição do Dano	Classificação da Condição dos Elementos	Classificação da Condição da Família			
Fundações	Sapatas	Recalque	Crítica	1,00	Alta	1	1,00	1	1,00	1,00	1,00
Pilares	Pilar (nº 1 a 24)	Cobrimento deficiente	Grave	0,67	Alta	1	0,83	1	0,67	0,83	0,83
		Corrosão de armaduras	Grave	0,67	Alta	1	≥70 %	1	0,67		
		Fissuras	Crítica	1,00	Alta	1	≥70 %	1	1,00		
		Recalque	Crítica	1,00	Alta	1	≥70 %	1	1,00		
		Segregação	Grave	0,67	Alta	1	≥70 %	1	0,67		
		Sinais de esmagamento	Crítica	1,00	Alta	1	≥70 %	1	1,00		
Vigas	Viga (subsolo)	Cobrimento deficiente	Grave	0,67	Alta	1	0,67	1	0,67	0,67	0,67
		Corrosão de armaduras	Grave	0,67	Alta	1	≥70 %	1	0,67		
		Fissuras	Crítica	1,00	Alta	1	≥70 %	1	1,00		
		Segregação	Leve	0,33	Alta	1	≥70 %	1	0,33		
		Sinais de esmagamento	Grave	0,67	Alta	1	≥70 %	1	0,67		
Lajes	Lajes (varandas)	Fissuras	Crítica	1,00	Alta	1	≥70 %	1	1,00	1,00	1,00
Classificação da condição da Estrutura									0,92	Intolerável	

Fonte: Próprio autor.

Para essa estrutura, as “Fundações” e “Lajes” foram as famílias com maior peso para o resultado global da estrutura, demonstrado no Gráfico 5, apresentando o mesmo peso para os dois, de 29%.

Gráfico 5 – Peso das famílias no método no Norma Holandesa na Casa Brasília



Fonte: Próprio autor.

6.2 Pilares do Viaduto do Eixo Rodoviário Sul sobre a Galeria dos Estados

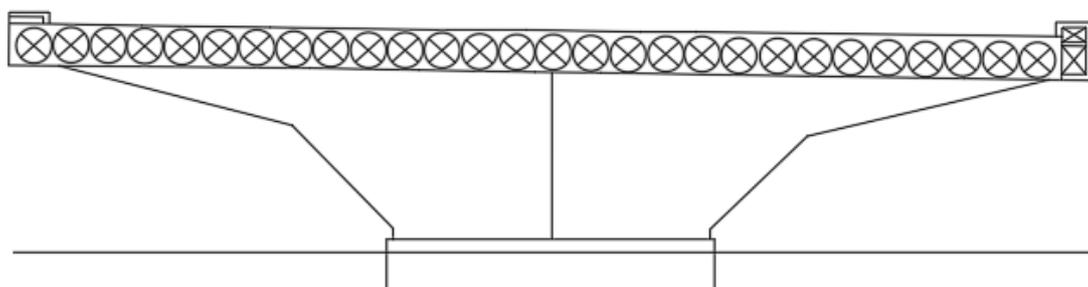
O viaduto do eixo rodoviário sul sobre a galeria dos estados foi projetado e construído entre dezembro de 1959 e fevereiro de 1960 pelo engenheiro Sérgio Marques e o arquiteto Lúcio Costa. É considerado um dos principais trechos rodoviários que dá acesso à região central de Brasília e à rodoviária do Plano Piloto, com grande relevância aos usuários que se utilizam desse trecho para se deslocarem entre as Asas Norte e Sul, setor bancário e comercial, hospitalar e de autarquias.

6.2.1 Sistema Construtivo

Sua composição é de seis pistas de tráfego e mais uma faixa central, o que totaliza 28 metros de largura. Seu sistema construtivo são os tabuleiros de laje alveolar que foram executados em concreto protendido, sendo uma das obras pioneiras no uso dessa tecnologia na capital.

O viaduto possui sete pilares paredes, maciços, com seção transversal variável ao longo da largura, em forma de uma “asa delta”, com sua envergadura do mesmo comprimento da largura do viaduto de 28 metros. Este tem um comprimento entre os eixos dos pilares de 22,1 metros, que totalizam 193,49 metros no eixo de todo o viaduto. Em sua parte superior, encontram-se 16 cabos de protensão. O formato do pilar está representado na Figura 38 (NOVACAP; DER/DF, 2018).

Figura 38 – Pilar do viaduto



Fonte: Imagem fornecida para o autor.

Seu sistema estrutural é formado por oito lajes alveolares, protendidas independentemente, segmentadas, que estão apoiadas nos sete pilares e em dois encontros que são formados por dentes tipo Gerber.

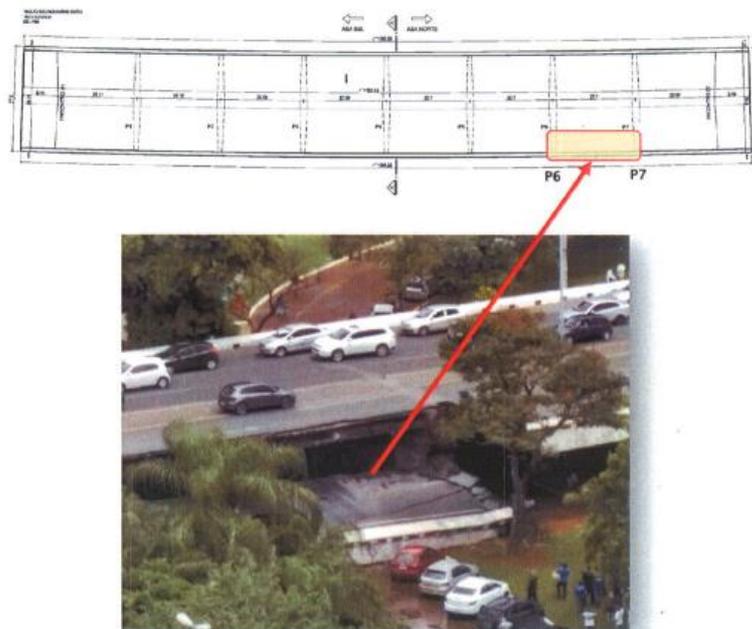
O tabuleiro do viaduto é formado pelas lajes alveolares e três transversinas, e suas extremidades estão apoiadas nas travessas dos topos dos pilares por dentes tipo “Gerber”. O contato da laje com o pilar é feito por meio de aparelhos de apoio de elastômeros, formado por uma chapa de aço e borracha.

Para o desenvolvimento do projeto, seguiu-se a norma NB 1 (1940), norma vigente na época da execução, e não possui um grande rigor quanto ao cobrimento para a proteção da armadura, que recomenda os valores entre 1 cm a 2 cm.

6.2.2 Colapso da Estrutura

Com 58 anos de uso do viaduto, no ano de 2018, uma parte do tabuleiro, próximo da Galeria dos Estados, desabou por volta das 11h45, no dia 06 de fevereiro. O colapso ocorreu entre os pilares P6 e P7, cerca de 7 metros de largura (Figura 39) (NOVACAP; DER/DF, 2018).

Figura 39 – Localização do colapso



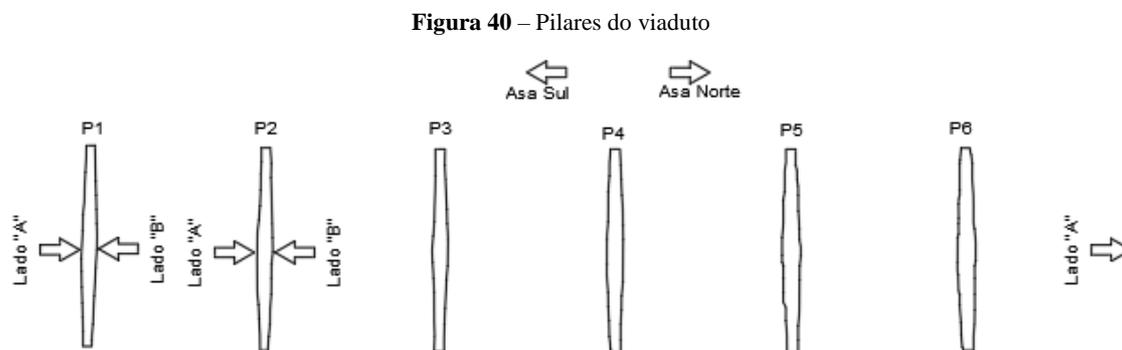
Fonte: NOVACAP e DER/DF (2018).

Como medida emergencial, logo depois ao desabamento, as demais extremidades dos tabuleiros foram escoradas para evitar outro possível colapso.

Após a análise da estrutura do viaduto pós-colapsada, verificou-se que o motivo que levou a ruína parcial da construção foi a ocorrência de elevados níveis de corrosão nas armaduras ativas existentes nas “alças” em balanço dos pilares. A corrosão das armaduras procedeu-se com a infiltração de água ao longo dos anos por meio das ligações entre os tabuleiros e o pilar, e por meio de fissura de contração formadas nessa ligação. Com diversos cabos da armadura ativa corroídos por causa da percolação da água, a parte em balanço do pilar 07 não foi mais capaz de suportar o carregamento imposto durante a utilização normal da estrutura e, assim, veio a colapso, gerando, dessa forma, um sobrecarregamento do pilar oposto (pilar 06), que também levou as “alças” em balanço do pilar ao colapso, e, por conseguinte, ao desabamento do tabuleiro.

6.2.3 Vistoria

A vistoria foi realizada um pouco depois da queda do tabuleiro, pela parceria da DER/DF, NOVACAP, CREA-DF e a Universidade de Brasília, nos pilares P1, P2 e P7 (Figura 40), por terem sido os possíveis de se ter acesso para investigação.



Fonte: NOVACAP e DER/DF (2018).

Nos pilares que foram inspecionados, foi encontrada, no topo deles, uma alta incidência de infiltração, como mostra a Figura 41.

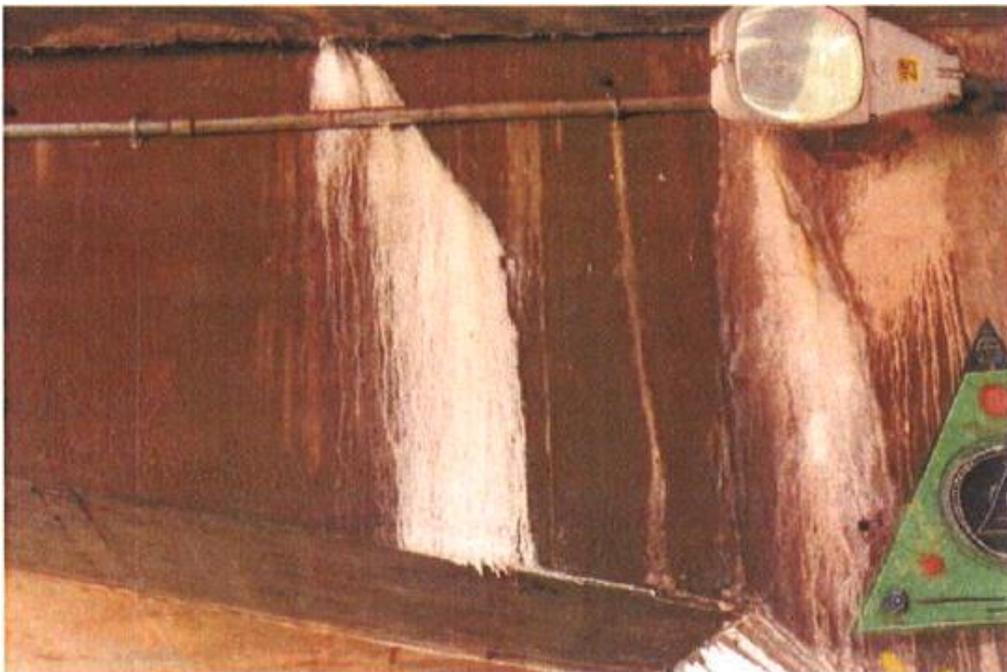
Figura 41 – Infiltração



Fonte: Marx (2018).

Nas abas dos pilares avaliados, foram encontrados uma quantidade de eflorescência e infiltração (Figura 42).

Figura 42 – Eflorescência e infiltração



Fonte: Marx (2018).

Outra manifestação patológica encontrada em algumas abas foi o deslocamento com exposição da armadura (Figura 43).

Figura 43 – Desplacamento



Fonte: Marx (2018).

Em todos os pilares, em sua base, possui a sua armadura exposta com um alto nível de corrosão (Figura 44).

Figura 44 – Corrosão da armadura



Fonte: Marx (2018).

O pilar 7, onde foi realizada a inspeção, como citado anteriormente, foi um dos que ocorreu o colapso de sua estrutura e a Figura 45 mostra a aba leste que veio a desabar.

Figura 45 – Estrutura colapsada



Fonte: Marx (2018).

6.2.4 Resultados

Neste item são exibidos os resultados da inspeção dos pilares do viaduto da galeria dos estados acessíveis para avaliação, pilar 1, 2 e 7, por meio dos cálculos do grau de deterioração dos elementos, das famílias e da estrutura global. Para melhor avaliação dos pilares, em cada face das peças foram realizadas divisões em 40 partes (Figura 46).

Figura 46 - Divisões dos pilares do viaduto

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24
			A25	A26	A27	A28	A29	A30			
		A31	A32	A33	A34	A35	A36				
			A37	A38	A39	A40					

Fonte: Próprio autor.

6.2.4.1 GDE Parametrizado

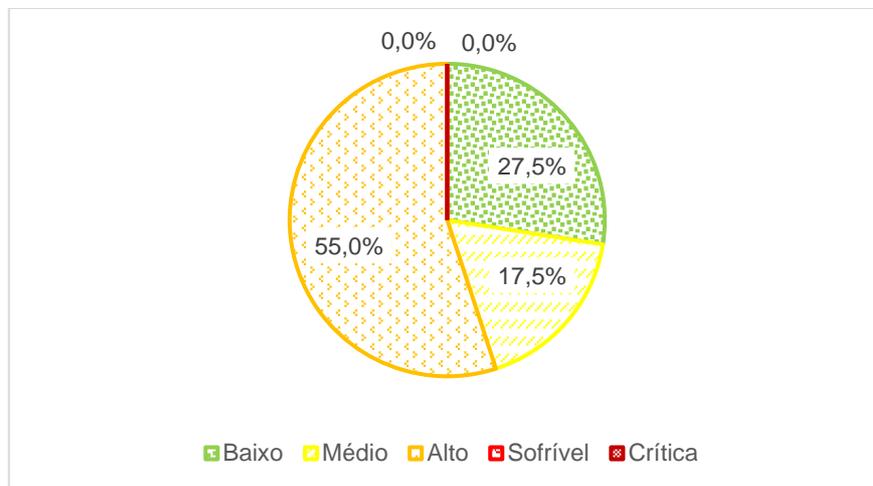
Com o processamento dos dados dos elementos, presentes no Anexo A, item A.1, foram gerados as figuras: Figura 47, Figura 48, Figura 49, Figura 50 e Figura 51, nas quais é demonstrada a configuração dos danos nos três pilares. O Gráfico 6, Gráfico 7, Gráfico 8, Gráfico 9 e Gráfico 10 apresentam as porcentagens de cada classe das divisões.

Figura 47 – Gd_e Pilar 1 Lado A



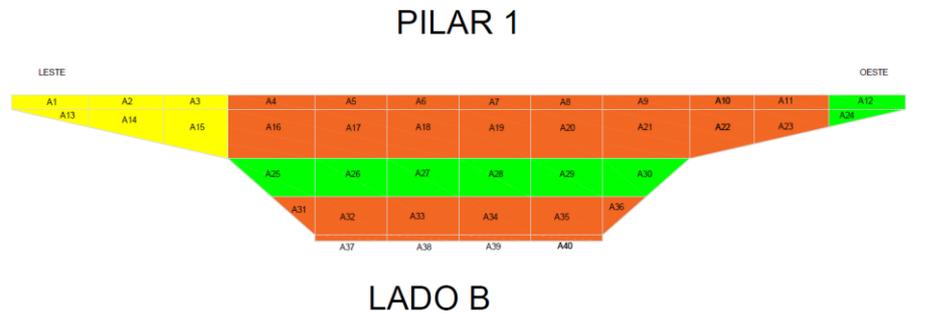
Fonte: Próprio autor.

Gráfico 6 – Porcentagem Gd_e Pilar 1 Lado A



Fonte: Próprio autor.

Figura 48 - Gd_e Pilar 1 Lado B

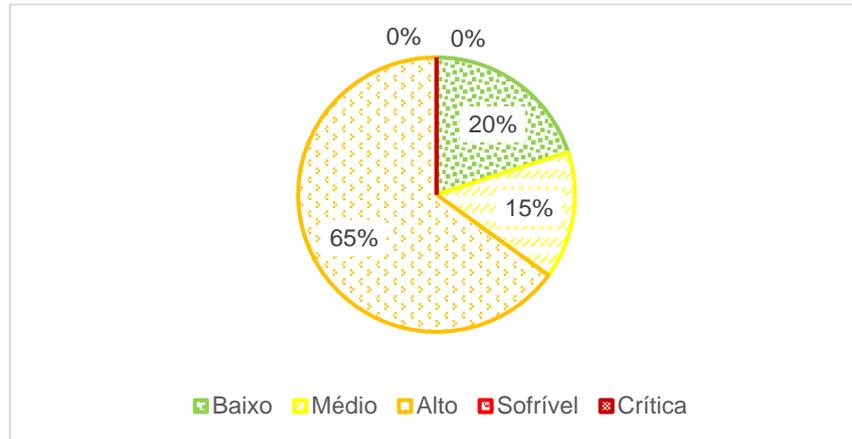


Legenda:



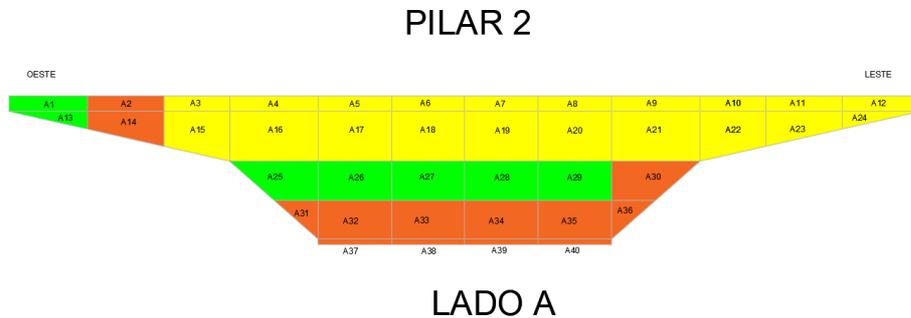
Fonte: Próprio autor.

Gráfico 7 – Porcentagem Gd_e Pilar 1 Lado B



Fonte: Próprio autor.

Figura 49 - Gd_e Pilar 2 Lado A

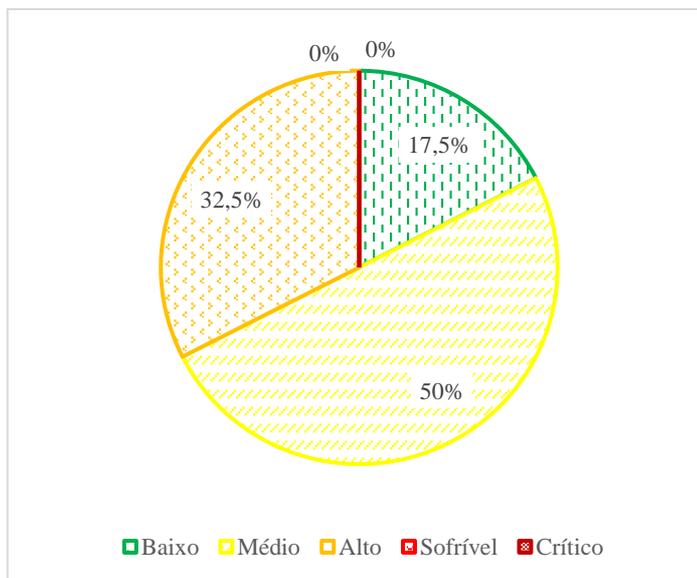


Legenda:



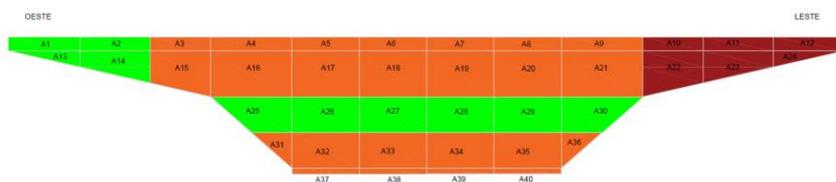
Fonte: Próprio autor.

Gráfico 8 – Porcentagem Gd_e Pilar 2 Lado A



Fonte: Próprio autor.

Figura 50 - Gd_e Pilar 7 Lado A
PILAR 7



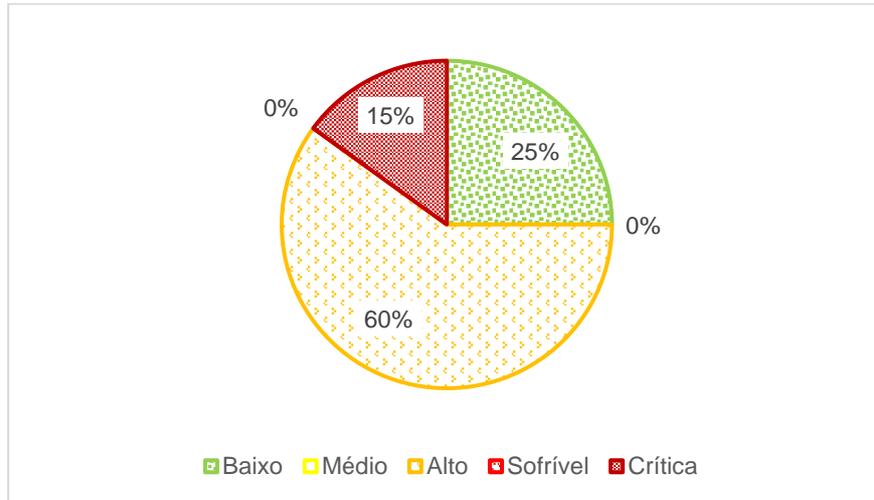
LADO A

Legenda:



Fonte: Próprio autor.

Gráfico 9 – Porcentagem Gd_e Pilar 7 Lado A



Fonte: Próprio autor.

Figura 51 - Gd_e Pilar 7 Lado B
PILAR 7

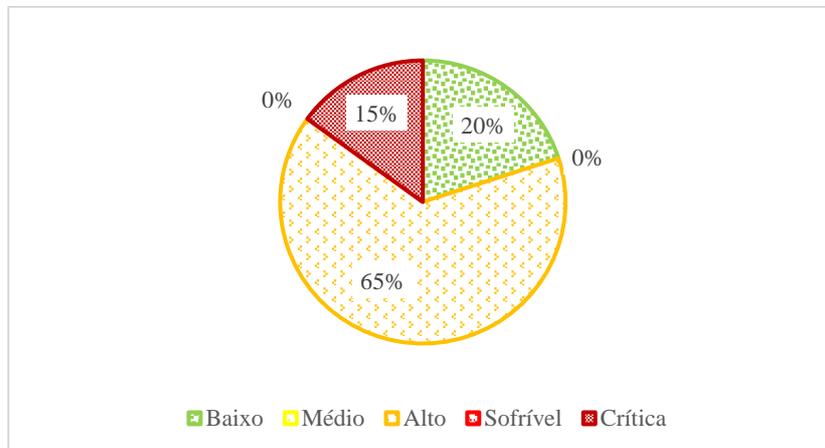


Legenda:



Fonte: Próprio autor.

Gráfico 10 – Porcentagem Gd_e Pilar 7 Lado B



Fonte: Próprio autor.

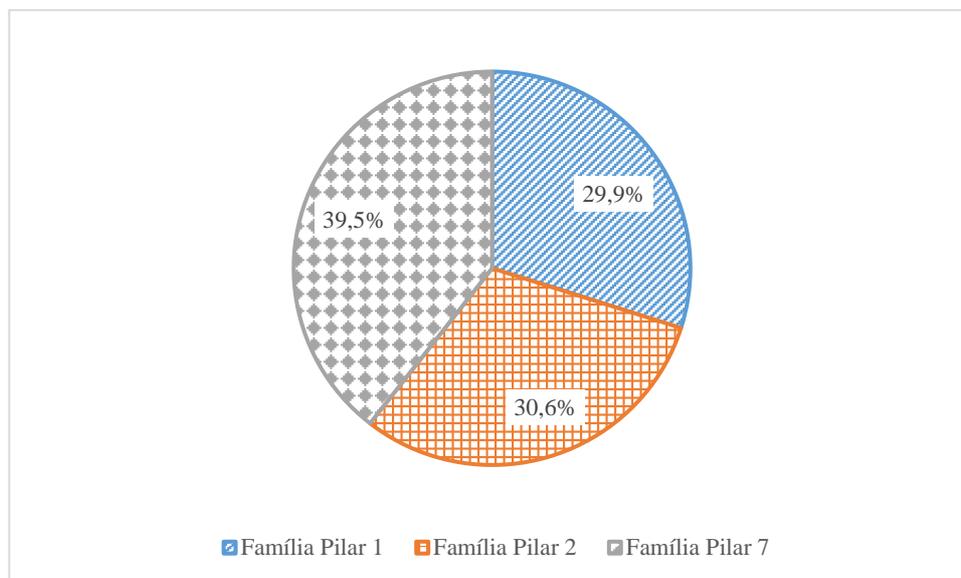
Com todas as informações mostradas acima, verificou-se que o grau de deterioração da estrutura alcançou o valor $G_d = 1,0$, alcançando um nível “Crítico” e precisando, assim, de intervenção imediata na estrutura. Os elementos possuem valores bem próximos entre si e, por isso, apresentam a classificação como sofrível. Dessa forma, o Gráfico 11 revela que o pilar 7 tem o maior peso dentre as famílias.

Tabela 55 – G_d dos Pilares do viaduto

Família	G_{d_f}	
Família Pilar 1	0,76	Alto
Família Pilar 2	0,77	Alto
Família Pilar 7	1,00	Crítico
G_d	1,00	
	Crítico	

Fonte: Próprio autor.

Gráfico 11 – Peso das famílias no método no GDE parametrizado nos Pilares do Viaduto



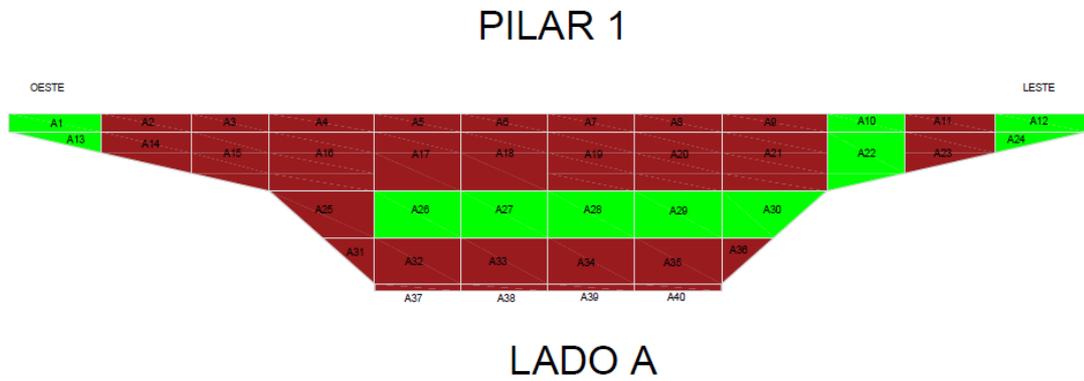
Fonte: Próprio autor.

6.2.4.2 CEB Boletim nº 243

Os dados revelam os resultados de grau de deterioração e as classificações dos elementos, (Anexo A, item A.2). As classificações de condição estão apresentadas na Figura 52, Figura 53, Figura 54, Figura 55 e Tabela 79. Como complemento dos dados, o Gráfico

12, Gráfico 13, Gráfico 14, Gráfico 15 e Gráfico 16 apresentam as porcentagens das classificações de danos em cada família.

Figura 52 - $CR_{elemento}$ Pilar 1 Lado A

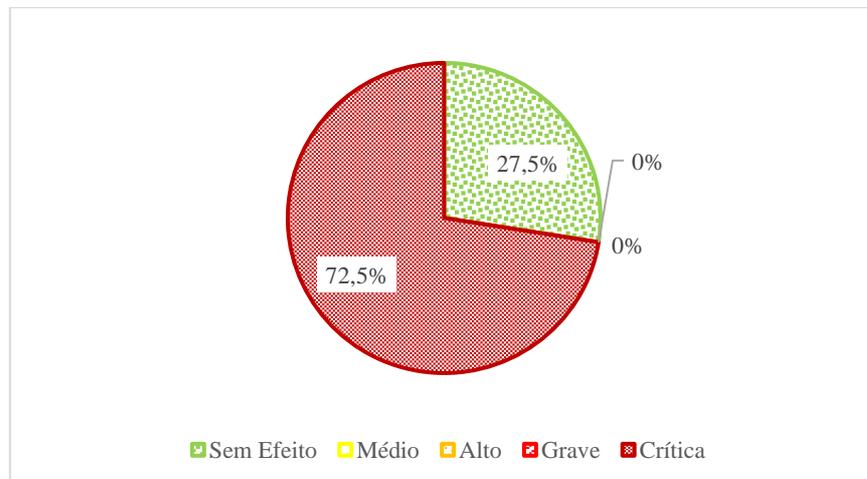


Legenda:

■ Sem Efeito/Baixo
 ■ Médio
 ■ Alto
 ■ Grave
 ■ Crítica

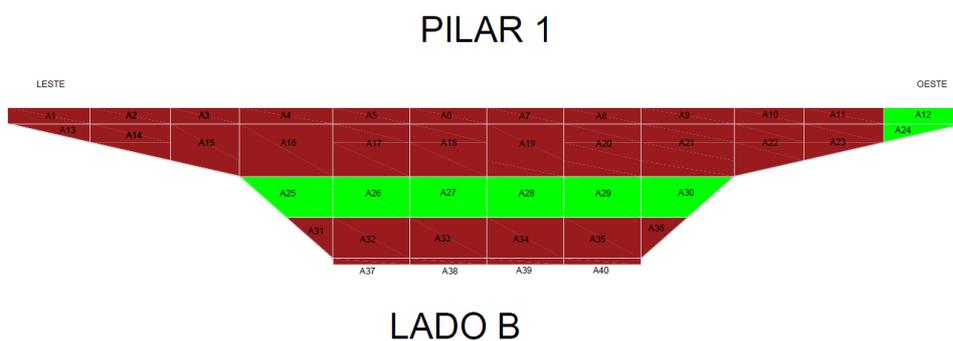
Fonte: Próprio autor.

Gráfico 12 – Porcentagem $CR_{elemento}$ Pilar 1 Lado A



Fonte: Próprio autor.

Figura 53 - $CR_{elemento}$ Pilar 1 Lado B

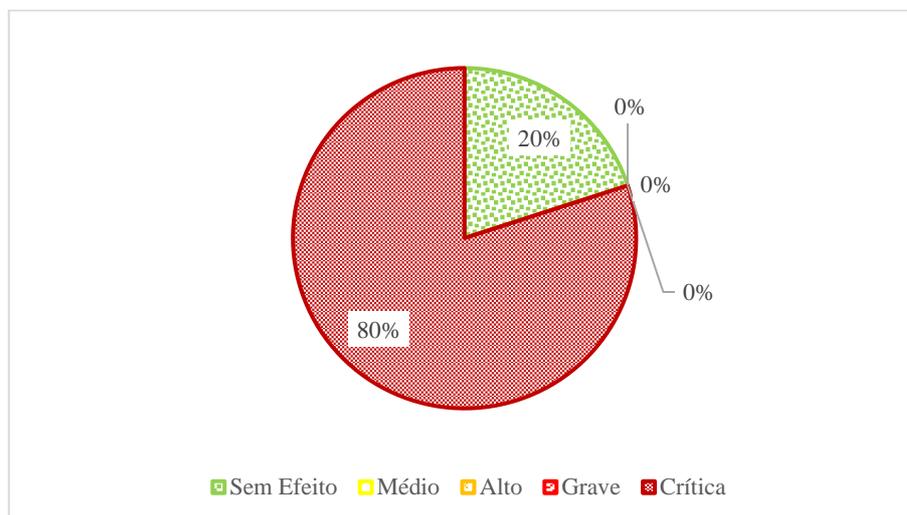


Legenda:



Fonte: Próprio autor.

Gráfico 13 – Porcentagem $CR_{elemento}$ Pilar 1 Lado B



Fonte: Próprio autor.

Figura 54 - $CR_{elemento}$ Pilar 2 Lado A

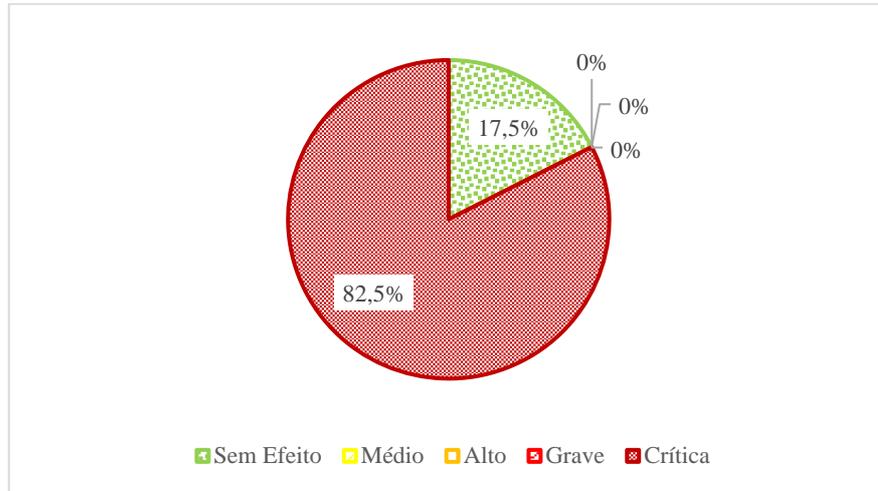


Legenda:



Fonte: Próprio autor.

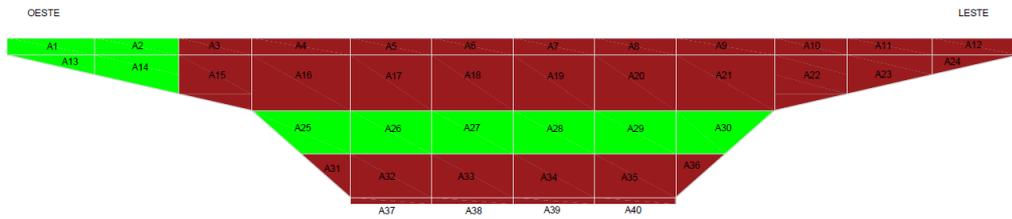
Gráfico 14 – Porcentagem $CR_{elemento}$ Pilar 2 Lado A



Fonte: Próprio autor.

Figura 55 - $CR_{elemento}$ Pilar 7 Lado A

PILAR 7



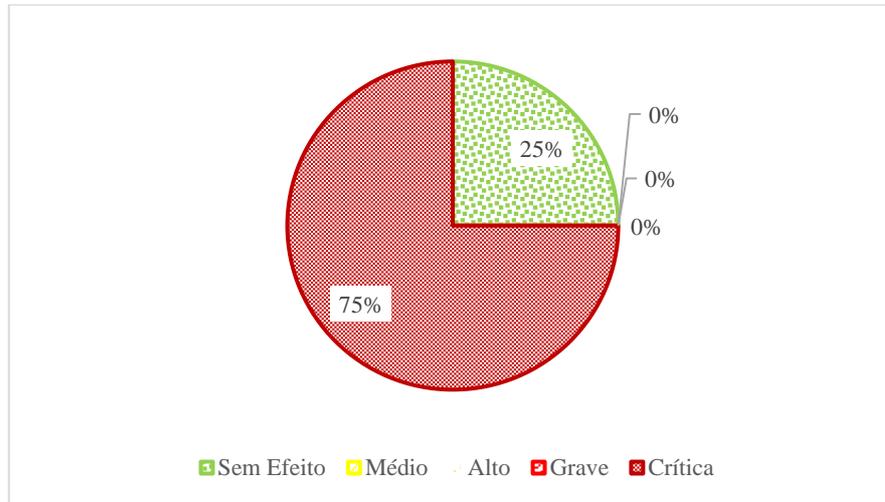
LADO A

Legenda:



Fonte: Próprio autor.

Gráfico 15 – Porcentagem $CR_{elemento}$ Pilar 7 Lado A



Fonte: Próprio autor.

Figura 56 - $CR_{elemento}$ Pilar 7 Lado B
PILAR 7

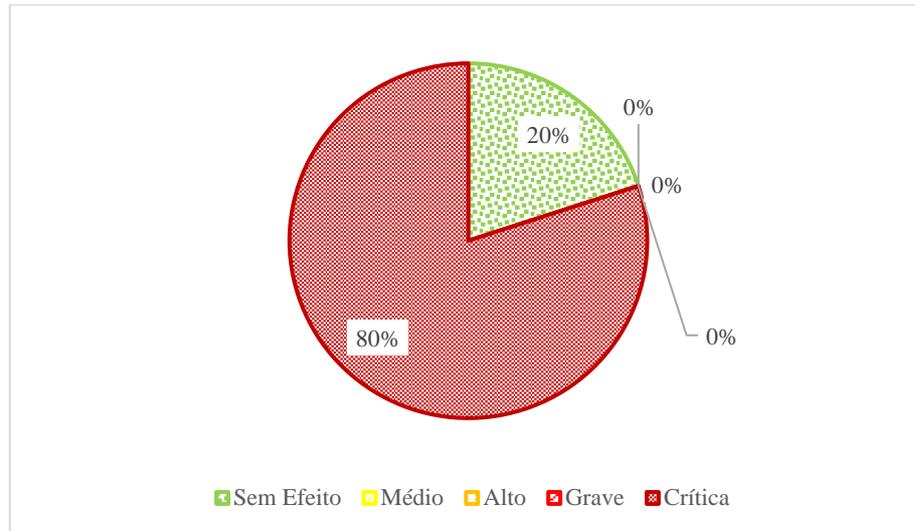


Legenda:



Fonte: Próprio autor.

Gráfico 16 – Porcentagem $CR_{elemento}$ Pilar 7 Lado B



Fonte: Próprio autor.

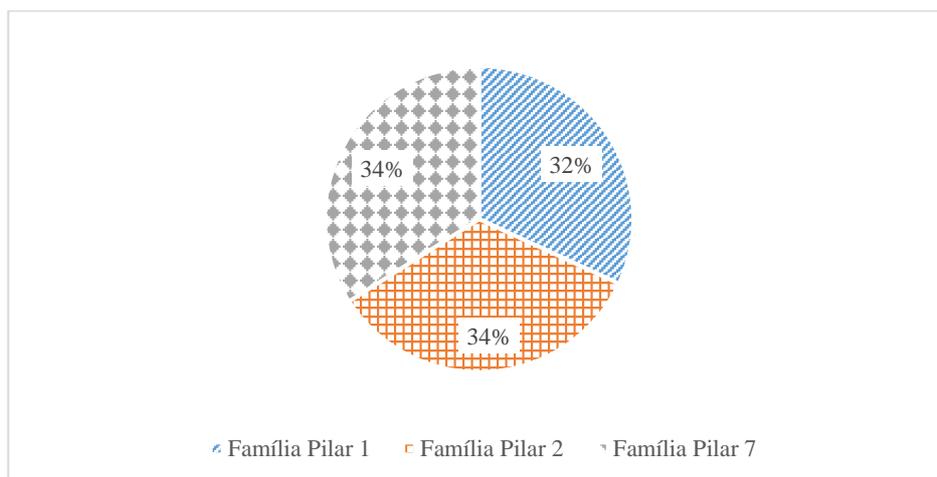
A partir das informações demonstradas nesta seção, foi possível fazer os cálculos das famílias e da estrutura global, realizando-se o cálculo da classificação de deterioração que obteve o valor de $CR_{Estrutura}$ igual a 0,76, entrando na classificação de “Crítico”. Os resultados apontam que a estrutura precisa de intervenção imediata. A “Famílias Pilar 7” e “Famílias Pilar 2” apresentaram os valores de $CR_{Família}$ igual a 0,77, com classificação “Crítico”. O Gráfico 17 mostra como cada família analisada afeta o resultado final ($CR_{Estrutura}$) da estrutura no método CEB boletim 243.

Tabela 56 – $CR_{Família}$ dos Pilares do viaduto

Família	$CR_{Família}$	
Família Pilar 1	0,72	Crítico
Família Pilar 2	0,77	Crítico
Família Pilar 7	0,77	Crítico
$CR_{Estrutura}$	0,76	
	Crítico	

Fonte: Próprio autor.

Gráfico 17 – Peso das famílias no método no CEB boletim 243 nos Pilares do Viaduto

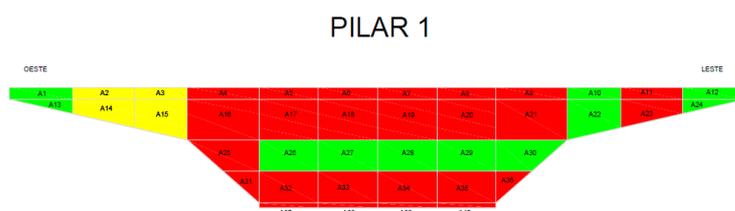


Fonte: Próprio autor.

6.2.4.3 Alert-D

As informações encontradas para os valores de CR_e das divisões analisadas estão coletadas no Anexo A item A.3. Nas figuras a seguir (Figura 52, Figura 53, Figura 54, Figura 55 e Figura 56), é mostrada a localização da classificação de condição das divisões. E, no Gráfico 18, Gráfico 19, Gráfico 20, Gráfico 21 e Gráfico 22, é exibida a porcentagem da classificação de condição de cada face.

Figura 57 - CR_e Pilar 1 Lado A



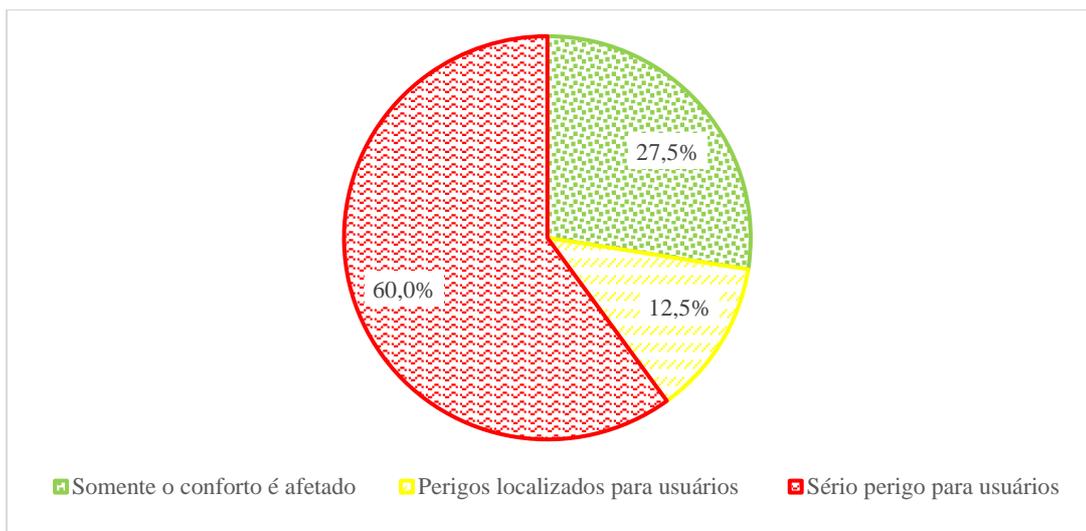
Legenda:

LADO A

- Somente o conforto é afetado
- Perigos localizados para usuários da edificação
- Sério perigo para os usuários da edificação

Fonte: Próprio autor.

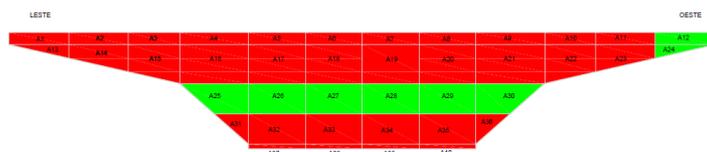
Gráfico 18 – Porcentagem CR_e Pilar 1 Lado A



Fonte: Próprio autor.

Figura 58 - CR_e Pilar 1 Lado B

PILAR 1



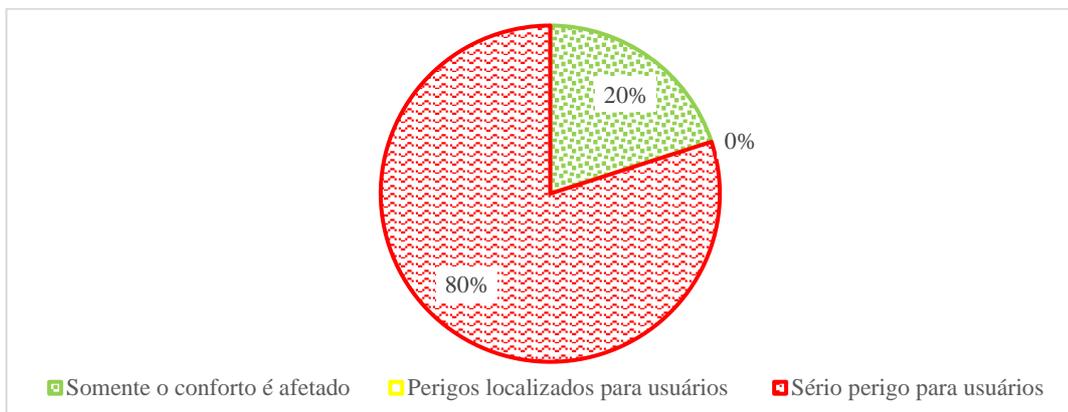
Legenda:

LADO B

- Somente o conforto é afetado
- Perigos localizados para usuários da edificação
- Sério perigo para os usuários da edificação

Fonte: Próprio autor.

Gráfico 19 – Porcentagem CR_e Pilar 1 Lado B



Fonte: Próprio autor.

Figura 59 - CR_e Pilar 2 Lado A

PILAR 2



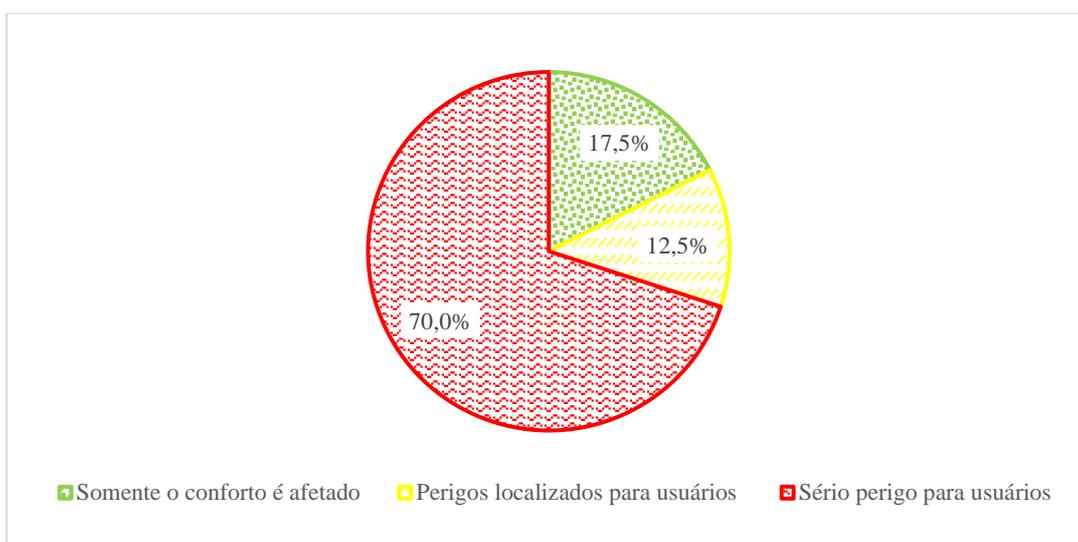
Legenda:

LADO A

- Somente o conforto é afetado
- Perigos localizados para usuários da edificação
- Sério perigo para os usuários da edificação

Fonte: Próprio autor.

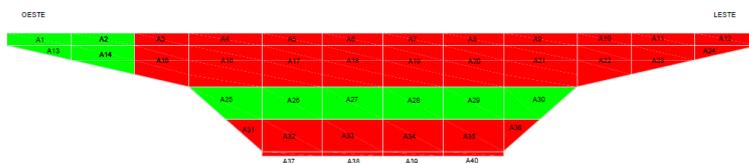
Gráfico 20 – Porcentagem CR_e Pilar 2 Lado A



Fonte: Próprio autor.

Figura 60 - CR_e Pilar 7 Lado A

PILAR 7



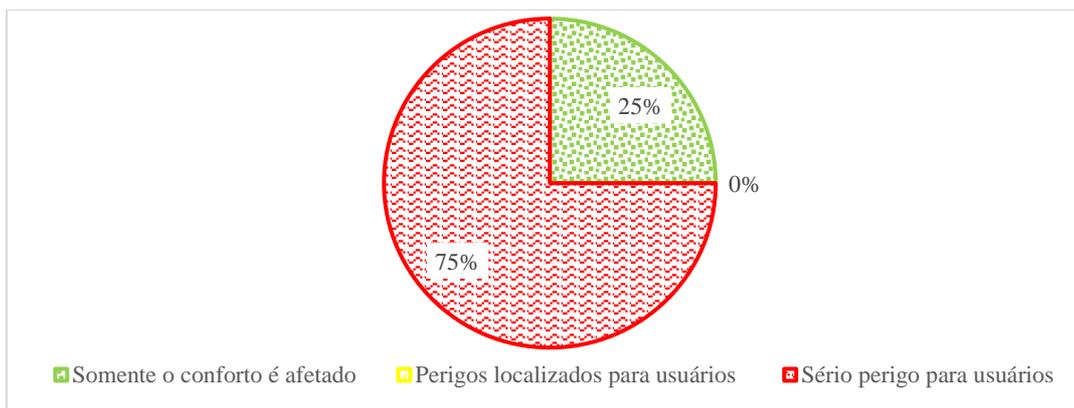
Legenda:

LADO A

- Somente o conforto é afetado
- Perigos localizados para usuários da edificação
- Sério perigo para os usuários da edificação

Fonte: Próprio autor.

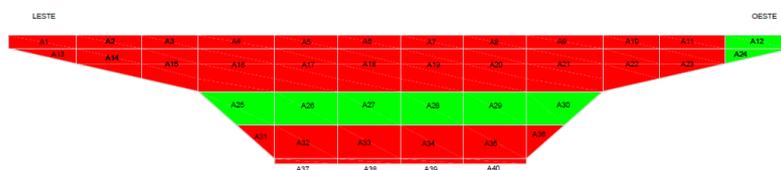
Gráfico 21 – Porcentagem CR_e Pilar 7 Lado A



Fonte: Próprio autor.

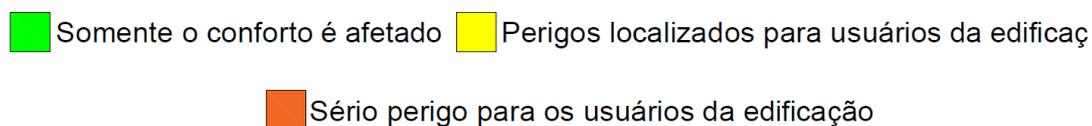
Figura 61 - CR_e Pilar 7 Lado B

PILAR 7



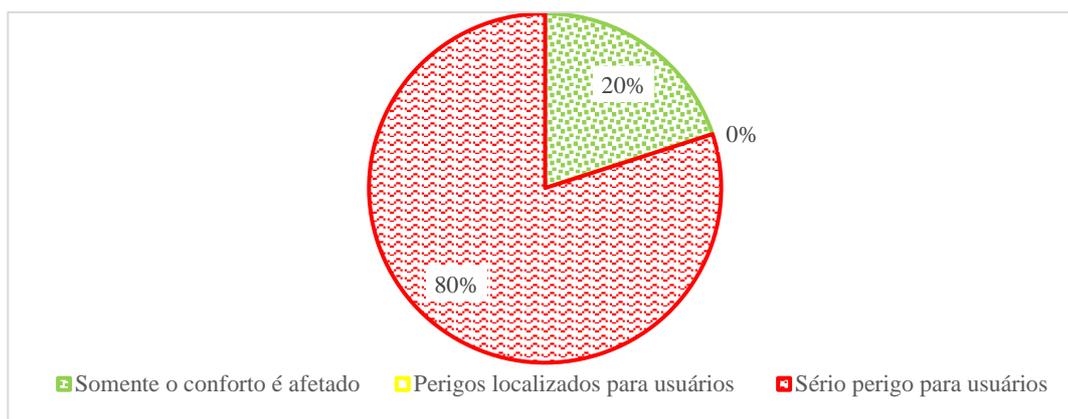
Legenda:

LADO B



Fonte: Próprio autor.

Gráfico 22 – Porcentagem CR_e Pilar 7 Lado B



Fonte: Próprio autor.

Com as informações coletadas para essa metodologia, foi possível fazer os cálculos das famílias e da estrutura global, exibidos na Tabela 57. Foram gerados os valores de BCr da estrutura sendo igual a 0,57, classificado como “Perigo sério e prolongado para a

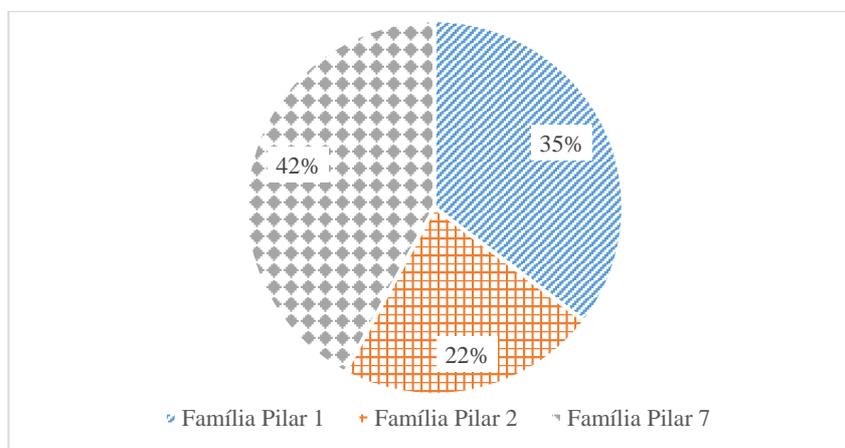
Edificação”. A “Famílias Pilar 7” apresentou o valor de CCr_f igual a 0,75, com a classificação de “Perigo sério e prolongado”. O Gráfico 23 mostra como cada família analisada afeta o resultado final (BCr) da estrutura no método Alert-D.

Tabela 57 – CR_e do Pilar 7 do viaduto

Família	CCr_f	
Família Pilar 1	0,63	Perigo sério e prolongado
Família Pilar 2	0,40	Comprometimento da edificação
Família Pilar 7	0,75	Perigo sério e prolongado
BCr	0,57	Perigo sério e prolongado Para a Edificação

Fonte: Próprio autor.

Gráfico 23 – Peso das famílias no método no Alert-D nos Pilares do Viaduto



Fonte: Próprio autor.

6.2.4.4 MAEC

As tabelas que mostram individualmente os valores dos elementos foram compilados no Anexo A, item A.4, e revelam os valores de FG , grau de deterioração dos pilares do viaduto. Nas imagens é apresentada a localização das classificações de condição dos elementos e nos gráficos estão resumidas as porcentagens das classificações de cada face.

Figura 62 - FG Pilar 1 Lado A

PILAR 1



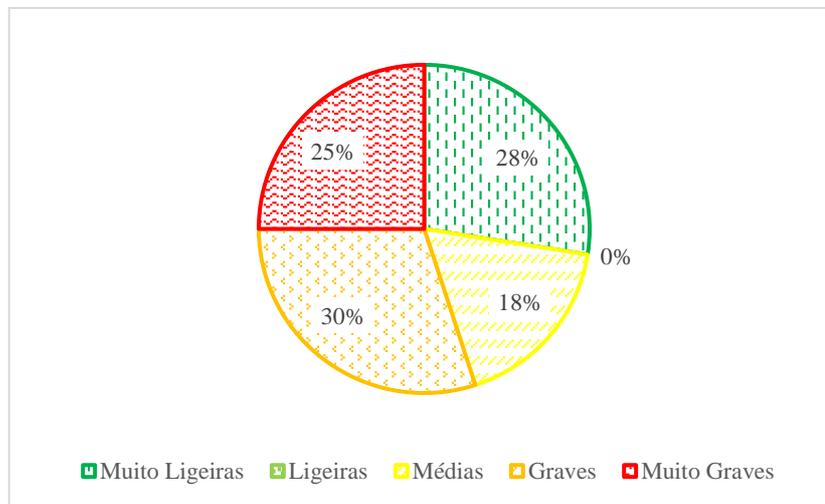
Legenda:

LADO A



Fonte: Próprio autor.

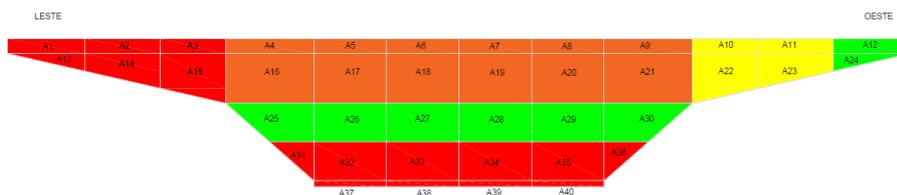
Gráfico 24 – Porcentagem FG Pilar 1 Lado A



Fonte: Próprio autor.

Figura 63 - FG Pilar 1 Lado B

PILAR 1



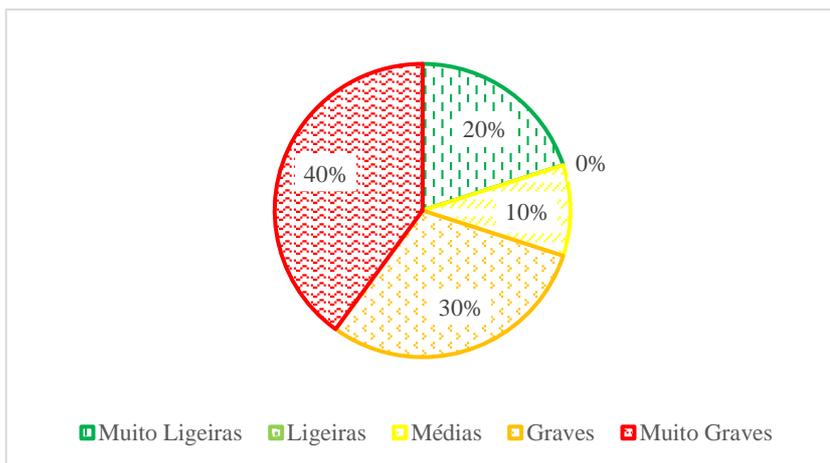
Legenda:

LADO B



Fonte: Próprio autor.

Gráfico 25 – Porcentagem FG Pilar 1 Lado B



Fonte: Próprio autor.

Figura 64 - FG Pilar 2 Lado A
PILAR 2



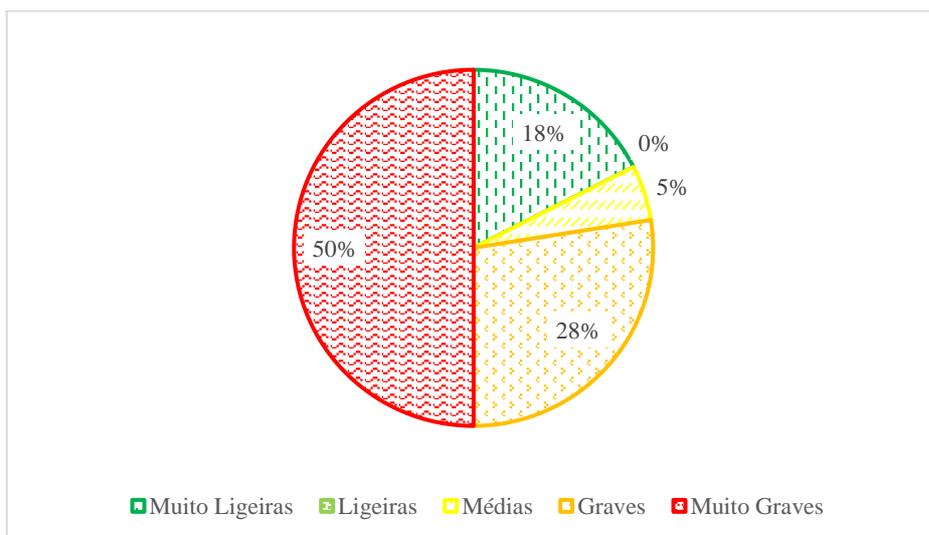
LADO A

Legenda:



Fonte: Próprio autor.

Gráfico 26 – Porcentagem FG Pilar 2 Lado A



Fonte: Próprio autor.

Figura 65 - FG Pilar 7 Lado A

PILAR 7



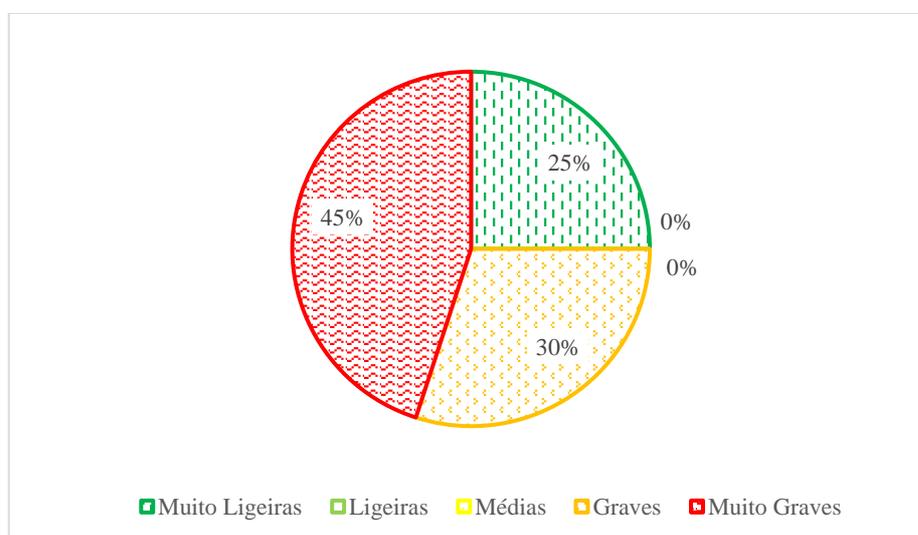
Legenda:

LADO A



Fonte: Próprio autor.

Gráfico 27 – Porcentagem FG Pilar 7 Lado A



Fonte: Próprio autor.

Figura 66 - FG Pilar 7 Lado B

PILAR 7



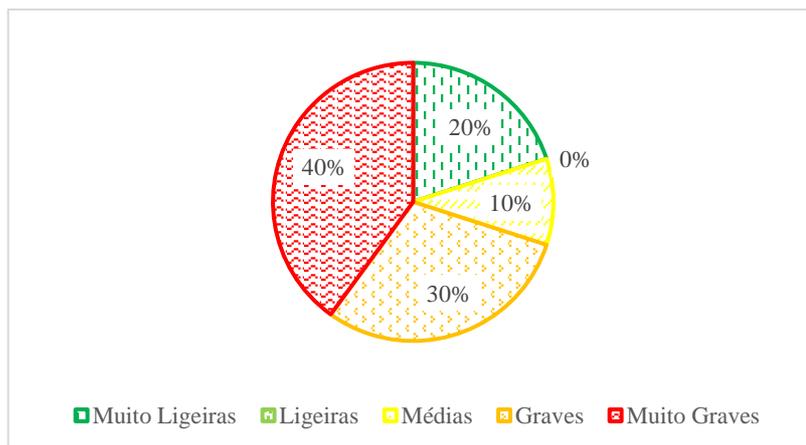
Legenda:

LADO B



Fonte: Próprio autor.

Gráfico 28 – Porcentagem FG Pilar 7 Lado B



Fonte: Próprio autor.

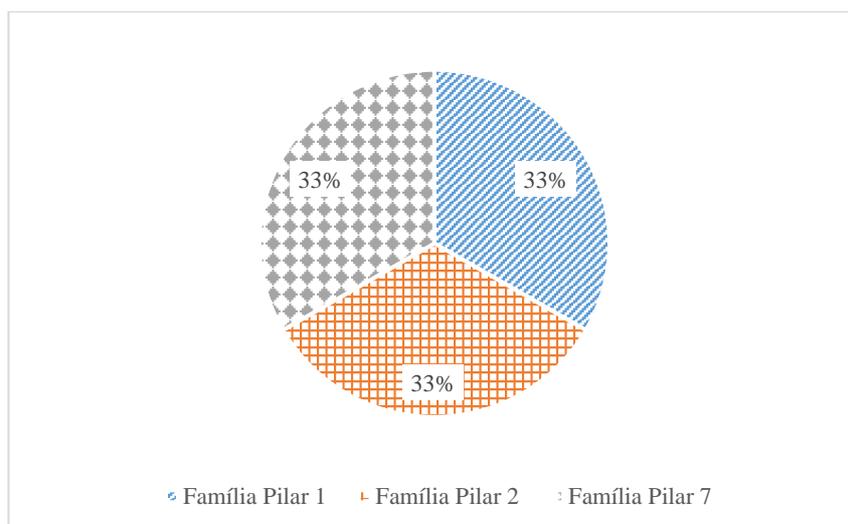
Com a junção das informações recolhidas, foi possível fazer os cálculos das famílias e da estrutura global, conforme apresentado na Tabela 58. Foram gerados valores de *FG* da estrutura sendo igual a 1, classificado como “Péssimo”. Todas as famílias obtiveram o valor mais alto 1, classificando-os como “Péssimo”. O Gráfico 29 mostra como cada família analisada afeta o resultado final da estrutura no método MAEC.

Tabela 58 – Resultado final MAEC Pilares do Viaduto

Resultado Famílias		
Família Pilar 1	1	Péssimo
Família Pilar 2	1	Péssimo
Família Pilar 7	1	Péssimo
Estrutura Total	1	Péssimo

Fonte: Próprio autor.

Gráfico 29 – Peso das famílias no método no MAEC nos Pilares do Viaduto



Fonte: Próprio autor.

6.2.4.5 NEN 2767

Os dados de elementos foram juntados no Anexo A, item A.5, que trazem os valores da condição dos elementos, com seus respectivos valores e classificação. As figuras representam a localização das classificações de condição e os gráficos ilustram as quantidades de classificação das anomalias nas estruturas.

Figura 67 - Classificação da condição do Elemento Pilar 1 Lado A

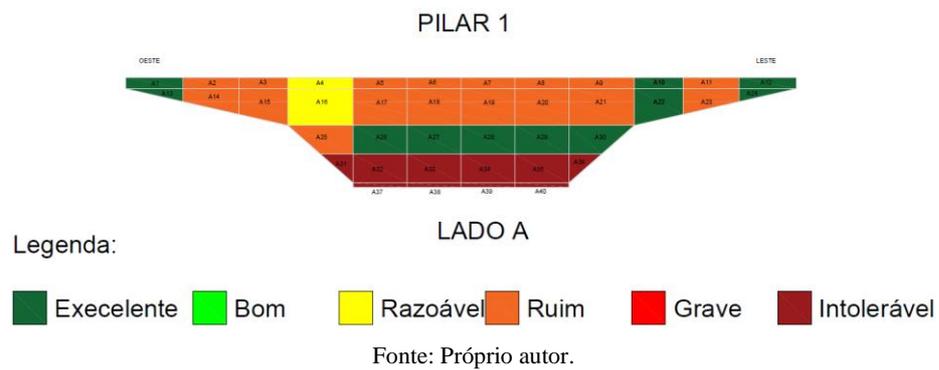


Gráfico 30 – Porcentagem Classificação da condição do Elemento Pilar 1 Lado A

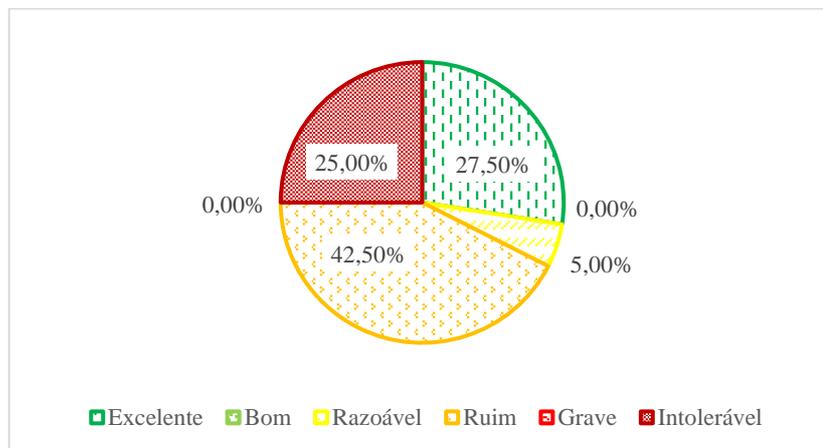
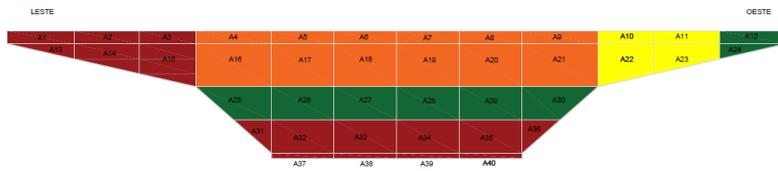


Figura 68 - Classificação da condição do Elemento Pilar 1 Lado B

PILAR 1



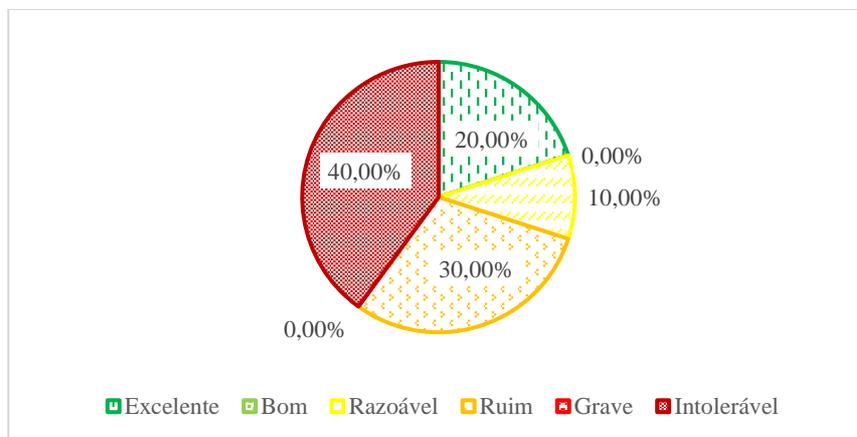
LADO B

Legenda:



Fonte: Próprio autor.

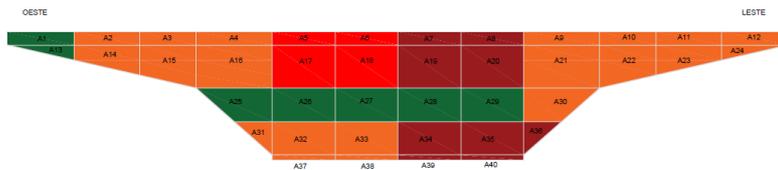
Gráfico 31 – Porcentagem Classificação da condição do Elemento Pilar 1 Lado B



Fonte: Próprio autor.

Figura 69 - Classificação da condição do Elemento Pilar 2 Lado A

PILAR 2



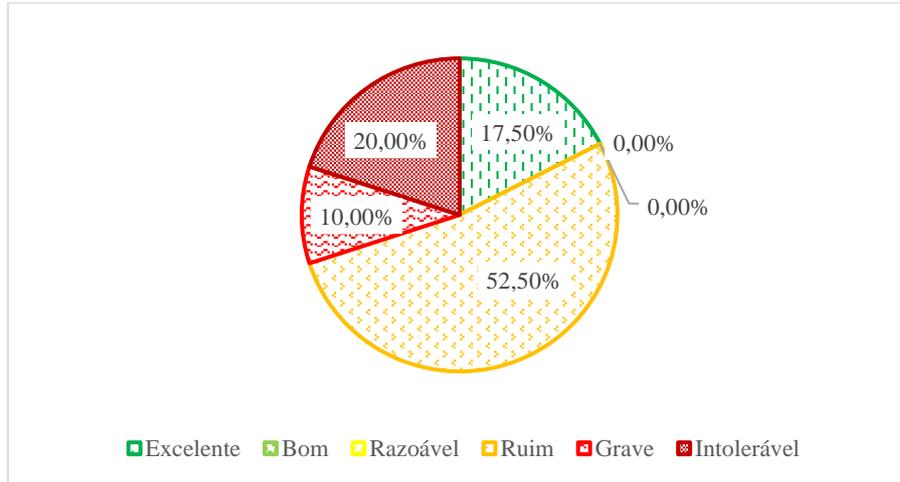
LADO A

Legenda:



Fonte: Próprio autor.

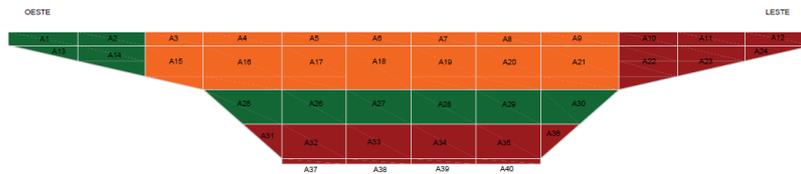
Gráfico 32 – Porcentagem Classificação da condição do Elemento Pilar 2 Lado A



Fonte: Próprio autor.

Figura 70 - Classificação da condição do Elemento Pilar 7 Lado A

PILAR 7



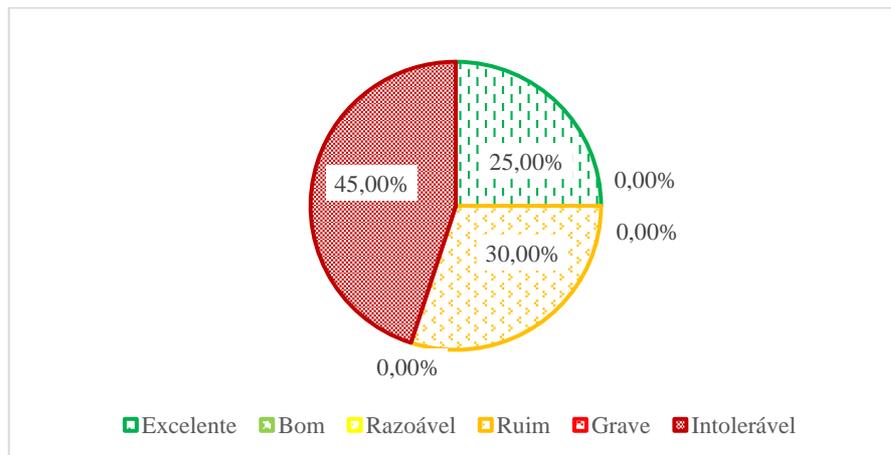
LADO A

Legenda:



Fonte: Próprio autor.

Gráfico 33 – Porcentagem Classificação da condição do Elemento Pilar 7 Lado A



Fonte: Próprio autor.

Figura 71 - Classificação da condição do Elemento Pilar 7 Lado B
PILAR 7



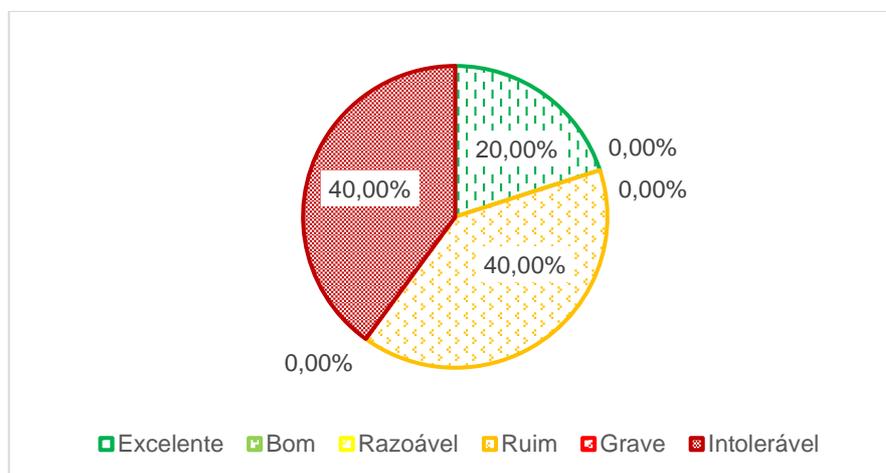
Legenda:

LADO B



Fonte: Próprio autor.

Gráfico 34 – Porcentagem Classificação da condição do Elemento Pilar 7 Lado B



Fonte: Próprio autor.

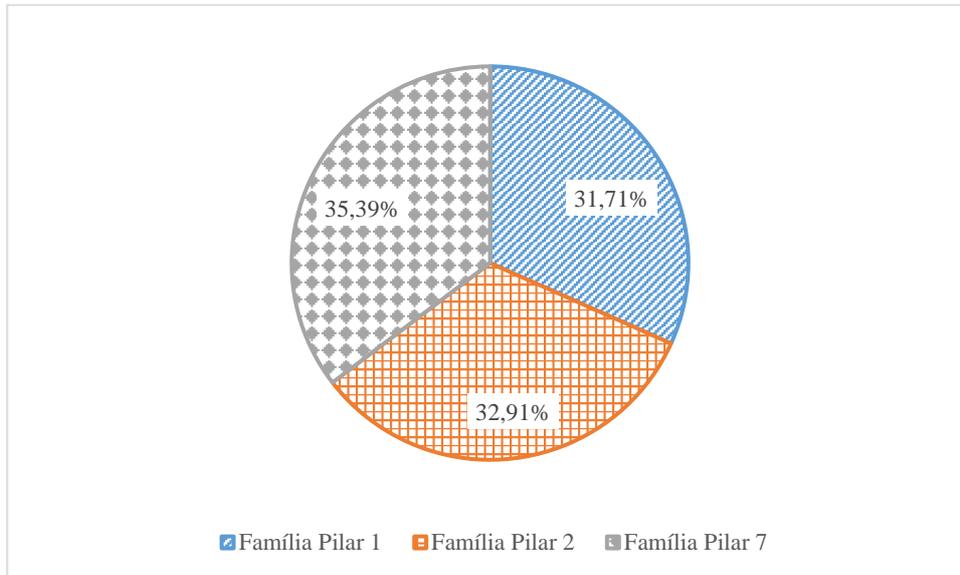
Com a compilação dos dados acima, foi possível fazer os cálculos das famílias e da estrutura global, conforme apresentado na Tabela 59, com os valores da estrutura sendo igual a 0,62, classificado como “Ruim”. A família que obteve valor mais alto foi a “Família Pilar 7”, classificada como “Ruim”. No Gráfico 35 é apresentado como cada família afetou a classificação das anomalias.

Tabela 59 – Resultado final da Norma Holandesa Pilares do Viaduto

Classificação de Condição		
Família Pilar 1	0,59	Ruim
Família Pilar 2	0,61	Ruim
Família Pilar 7	0,65	Ruim
Estrutura	0,62	Ruim

Fonte: Próprio autor.

Gráfico 35 – Peso das famílias da Norma Holandesa nos Pilares do Viaduto



Fonte: Próprio autor.

6.3 Instituto Central de Ciência (ICC)

Localizado no Distrito Federal e situado por Lúcio Costa no bairro Asa Norte do Plano Piloto de Brasília entre a L4 e o Lago Paranoá, o campus da Universidade de Brasília ocupa uma área de 257 hectares (Figura 72).

Figura 72 - Campus da UnB

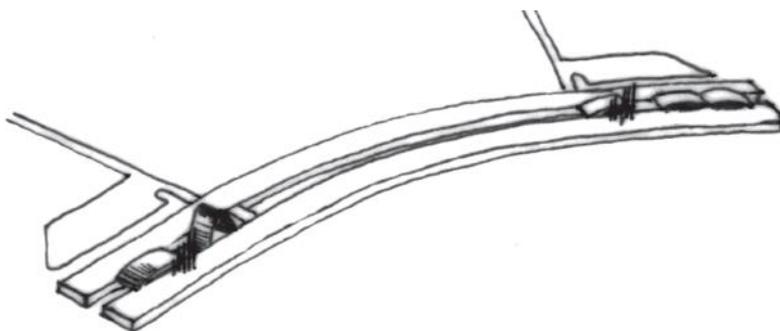


Fonte: Google Maps (2020).

A Universidade de Brasília foi criada pela Lei de nº 3998, sancionada em 15 de dezembro de 1961, complementada em 15 de janeiro de 1962 pelo Decreto de nº 500/1962 que aprovou o estatuto da Universidade de Brasília. A inauguração do *Campus* da Universidade de Brasília ocorreu durante a comemoração do segundo aniversário da cidade, em 21 de abril de 1962 (CEPLAN, 1972).

Em 1963, Oscar Niemeyer tinha o plano de agrupar quatro institutos (Matemática, Física, Química e Biologia) em um único prédio, que anteriormente, no plano de Lúcio Costa, ficaria disperso o Instituto Central de Ciências (ICC). Esta decisão foi um passo importante para maior integração entre as unidades, o que gerou uma concentração maior no local de alunos e professores, ocasionando em uma configuração física marcante (Figura 73).

Figura 73 - Vista maquete (1962) - Oscar Niemeyer



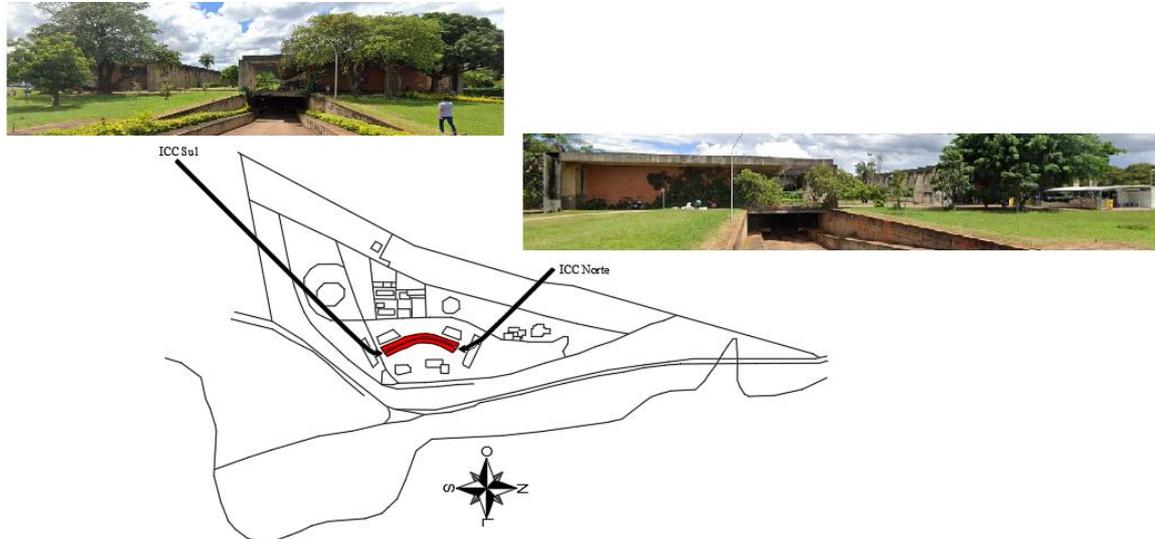
Fonte: Albeto (2009).

O projeto do Instituto feito pelo arquiteto Oscar Niemeyer, com a parceria do arquiteto Filgueiras Lima, consiste em um conjunto de dois prédios homogêneos, simétricos e dispostos de uma forma que se integram. Ambas as edificações possuem um formato de arco no centro, com retângulos nas extremidades, cujo modelo teve como referência as asas do plano piloto, porém, fazendo o movimento inverso (BORGES, 2015; MAHLER, 2013).

As obras do ICC foram iniciadas no ano de 1963, sendo a primeira edificação que tinha sido previamente destinada para ensino e pesquisa, e sua ocupação prevista para tal. A construção se deu no centro leste do *Campus* (Figura 74) e o prédio foi ocupado na medida

em que a obra permitisse, tendo sua finalização no ano de 1975 (CEPLAN, 1972; FONSECA, 2007).

Figura 74 - Localização ICC



Fonte: Fonseca (2007) – Modificado.

O prédio do ICC foi construído com 720 metros de extensão, com duas alas afastadas de 15 metros entre si, onde fica localizado um jardim, sendo ambas constituídas por um subsolo e dois andares. Cada ala possui uma largura diferente, uma mais estreita com 25 metros e a outra mais larga com 30 metros (CEPLAN, 1975).

6.3.1 Construção do ICC

O prédio do ICC pode ser considerado como um marco na construção em técnica de pré-moldado em concreto armado no Brasil, com as maiores vigas possuindo vãos de cerca de 30 metros. Essa técnica foi utilizada em grande escala na estrutura e nos elementos de composição arquitetônica (RODRIGUEZ, 2007).

O solo encontrado, onde o ICC foi construído, é do tipo argiloso, que possuía baixa capacidade de carga, o que seria necessário executar um alto número de estacas para a fundação, e que inicialmente dificultaria executar a obra no prazo previsto. Uma forma encontrada para realizar a execução foi a retirada de parte do solo local para a executar o subsolo, e colocando uma camada de cascalho com 1,40 metros de altura, desse modo, melhorando a capacidade resistente, pois este funcionou como um radier que transfere

para o solo a tensão que antes iria para o solo primitivo. Depois da colocação do cascalho, foram feitas as fundações em sapata (FONSECA, 2007).

Os blocos do ICC são interligados entre si, nas entradas principais do prédio (Figura 75), por um mezanino em concreto protendido.

Figura 75 - Entradas principais do ICC



Fonte: Google Maps (2020).

O ICC possui 4 linhas de pilares pré-moldados com formato retangular, com dimensões de 0,2 metros de largura e 1,50 metros de comprimento, o espaçamento entre cada pilar de 3 metros de eixo a eixo e a alturas deles são de 10 metros. Eles já foram fabricados com os seus encaixes preparados para receber as vigas, formando, assim, uma sucessão de pórticos em concreto protendido (CEPLAN, 1975; FONSECA, 2007; MAHLER, 2013).

Em alguns locais, os pilares receberam vigas de cobertura e sua seção transversal tem o formato T com altura de 1,2 metros. Dentre elas, algumas vencem vão de 29,5 metros ou 26,35 metros, para isso, foi utilizado o concreto protendido. Na parte interna do prédio, onde ocorre a passagem de pedestres, as vigas possuem seção retangular. As vigas do

térreo e dos mezaninos foram projetadas de uma forma que permite a passagem de instalações (CEPLAN, 1975; FONSECA, 2007).

As vigas são apoiadas nos pilares e em outras vigas longitudinais, possuem o formato dente Gerber, apoiadas em placas de Neoprene. Os pilares ainda possuem armaduras de espera que foram deixadas para receber as coberturas de cacas de concreto que estavam previstas no projeto original de Oscar Niemeyer (Figura 76).

Figura 76 - Esperas dos pilares



Fonte: Próprio Autor.

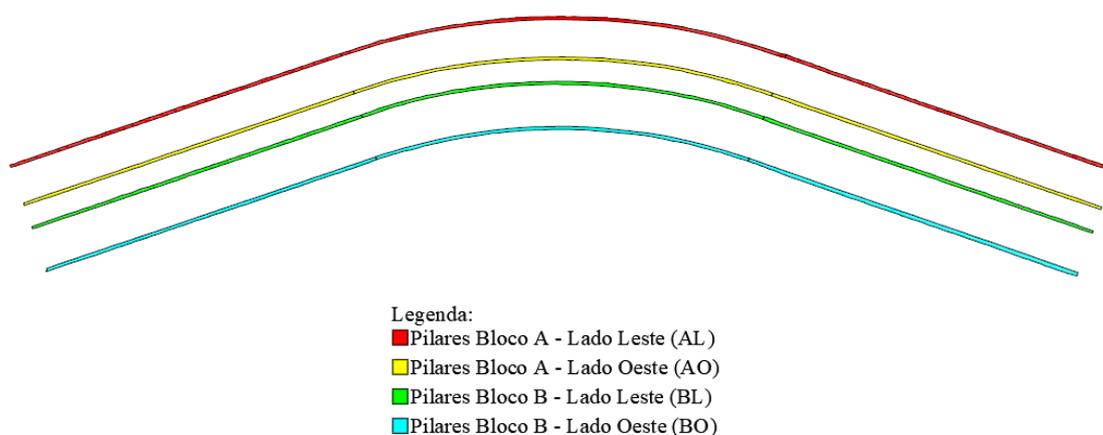
6.3.2 Vistoria

A inspeção da edificação ocorreu em julho de 2019, feito pela autora, e por meio dela as manifestações patológicas dos pilares foram listadas. A escolha desse elemento estrutural

para a edificação é de sua importância para a estabilidade da estrutura, visto que este elemento recebe forças atuantes de diversos andares e as conduz até as fundações da estrutura.

Para a vistoria, foi mantida a divisão feita por Fonseca (2007), sendo divididos em Pilares AL, AO, BL e BO (Figura 77), sendo os internos, os Pilares AO e BL; e os externos, os Pilares AL e BO, agrupando-os em relação à condição de ambientes semelhantes.

Figura 77 - Localização dos pilares do ICC



Fonte: Próprio Autor.

Durante a vistoria, foram detectados danos preocupantes nas famílias, e os mais preocupantes foram encontrados nos pilares externos, os quais possuem uma menor proteção às intempéries, onde foi notado corrosões em estado avançado, fissuras e desparcamento foram comumente encontrados nessas famílias. Essas manifestações patológicas também foram detectadas nos pilares internos, porém, com menor frequência já que as ações externas não chegam tão facilmente a esses elementos.

Uma especificidade a respeito da estrutura é que ela foi projetada segundo a norma vigente da época, a norma NB 1 (1940), que era a menos exigente quanto ao cobrimento para a proteção da armadura, que era de 1 cm a 2 cm, dessa forma, todas as famílias de pilares apresentaram uma alta incidência de cobrimento deficiente. Mesmo com a norma vigente da época com o cobrimento inferior ao exigido atualmente, foi observada uma falha de execução por não respeitarem os protocolos, causando falha de concretagem.

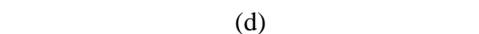
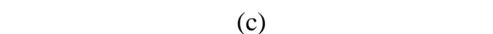
Foram detectadas, de forma generalizada, a aparição de manchas e eflorescência, podendo ser de maior ou menor extensão, dependendo da localização da família e do elemento.

A seguir, listamos outros danos encontrados nos pilares internos na família Pilares BL:

- Falha de concretagem (Figura 78 (a));
- Manchas (Figura 78 (b));
- Eflorescência;
- Cobrimento deficiente (Figura 78 (d));
- Corrosão das armaduras;
- Fissuras; e
- Desplacamento (Figura 78 (c)).

Figura 78 - Pilares BL: Falha de concretagem (a); manchas (b); deslocamento/corrosão das armaduras (c) e cobrimento deficiente (d)





Fonte: Próprio Autor.

A situação dos Pilares AO é bem parecida com a dos Pilares BL, pois estes estão próximos um do outro, com uma distância de apenas 15 metros, por isso, as manifestações patológicas dessas famílias são parecidas:

- Falha de concretagem (Figura 79 (a));
- Manchas (Figura 79 (b));
- Eflorescência;
- Cobrimento deficiente (Figura 79 (d));
- Corrosão das armaduras;
- Fissuras; e
- Deslocamento (Figura 79 (c)).

Figura 79 - Pilares AO: Falha de concretagem (a); manchas (b); deslocamento (c) e cobertura deficiente/ falha de concretagem (d)



(a)



(b)



(c)



(d)

Fonte: Próprio Autor.

Nos pilares externos, Pilares AL, os danos listados foram:

- Falhas de concretagem (Figura 80 (a));
- Corrosão das armaduras (Figura 80 (b));

- Cobrimento deficiente (Figura 80 (d));
- Eflorescência;
- Manchas;
- Fissuras; e
- Deslocamentos (Figura 80 (c)).

Figura 80 - Pilares AL: Falha de concretagem (a); corrosão das armaduras (b); deslocamento/corrosão das armaduras (c) e cobertura deficiente (d)



(a)



(b)



(c)



(d)

Fonte: Próprio Autor.

Nos Pilares BO, foram encontradas as mesmas manifestações patológicas que na família anterior. O dano corrosão das armaduras também atingiu níveis críticos, igualmente com a maioria dos casos localizados na base do pilar (Figura 81).

Figura 81 - Pilares BO: Corrosão das armaduras na base dos pilares



Fonte: Próprio Autor.

6.3.3 Resultados

Os resultados da inspeção, das famílias e da estrutura global, de todos os pilares, internos e externos, do Instituto Central de Ciências, estão apresentados nesta seção.

6.3.3.6 GDE Parametrizado

A Tabela 60 apresenta de forma resumida os resultados dos cálculos de deterioração das famílias e global. Nos pilares do ICC, segundo o GDE Parametrizado, o valor do grau de deterioração igual a 1,00 apresentava a situação “Crítico”, necessitando que a estrutura tenha uma intervenção imediata. Todas famílias obtiveram os mesmos valores de $G_{df} = 1,00$, sendo sua classificada como “Crítico”.

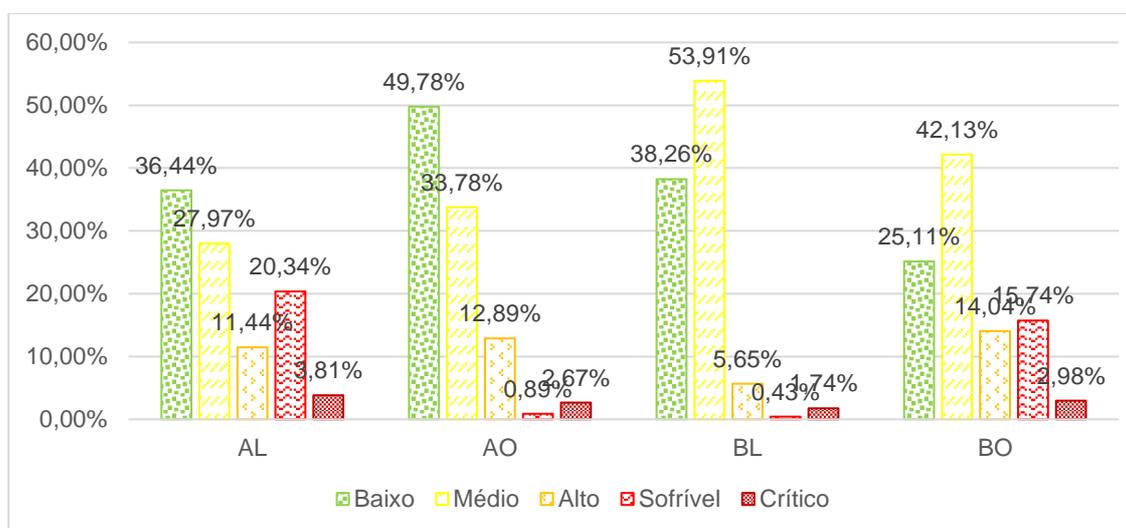
Tabela 60 – Resultado final GDE dos Pilares

Pilares	G_{df}	
	Pilares AL	1,00
Pilares AO	1,00	Crítico
Pilares BL	1,00	Crítico
Pilares BO	1,00	Crítico
G_d	1,00	Crítico

Fonte: Próprio autor.

No Gráfico 36, são demonstradas as porcentagens das classificações de condição das famílias. Nas análises, pode-se perceber que todas as famílias apresentam uma grande quantidade de elementos dentro da classificação de “Baixo” e “Médio”, e os pilares externos apresentando uma pequena incidência de elementos classificados como “Alto”, “Sofrível” e “Crítico”.

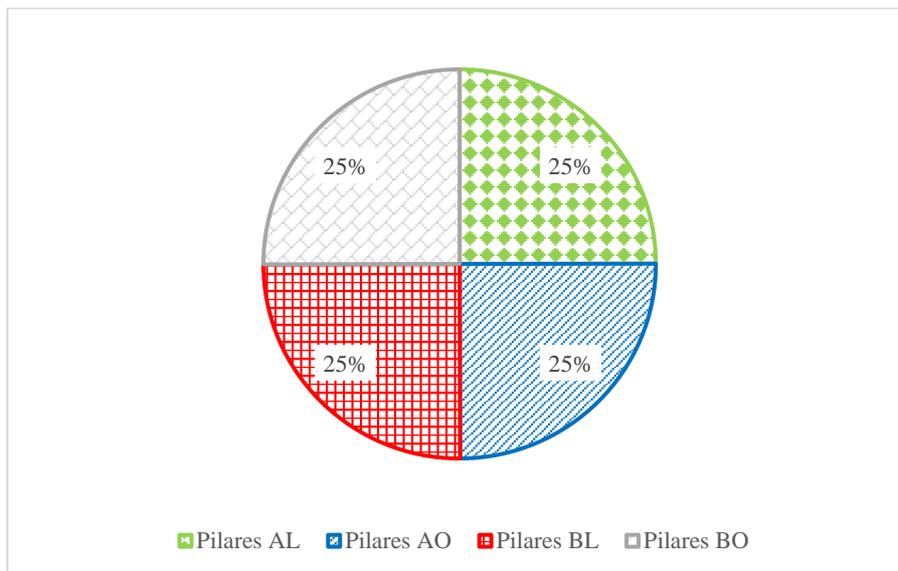
Gráfico 36 – Classificações das famílias no método no GDE parametrizado nos Pilares ICC



Fonte: Próprio autor.

No Gráfico 37, são demonstrados os pesos das famílias para a estrutura global, para o método GDE parametrizado. Como já citado anteriormente, as famílias tiveram o mesmo peso para o resultado final.

Gráfico 37 – Peso das famílias no método no GDE parametrizado nos Pilares ICC



6.3.3.7 CEB Boletim nº 243

Na Tabela 61, encontram-se apresentados resumidamente os resultados dos cálculos de deterioração das famílias e global. Os pilares do ICC, pelo método CEB Boletim nº 243, apresentam o valor da classificação de condição igual a 0,36, revelando uma situação “Crítica”, que necessita que a estrutura tenha uma intervenção em um curto prazo. A família “Pilares BO” obteve o valor de $CR_{\text{família}} = 0,36$, sendo classificada como “Crítica”.

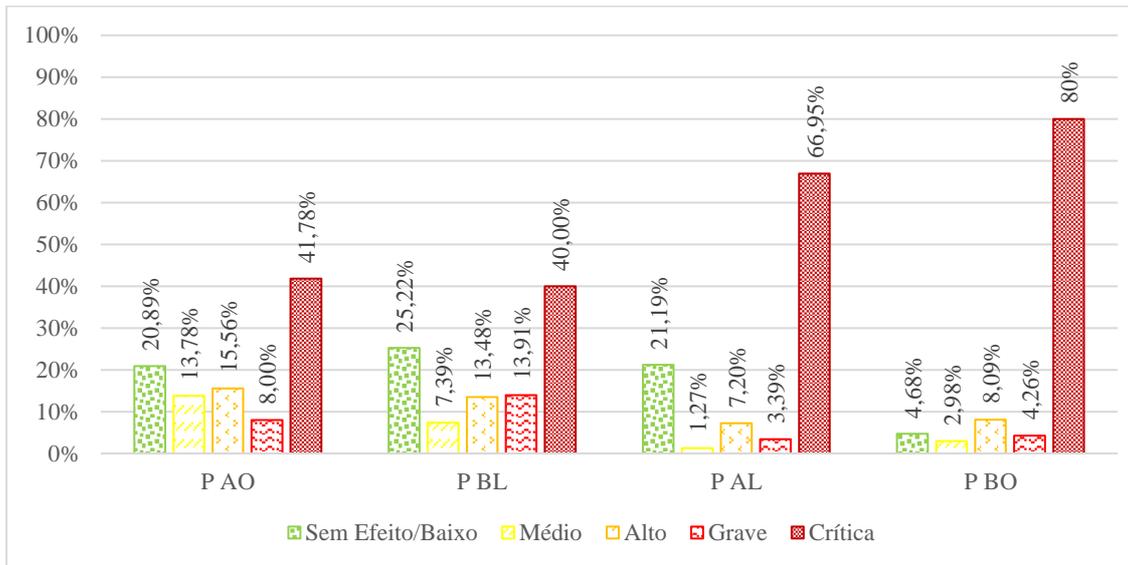
Tabela 61 – Resultado final CEB dos Pilares

Famílias	CR Família	
Pilares AO	0,29	Grave
Pilares BL	0,27	Grave
Pilares AL	0,40	Crítica
Pilares BO	0,47	Crítica
CR Total	0,36	Crítica

Fonte: Próprio autor.

Pelo Gráfico 38, pode-se observar a quantificação de classificações das famílias. Nas avaliações, pode-se perceber que todas as famílias apresentam uma grande quantidade de elementos dentro da classificação de “Crítica”, sendo maior nas famílias dos pilares exteriores.

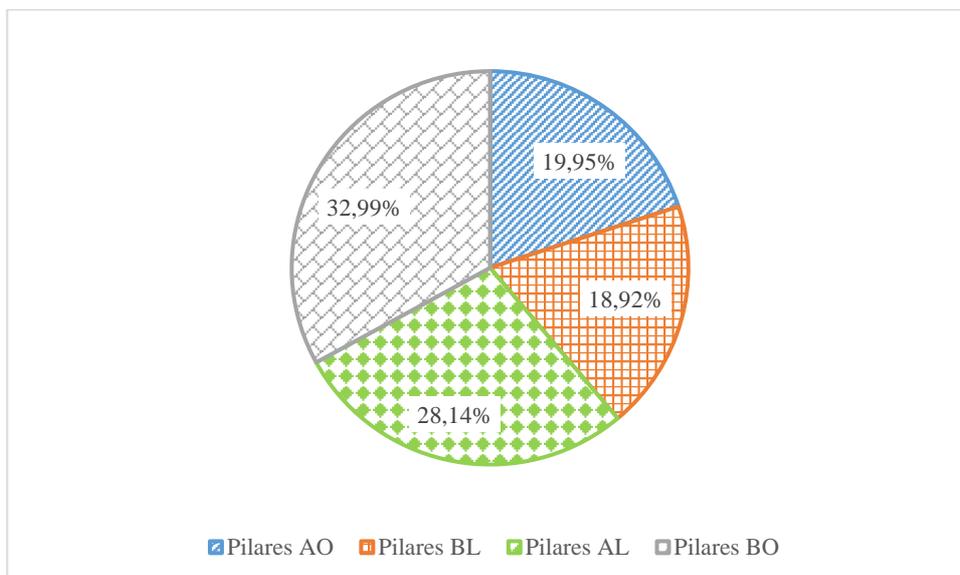
Gráfico 38 – Classificações das famílias no método no CEB nos Pilares ICC



Fonte: Próprio autor.

O Gráfico 39 traz a representação da importância de cada família para o resultado final, com a família “Pilares BO” tendo a maior porcentagem, alcançado 32,99% do valor final da estrutura global.

Gráfico 39 – Peso das famílias no método no CEB nos Pilares ICC



Fonte: Próprio autor.

6.3.3.8 Alert-D

Na Tabela 62, há o resumo dos resultados dos cálculos de *CCr* das famílias dos pilares e *BCr* da estrutura global. Na edificação do ICC, pelo método Alert-D, tem-se o valor do grau de deterioração da estrutura global de 0,57, classificada como uma edificação em situação de perigo. A família “Pilares BO” obteve o valor de *BCr* = 0,57, sendo classificada como “Perigo Sério e Estendido”.

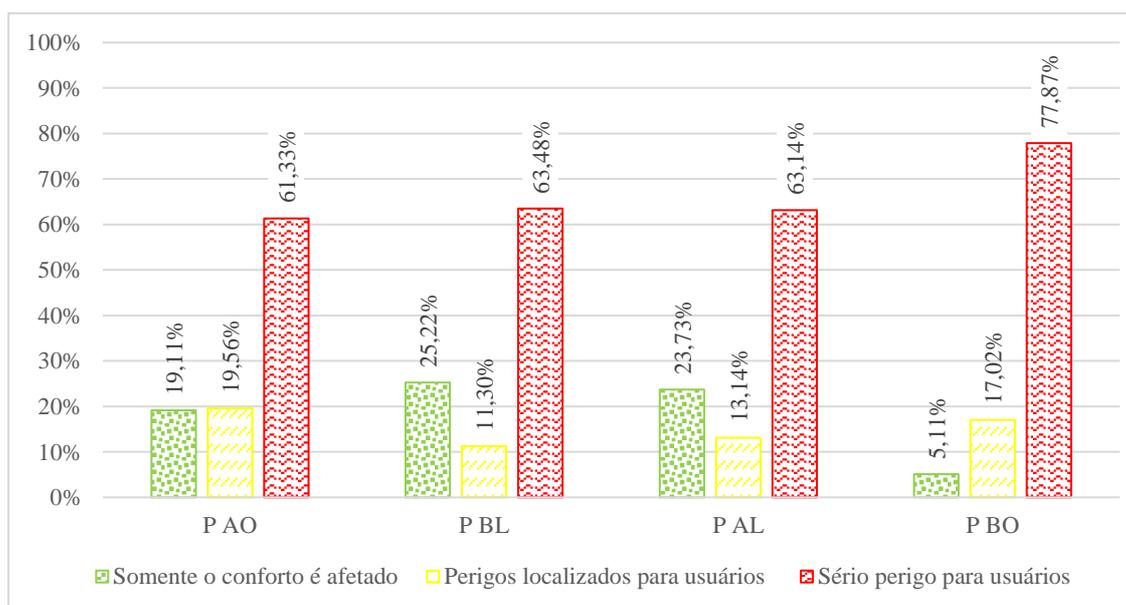
Tabela 62 – Resultado final *BCr* dos Pilares

Família	<i>CCr</i>	
Pilares AO	0,68	Perigo Sério e Estendido
Pilares BL	0,68	Perigo Sério e Estendido
Pilares AL	0,73	Perigo Sério e Estendido
Pilares BO	0,87	Perigo Sério e Estendido
<i>BCr</i>	0,57	Perigo Sério e Estendido Comprometendo a Edificação

Fonte: Próprio autor.

O Gráfico 40 mostra a porcentagem de distribuição das classificações de condição nas famílias. Com os resultados das inspeções, pode-se perceber que todas as famílias apresentam uma grande quantidade de elementos dentro da classificação de “Sério perigo para usuários”.

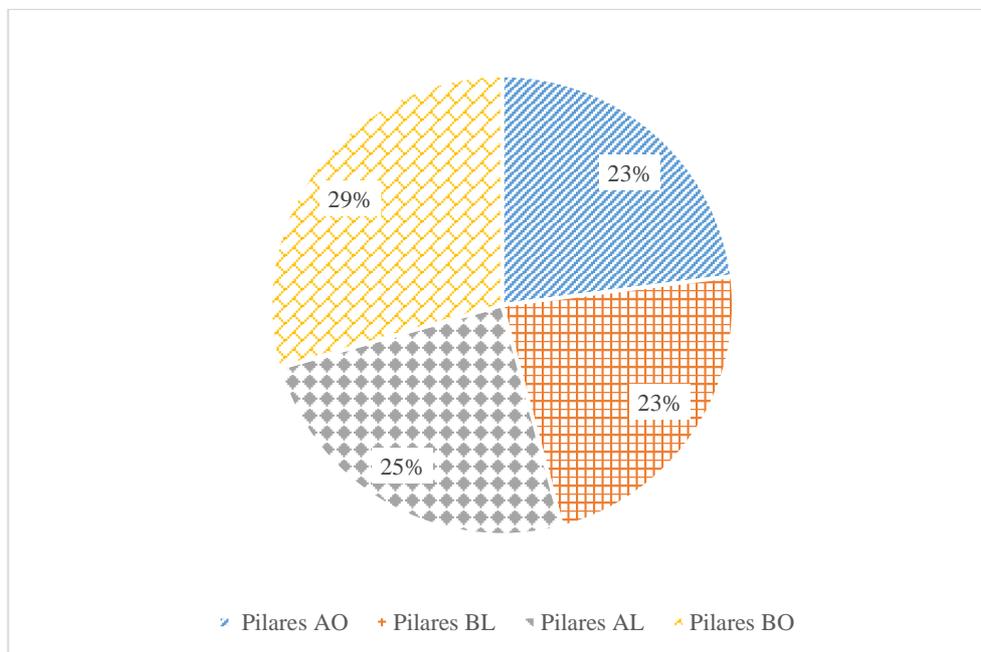
Gráfico 40 – Classificações das famílias no método Alert-D nos Pilares ICC



Fonte: Próprio autor.

No Gráfico 41, é refletido como cada família analisada afeta o resultado final da estrutura no método Alert-D, com a família “Pilares BO” tendo a maior porcentagem, alcançando 29% do valor final da estrutura global.

Gráfico 41 – Peso das famílias no método Alert-D nos Pilares ICC



Fonte: Próprio autor.

6.3.3.9 MAEC

A Tabela 63 traz a situação da família dos pilares e da estrutura global. Os pilares do ICC, pelo método MAEC, apresenta o valor do fator de deterioração da estrutura global igual a 1, com a classificação da situação “Péssima”. As famílias “Pilares AL” e “Pilares BO” obtiveram os mesmos valores de $FG = 1$, sendo classificadas como “Péssima”.

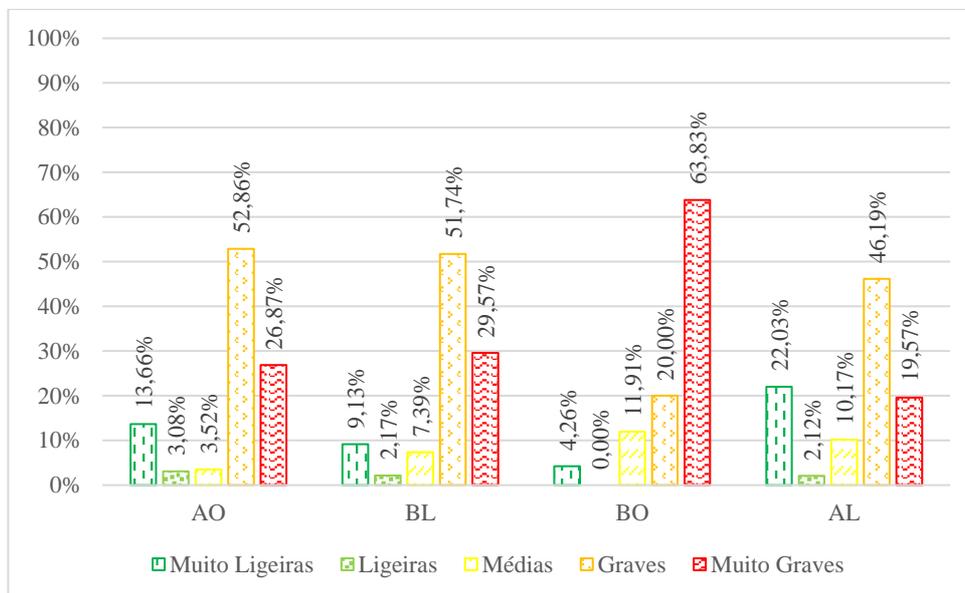
Tabela 63 – Resultado final FG dos Pilares

Família	FG	
Pilares AO	0,8	Mau
Pilares BL	0,8	Mau
Pilares AL	1	Péssima
Pilares BO	1	Péssima
Total	1	Péssima

Fonte: Próprio autor.

O Gráfico 42 exibe as porcentagens das classificações de condição nas famílias. Com os resultados das inspeções, pode-se perceber que todas as famílias apresentam uma grande quantidade de elementos dentro da classificação de “Muito graves”.

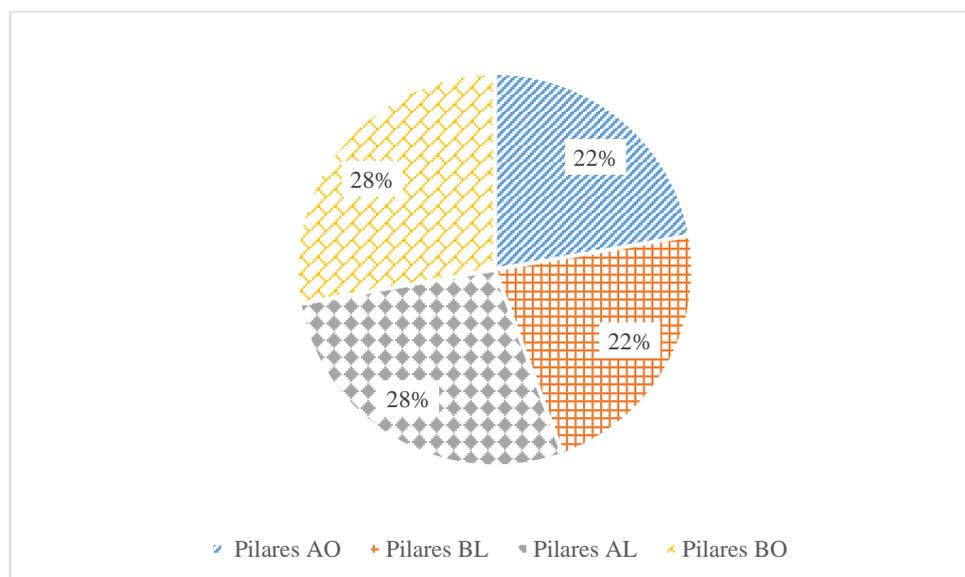
Gráfico 42 – Classificações das famílias no método MAEC nos Pilares ICC



Fonte: Próprio autor.

O Gráfico 43 mostra como cada família analisada afeta o resultado final da estrutura no método MAEC, com as famílias “Pilares BO” e “Pilares AL” apresentando o maior peso, alcançando 28% do valor final da estrutura global.

Gráfico 43 – Peso das famílias no método MAEC nos Pilares ICC



Fonte: Próprio autor.

6.3.3.10 NEN 2767

A Tabela 63 revela a situação da família dos pilares e da estrutura global. Os pilares do ICC, pelo método NEN 2767, apresenta o valor do fator de deterioração da estrutura global igual a 0,47, com a classificação da situação “Razoável”. As famílias “Pilares AL” e “Pilares BO” obtiveram as mesmas valores classificações “Ruim”, as demais famílias em classificação “Razoável”.

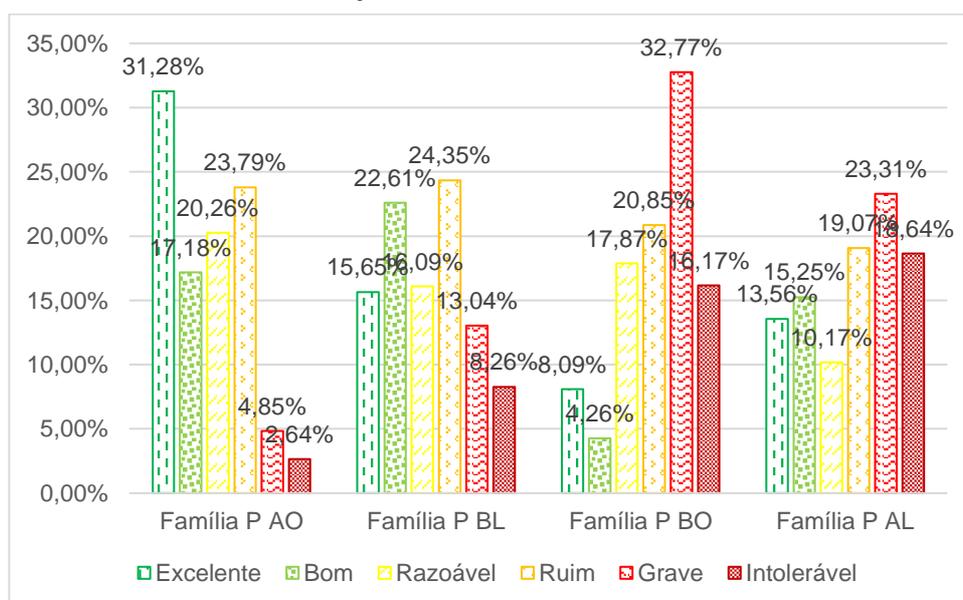
Tabela 64 – Resultado final *FG* dos Pilares

Família	<i>FG</i>	
Pilares AO	0,35	Razoável
Pilares BL	0,44	Razoável
Pilares AL	0,50	Ruim
Pilares BO	0,58	Ruim
Total	0,47	Razoável

Fonte: Próprio autor.

O Gráfico 44 exhibe as porcentagens das classificações de condição nas famílias. Com os resultados das vistorias, pode-se perceber que todas as famílias apresentam uma grande quantidade de elementos dentro da classificação de “Grave” e “Intolerável”.

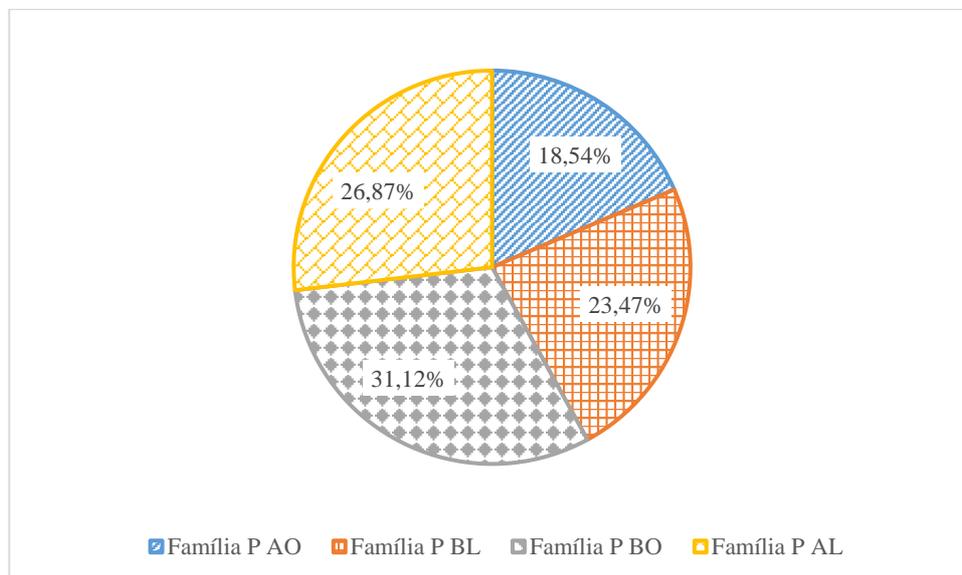
Gráfico 44 – Classificações das famílias no método MAEC nos Pilares ICC



Fonte: Próprio autor.

O Gráfico 45 mostra como cada família analisada afeta o resultado final da estrutura no método NEN 2767, com as famílias “Pilares BO” e “Pilares AL” apresentando o maior peso, alcançando 31,12% e 26,87%, respectivamente, para a estrutura global.

Gráfico 45 – Peso das famílias no método MAEC nos Pilares ICC



Fonte: Próprio autor.

7 COMPARAÇÕES

Foram efetuados estudos comparativos para os resultados obtidos através dos métodos GDE parametrizado, CEB boletim nº 243, Alert-D, MAEC e Norma holandesa, realizando-se a investigação de depreciações de cada estrutura.

7.1 Edificação Residencial

Verifica-se que, em todos os métodos, a família “Fundações” recebeu a situação “Crítica”, porém, os demais conjuntos de elementos apresentaram resultados variados. Os “Pilares” apresentaram variações entre situação “Sofrível”, no GDE parametrizado; “Grave”, no CEB boletim nº 243 e Norma Holandesa; e “Sério perigo para usuários da edificação/Péssimo”, com Alert-D e MAEC. As “Vigas” também revelaram estado em situação “Alto/Ruim”, no GDE parametrizado e na Norma Holandesa; e “Crítica”, com CEB boletim nº 243, Alert-D e MAEC. Já as famílias das “Lajes” encontraram-se em condição “Médio”, no GDE parametrizado; “Grave”, no CEB boletim nº 243; e “Crítica/Péssimo/Intolerável” nos demais métodos. Por fim, a estrutura Global, com exceção do método GDE parametrizado no qual a estrutura obteve o resultado “Alto”, teve a edificação diagnosticada como “Crítica” em outros métodos (Tabela 65).

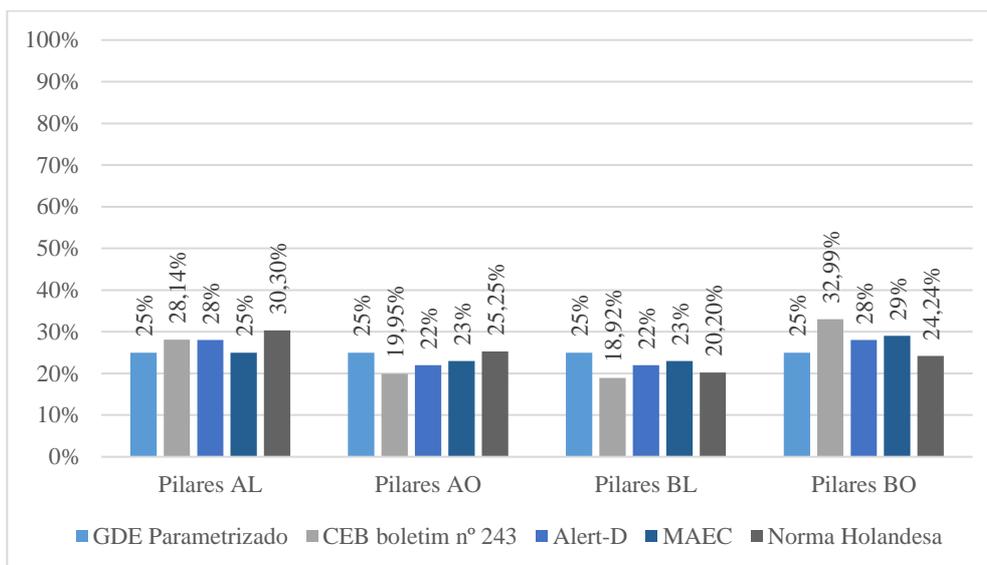
Tabela 65 – Resultados das famílias e global comparados - unidade residencial

	GDE Parametrizado		CEB boletim nº 243		Alert-D		MAEC		Norma Holandesa	
Fundações	1,0	Crítico	0,95	Crítica	1,00	Sério perigo para usuários da edificação	1	Péssimo	1,00	Intolerável
Pilares	0,9	Sofrível	0,22	Grave	1,37	Sério perigo para usuários da edificação	1	Péssimo	0,83	Grave
Vigas	0,6	Alto	0,70	Crítica	1,18	Sério perigo para usuários da edificação	1	Péssimo	0,67	Ruim
Lajes	0,4	Médio	0,23	Grave	0,85	Sério perigo para usuários da edificação	1	Péssimo	1,00	Intolerável
Estrutura	0,76	Alto	0,52	Crítica	1,10	Sério perigo para usuários da edificação	1	Péssimo	0,92	Intolerável

Fonte: Próprio autor.

Os pesos das famílias demonstraram grandes variações entre os métodos, mas, mesmo com essas variações, a grande maioria dos métodos exibiram as “Fundações” como a que apresentou menor variação dentre estes. No entanto, dentre os métodos, foram o CEB boletim nº 243 e a Norma Holandesa que tiveram maiores diferenças dentre eles. E a família das “Lajes” foi a que obteve maior variação dentre os métodos (Gráfico 46).

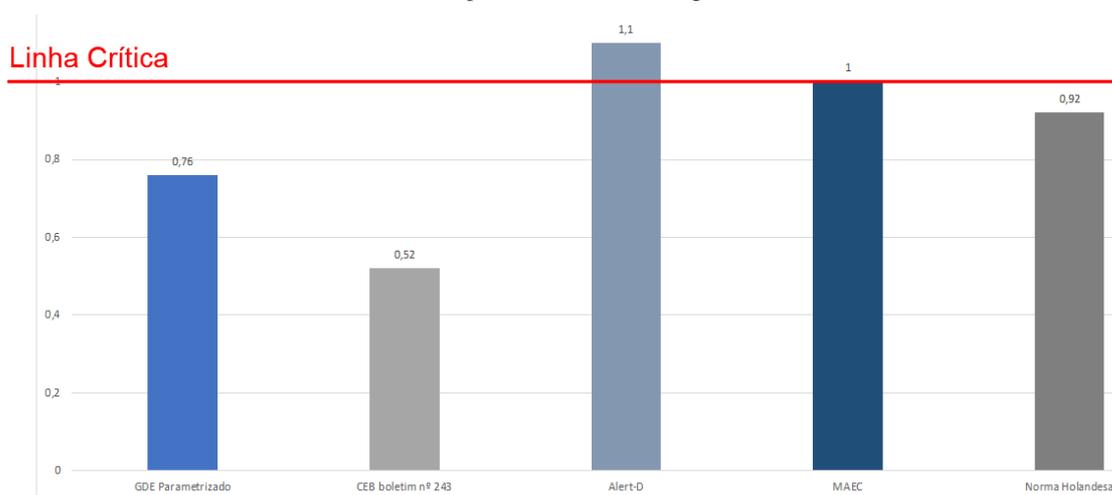
Gráfico 46 – Resultados comparados dos pesos unidade residencial



Fonte: Próprio autor.

O Gráfico 47 permite analisar os dados da estrutura global, demonstrando que a parametrização fez com que os valores dos resultados variassem entre 0 e 1. Essa modificação pode estabelecer um valor em comum para uma situação insegura ou de ruptura da estrutura. O Alert-D, dentre os métodos, foi o que apresentou um resultado mais discrepante, pois o seu produto apresentou um valor próximo de 0, sendo que os demais apresentaram altos resultados.

Gráfico 47 – Resultados comparados dos resultados globais unidade residencial



Fonte: Próprio autor.

7.2 Pilares do Viaduto

Com a maioria dos métodos, a “Família Pilar 7” apresentou os resultados “Crítico/Péssimo”, contudo, tendo como exceção o método Norma Holandesa, que obteve situação “Ruim”. A “Família Pilar 1” com resultados “Alto” para o GDE parametrizado, na Norma Holandesa com “Ruim” e os demais em “Crítico/Péssimo”. A “Família Pilar 2” apresentou variações entre os resultados, recebendo classificações “Média”, no método Norma Holandesa; “Ruim”, no método Alert-D; e nos demais métodos, como “Crítico/Péssimo”. Enfim, a estrutura global foi estabelecida como “Crítico/Péssimo”, com ressalva da Norma Holandesa, que exibiu uma classificação “Ruim” (Tabela 66).

Tabela 66 – Resultados das famílias e global comparados Pilares do Viaduto

	GDE Parametrizado		CEB boletim n° 243		Alert-D		MAEC		Norma Holandesa	
Família Pilar 1	0,76	Alto	0,72	Crítico	0,63	Perigo sério e prolongado	1	Péssimo	0,59	Ruim
Família Pilar 2	0,77	Alto	0,77	Crítico	0,4	Comprometimento da edificação	1	Péssimo	0,61	Ruim
Família Pilar 7	1,00	Crítico	0,77	Crítico	0,75	Perigo sério e prolongado	1	Péssimo	0,65	Ruim
Estrutura	1,00	Crítico	0,76	Crítico	0,57	Perigo sério e prolongado para a edificação	1	Péssimo	0,62	Ruim

Fonte: Próprio autor.

A Tabela 67 apresenta a distribuição das porcentagens das classificações dos elementos em todos os pilares e as diferentes classificações. Por meio dessa tabela, é possível perceber que, nos demais métodos, as famílias Pilar 1 e Pilar 2 apresentaram classificações de elementos como crítica. Outro ponto que foi possível de ser levantado com essas comparações foram que os métodos: CEB boletim n° 243, Alert-D, MAEC e Norma Holandesa mostraram classificações com elementos que apresentam algum risco à segurança ou à ruptura da estrutura; já no método GDE parametrizado, só representou a situação como “Crítica” com apenas os elementos que apresentaram a ruptura da estrutura.

Tabela 67 – Resultados dos elementos comparados Pilares do Viaduto

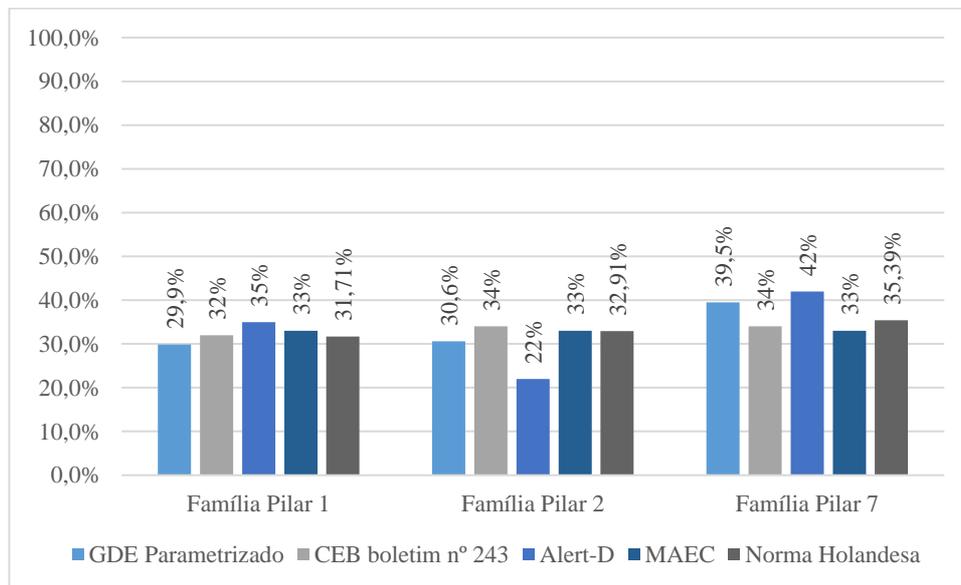
Pilar 1 Lado A										
GDE Parametrizado		CEB boletim n° 243		Alert-D		MAEC		Norma Holandesa		
Baixo	28%	Sem Efeito	28%	Somente o conforto é afetado		28%	Muito Ligeiras	28%	Excelente/Bom	27,5%
Médio	18%	Médio	0%				Ligeiras	0%	Razoável	5%
Alto	55%	Alto	0%	Perigos localizados para usuários		10%	Médio	18%	Ruim	42,5%
Sofrível	0%	Grave	0%				Grave	30%	Grave	0%
Crítica	0%	Crítica	73%	Sério perigo para usuários		60%	Muito Grave	25%	Intolerável	25%
Pilar 1 Lado B										
GDE Parametrizado		CEB boletim n° 243		Alert-D		MAEC		Norma Holandesa		
Baixo	20%	Sem Efeito	20%	Somente o conforto é afetado		20%	Muito Ligeiras	20%	Excelente/Bom	20%
Médio	15%	Médio	0%				Ligeiras	0%	Razoável	10%
Alto	65%	Alto	0%	Perigos localizados para usuários		0%	Médio	10%	Ruim	30%
Sofrível	0%	Grave	0%				Grave	30%	Grave	0%
Crítica	0%	Crítica	80%	Sério perigo para usuários		80%	Muito Grave	40%	Intolerável	40%
Pilar 2 Lado A										
GDE Parametrizado		CEB boletim n° 243		Alert-D		MAEC		Norma Holandesa		
Baixo	17,5%	Sem Efeito	18%	Somente o conforto é afetado		18%	Muito Ligeiras	18%	Excelente/Bom	17,5%
Médio	50%	Médio	0%				Ligeiras	0%	Razoável	0%
Alto	32,5%	Alto	0%	Perigos localizados para usuários		13%	Médio	5%	Ruim	52,5%
Sofrível	0%	Grave	0%				Grave	28%	Grave	10%
Crítica	0%	Crítica	83%	Sério perigo para usuários		70%	Muito Grave	50%	Intolerável	20%
Pilar 7 Lado A										
GDE Parametrizado		CEB boletim n° 243		Alert-D		MAEC		Norma Holandesa		
Baixo	25%	Sem Efeito	25%	Somente o conforto é afetado		25%	Muito Ligeiras	25%	Excelente/Bom	25%
Médio	0%	Médio	0%				Ligeiras	0%	Razoável	0%
Alto	60%	Alto	0%	Perigos localizados para usuários		0%	Médio	0%	Ruim	30%

Sofrível	0%	Grave	0%			Grave	30%	Grave	0%
Crítica	15%	Crítica	75%	Sério perigo para usuários	75%	Muito Grave	45%	Intolerável	45%
Pilar 7 Lado B									
GDE Parametrizado	CEB boletim nº 243			Alert-D		MAEC		Norma Holandesa	
Baixo	20%	Sem Efeito	20%	Somente o conforto é afetado	20%	Muito Ligeiras	20%	Excelente/Bom	20%
Médio	0%	Médio	0%			Ligeiras	0%	Razoável	0%
Alto	65%	Alto	0%	Perigos localizados para usuários	0%	Médio	10%	Ruim	40%
Sofrível	0%	Grave	0%			Grave	30%	Grave	0%
Crítica	15%	Crítica	80%			Sério perigo para usuários	80%	Muito Grave	40%

Fonte: Próprio autor.

Os pesos das famílias não apresentaram grandes variações dos resultados entre os métodos. A “Família Pilar 7” revela o maior peso na maioria dos métodos. Já a “Família Pilar 2” foi a que apresentou maior variação entre os métodos. Os métodos que apresentaram maior discrepância entre si foram o método CEB boletim nº 243 e o Alert-D no pilar 02 (Gráfico 48).

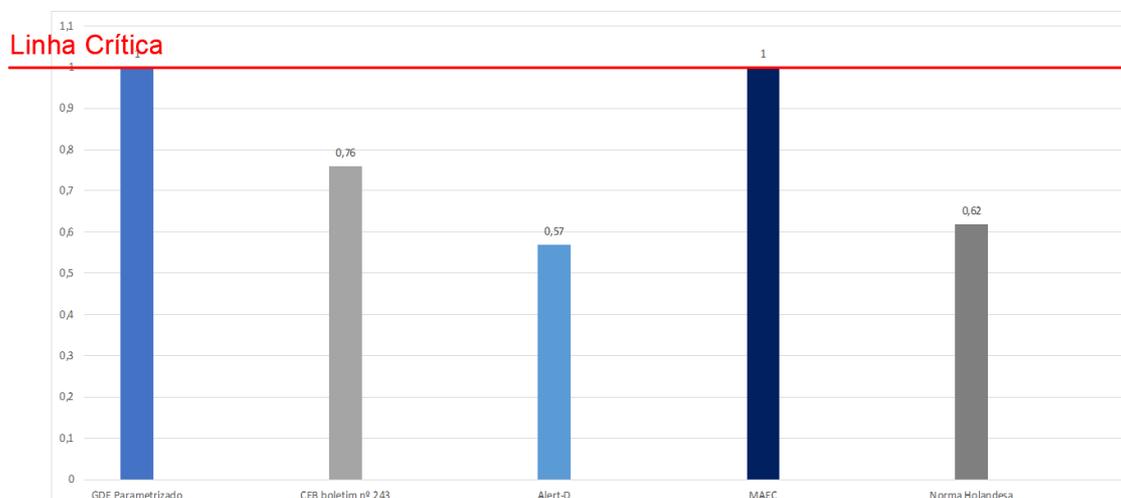
Gráfico 48 – Resultados comparados dos pesos Pilares do Viaduto



Fonte: Próprio autor.

No Gráfico 49, é demonstrado que o GDE parametrizado e o MAEC alcançaram a linha crítica, representando a ruptura da estrutura. Os demais métodos não alcançaram a linha, mas, de acordo com as suas classificações, alcançaram os níveis críticos, exceto a norma holandesa.

Gráfico 49 – Resultados comparados dos resultados globais Pilares do Viaduto



Fonte: Próprio autor.

7.3 Pilares ICC

Para essa estrutura, no GDE parametrizado e Alert-D com todos as famílias com os resultados em “Crítico”. Houve grandes variações das classificações, na família “Pilares AL” e “Pilares BO”, que apresentaram resultados “Crítico/Péssimo”, pelo método CEB boletim nº 243 e MAEC; e “Ruim/Alto”, na Norma Holandesa. Já os “Pilares AO” e “Pilares BL” apresentaram classificações “Grave/Sofrível”, no CEB boletim nº 243; “Alto/Mau/Ruim”, MAEC; e “Razoável”, na Norma Holandesa. Em relação à estrutura global, pelos métodos CEB boletim nº 243, Alert-D e MAEC, tiveram classificação “Crítico/Péssimo”, “Alto/Mau/Ruim”, no GDE parametrizado; e, por fim, “Razoável”, na Norma Holandesa (Tabela 68).

Tabela 68 – Resultados das famílias e global comparados Pilares do Viaduto

	GDE Parametrizado		CEB boletim nº 243		Alert-D		MAEC		Norma Holandesa	
Pilares AL	1,00	Crítica	0,4	Crítica	0,68	Perigo Sério e Estendido	1	Péssimo	0,5	Ruim
Pilares AO	1,00	Crítica	0,29	Grave	0,68	Perigo Sério e Estendido	0,8	Mau	0,35	Razoável
Pilares BL	1,00	Crítica	0,27	Grave	0,73	Perigo Sério e Estendido	0,8	Mau	0,44	Razoável
Pilares BO	1,00	Crítica	0,47	Crítica	0,87	Perigo Sério e Estendido	1	Péssimo	0,58	Ruim
Estrutura	1,00	Crítica	0,36	Crítica	0,57	Perigo Sério e Estendido Comprometendo a Edificação	1	Péssimo	0,47	Razoável

Fonte: Próprio autor.

Na Tabela 69, pode-se observar como ficou a distribuição das classificações dos pilares dos elementos. No método GDE parametrizado, não houve valores de classificação “Crítico” e nem “Sofrível”. Na metodologia CEB boletim nº 243, em todas as famílias, a

maior parte das porcentagens dos resultados foi “Crítico”. Já nos métodos Alert-D, MAEC e Norma Holandesa, mostraram classificações com valores bem distribuídos.

Tabela 69 – Resultados dos elementos comparados Pilares do Viaduto

GDE Parametrizado		CEB boletim n° 243		Alert-D		MAEC		Norma Holandesa	
Baixo	36,44%	Sem Efeito	21,19%	Somente o conforto é afetado	5,11%	Muito Ligeiras	22,03%	Excelente/Bom	28,81%
Médio	27,97%	Médio	1,27%			Ligeiras	2,12%	Razoável	10,17%
Alto	11,44%	Alto	7,2%	Perigos localizados para usuários	17,02%	Médio	10,17%	Ruim	19,07%
Sofrível	20,34%	Grave	3,39%			Grave	46,19%	Grave	23,31%
Crítica	3,81%	Crítica	66,95%	Sério perigo para usuários	77,87%	Muito Grave	19,57%	Intolerável	18,64%

GDE Parametrizado		CEB boletim n° 243		Alert-D		MAEC		Norma Holandesa	
Baixo	49,78%	Sem Efeito	20,89%	Somente o conforto é afetado	19,11%	Muito Ligeiras	13,66%	Excelente/Bom	48,46%
Médio	33,78%	Médio	13,78%			Ligeiras	3,08%	Razoável	20,26%
Alto	12,89%	Alto	15,56%	Perigos localizados para usuários	19,56%	Médio	3,52%	Ruim	23,79%
Sofrível	0,89%	Grave	8%			Grave	52,86%	Grave	4,85%
Crítica	2,67%	Crítica	41,78%	Sério perigo para usuários	61,33%	Muito Grave	26,87%	Intolerável	2,64%

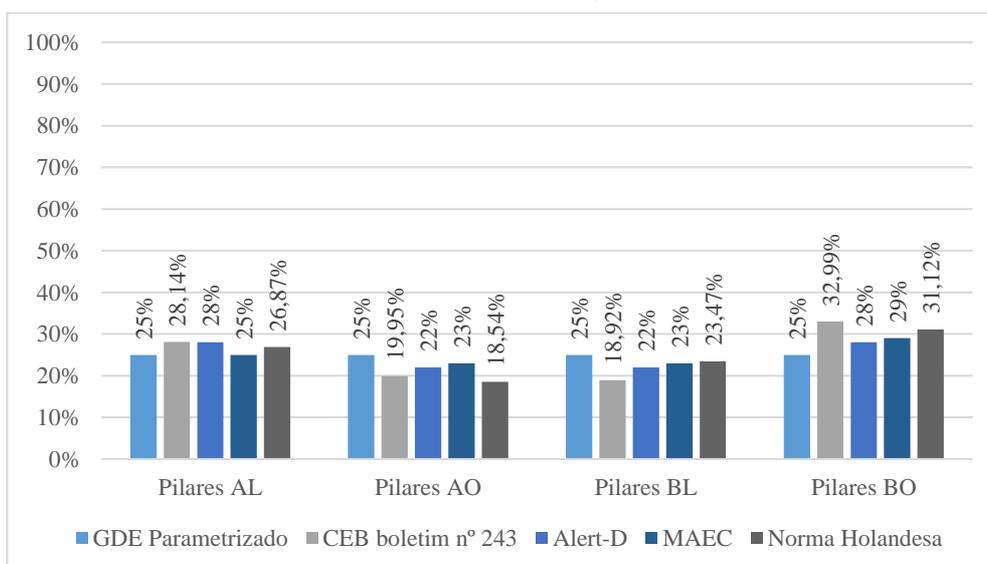
GDE Parametrizado		CEB boletim n° 243		Alert-D		MAEC		Norma Holandesa	
Baixo	38,26%	Sem Efeito	25,22%	Somente o conforto é afetado	25,22%	Muito Ligeiras	9,13%	Excelente/Bom	38,26%
Médio	53,91%	Médio	7,39%			Ligeiras	2,17%	Razoável	16,09%
Alto	5,65%	Alto	13,48%	Perigos localizados para usuários	11,3%	Médio	7,39%	Ruim	24,35%
Sofrível	0,43%	Grave	13,91%			Grave	51,74%	Grave	13,04%
Crítica	1,74%	Crítica	40%	Sério perigo para usuários	63,48%	Muito Grave	29,57%	Intolerável	8,26%

GDE Parametrizado		CEB boletim n° 243		Alert-D		MAEC		Norma Holandesa	
Baixo	25,11%	Sem Efeito	4,68%	Somente o conforto é afetado	5,11%	Muito Ligeiras	4,26%	Excelente/Bom	12,35%
Médio	42,13%	Médio	2,98%			Ligeiras	0%	Razoável	17,87%
Alto	14,04%	Alto	8,09%	Perigos localizados para usuários	17,02%	Médio	11,91%	Ruim	20,85%
Sofrível	15,74%	Grave	4,26%			Grave	20%	Grave	32,77%
Crítica	2,98%	Crítica	80%	Sério perigo para usuários	77,87%	Muito Grave	63,83%	Intolerável	16,17%

Fonte: Próprio autor.

A distribuição dos pesos das famílias não apresentou grandes variações dos resultados entre os métodos. Nessa estrutura, o que apresentou maior peso foi a família “Pilares BO”, porém, a construção não obteve muitas discrepâncias entre as famílias e os métodos, como pode ser observado no Gráfico 50.

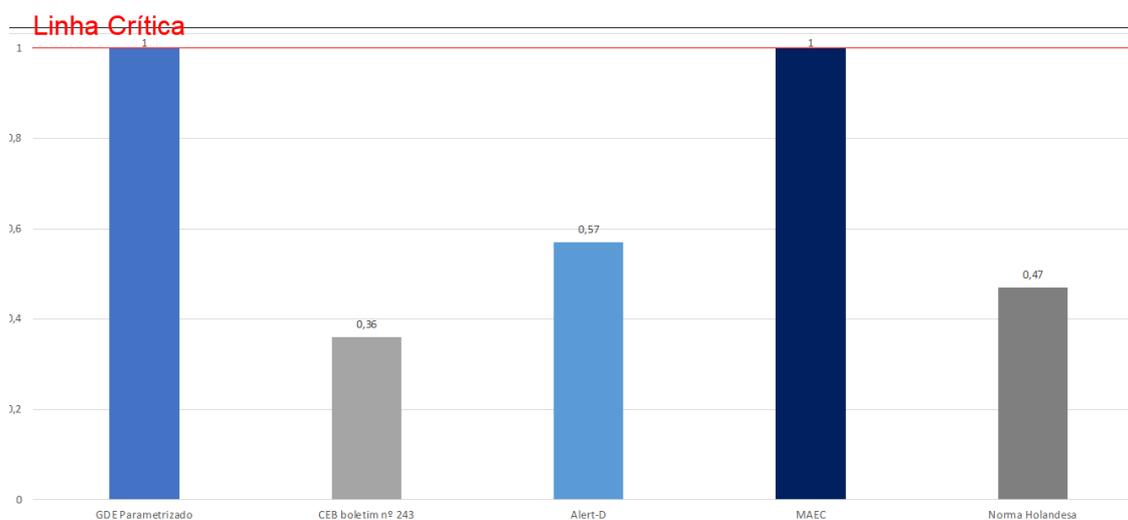
Gráfico 50 – Resultados dos elementos comparados Pilares do Viaduto



Fonte: Próprio autor.

O Gráfico 51 mostra que o método MAEC e GDE parametrizado alcançaram a linha crítica para esse método, representando que a estrutura está gerando risco para o usuário. No CEB boletim nº 243 e Alert-D, a estrutura está em situação crítica, entretanto, estão longe da linha crítica. O método GDE parametrizado apresentou um valor elevado em comparação aos demais métodos, pois os seus cálculos e calibração são diferentes. A Norma Holandesa, mesmo tendo um valor maior que o CEB boletim nº 243, apresentou um resultado razoável.

Gráfico 51 – Resultados comparados dos resultados globais Pilares do Viaduto



Fonte: Próprio autor.

7.4 Comparações dos Ensaios em Inspeções Visuais

Para a estrutura do viaduto da Galeria dos Estados, foram realizados alguns ensaios para caracterização do concreto e do aço. Para o concreto, foi realizado o ensaio de compressão de testemunho extraído em campo. Foram coletadas quatro amostras, porém, para este estudo, foram utilizadas apenas duas das quatro que são referentes às amostras do pilar 07. Na Tabela 70, são exibidos os dados coletados pelo ensaio.

Tabela 70 – Massa específica de cada amostra de concreto

Nº da Amostra	Amostra 001	Amostra 002
Localização da Extração	Pilar 07 – Face Sul	Pilar 07 – Face Norte
Resistência de ruptura à compressão do testemunho extraído	43,8 MPa	43,3 MPa

Fonte: LABEST (2018).

Para métodos de avaliação visual de estruturas de concreto, os ensaios são utilizados como forma de apoio para o inspetor. No método GDE parametrizado, ainda se utiliza do guia desenvolvido por Fonseca (2007). O uso do ensaio de compressão pode ser utilizado para auxiliar na confirmação do dano “Sinais de esmagamento” que ocorre “[...] devido ao cisalhamento e a compressão, com perda substancial de material, deformação residual aparente, exposição e início de flambagem de barras da armadura [...]” (FONSECA, 2007, p.188). O método CEB boletim nº 243 (1998) cita o dano “Força menor que o requerido”, significando que a avaliação desse dano quanto à resistência da amostra é menor que a resistência do concreto proposta pelo projeto. Ambas as amostras auxiliaram os inspetores a confirmar que a resistência à compressão apresentou um valor característico estimado pelo período de construção da obra.

Para a caracterização do aço, foram realizados dois ensaios para auxiliar no diagnóstico dos danos encontrados nas vistorias visuais: ensaio de resistência à tração do aço, no qual o aço é submetido a uma carga em que a amostra aumenta até um valor limite, até a fratura do corpo de prova (BEVITORI, 2010); e ensaio de metalografia, uma etapa para caracterização de um material, pois permite conhecer aspectos ligados à microestrutura, como a volumetria do material (SANTOS, 2008). Na Tabela 71, são exibidos os dados coletados pelos ensaios.

Tabela 71 – Dados dos ensaios do aço

Nº da Amostra	Amostra 001	Amostra 002	Amostra 003	Amostra 004
Localização da Extração	CORD 03 – Cordoalha da Região Superior do Console Norte, na superfície de ruptura do console Pilar 07			
Tensão				
Diâmetro Médio (mm)	4,76	4,49	4,92	4,14

f_c (Mpa)	>1200	>800	=1200	>1400
Nº da Amostra	Amostra 005	Amostra 006	Amostra 007	Amostra 001
	CORD 03 – Cordoalha da Região Superior do Console Norte, na superfície de ruptura do console			EST CONST -Estribos na Região da Ancoragem de Protensão do Console Norte que veio ao colapso
Localização da Extração	Pilar 07			
Tensão				
Diâmetro Médio (mm)	4,96	4,54	4,69	15,78
f_c (Mpa)	=1200	=1400	>1300	>300
Nº da Amostra	Amostra 002	Amostra 003	Amostra 004	
	EST CONST -Estribos na Região da Ancoragem de Protensão do Console Norte que veio ao colapso			
Localização da Extração	Pilar 07			
Tensão				
Diâmetro Médio (mm)	16,0	15,88	15,57	
f_c (Mpa)	=250	>350	>300	

Fonte: LABEST (2018).

Esses ensaios são utilizados para confirmar as informações coletadas em campo pela vistoria visual em relação ao aço da estrutura. Durante a inspeção, foi detectada a corrosão da armadura. Na metodologia GDE parametrizada, tem-se o dano “Corrosão das armaduras” e uma das intensidades precisa da informação para saber se há a perda do diâmetro do aço “corrosão acentuada na armadura principal, c/ perda relevante de seção” (FONSECA, 2007). No método CEB boletim nº 243 (1998) a anomalia nomeada por essa metodologia é “Corrosão das armaduras principais, redução da área de aço na seção” com suas intensidades definidas pelas personagens de perda quanto ao diâmetro do aço pré-corrosão. Assim, os ensaios auxiliaram na confirmação da perda da seção do aço, que anteriormente foi encontrada na inspeção visual e confirmada pelos ensaios.

7.5 Discussão

O que pode ser analisado a partir da casa Brasília, uma construção residencial, é que as famílias das fundações e as vigas ficaram em níveis “Médio” e “Crítico/Péssimo/Intolerável”. Os pontos que puderam ser levantados com as comparações feitas na seção anterior para essa estrutura foram:

- GDE parametrizado: o método foi de fácil aplicação em uma estrutura residencial. Contudo, as classificações não refletiram a realidade de um dos elementos, as “Vigas”, que nos demais métodos apresentou classificação “Crítica”. Esse resultado pode ter sido gerado em virtude das alterações dos cálculos do método ao longo dos anos e sem atualizações das tabelas de classificações, ou algum erro durante a avaliação da estrutura, baseada no GDE, em relação aos demais métodos;
- CEB boletim 243: o método foi de fácil aplicação em uma estrutura residencial. O método CEB boletim 243 originalmente foi criado para obras de arte, mas, com a modificação de Coronelli (2007), o método pode ser aplicado em outras formas de estruturas. O dano de “Falha na mão de obra”, apesar de não representar um grande peso para o resultado final, acrescentou, também, um dado sobre a execução do elemento analisado;

- Alert-D: o método foi de fácil aplicação em uma estrutura residencial. Para o dano do elemento e para o dano da família, foi possível estabelecer o nível de degradação com os níveis do método em que foi baseado. No entanto, para o resultado da estrutura global, não apresentou um resultado coerente com as demais metodologias, cuja discrepância pode ter sido causada pelo cálculo da avaliação aproximada do número de componentes por metro quadrado (γ_b), já que, nesta estrutura, há uma grande quantidade de elementos por metro quadrado;
- MAEC: este método foi desenvolvido para analisar especificamente esse tipo de edificação, com a finalidade de avaliar o estado de edificações residenciais. Por ser uma metodologia um pouco mais aberta em comparação aos demais métodos, é facilmente alterável. Além disso, se difere dos demais métodos, por não ter uma lista com a intensidade das patologias, fazendo que com cada avaliador determine a intensidade do dano;
- Norma Holandesa: semelhante ao MAEC, foi gerado com o intuito de analisar edificações residenciais. Neste método, também não há uma lista de danos, colocando a quantificação dos danos ainda mais na percepção do vistoriador.

Os pilares do viaduto da Galeria dos Estados é uma estrutura classificada como obra de arte, na qual, para uma análise mais detalhada de cada pilar, foi realizada a divisão do pilar em 40 partes, em cada face. Os pilares obtiveram resultados “Críticos”, “Altos/Ruim” e “Médio”. Com essa estrutura, os pontos levantados com o uso dos métodos foram:

- GDE parametrizado: como supracitado, essa estrutura é classificada como obra de arte e, por isso, foi utilizado o cálculo feito por Verley (2015). Para parametrizar essa fórmula, foi necessário realizar uma alteração, pois, como informa em seu trabalho, o denominador da equação (7,07) é uma constante para ajustar a escala. No entanto, com a parametrização, não existe a necessidade da colocação desse denominador, pois os valores possíveis ficam na faixa da formulação. O método também permite diferentes formas de aplicação, como foi feito para esta estrutura, que permitiu dividir cada face dos pilares em 40 partes;

$$G_{d,mod} = K_{m\acute{a}x} \sqrt{1 + \frac{\sum K_i - K_{m\acute{a}x}}{\sum K_i}} \quad (36)$$

- CEB boletim 243: este método foi originalmente criado para avaliação de estruturas que são classificadas como obra de arte, e com alteração feita por Coronelli (2007), ampliou a quantidade de estruturas a serem avaliadas. Durante a aplicação, não houve necessidade de adequação da metodologia;
- Alert-D: este método não tem histórico de avaliação em obra de arte, mas é possível realizar o cálculo de degradação da estrutura. A única alteração necessária para a realização do cálculo foi, ao invés de se utilizar o número de elementos, foi utilizado o número de divisões;
- MAEC: este método não foi criado para avaliação de estruturas de obra de arte, mas se apresentou eficiente para esse tipo de estrutura, com resultados coerentes;
- Norma Holandesa: norma que não foi desenvolvida para avaliação de OAE, no entanto, para a análise dos elementos, o método se apresentou como um método bom para compreensão, porém, as classificações das famílias e da estrutura não se apresentaram coerentes com a situação real da estrutura.

E, por fim, a avaliação dos pilares do ICC, uma construção universitária na qual foi possível aplicar as metodologias em um alto número de elementos. A partir das informações coletadas para comparação dos métodos nessa estrutura, foi possível levantar:

- GDE parametrizado: os resultados deste método, com relação às famílias, estão coerentes. O que mais se diferencia em relação aos demais métodos é que, na análise dos elementos, não houve nenhum como crítico;
- CEB boletim 243: o método foi aplicado com facilidade na estrutura e, apesar de uma lista vasta em relação às manifestações patológicas, ainda são possíveis acrescentar novos danos à lista, que não estavam listados na relação;

- Alert-D: diferentemente das metodologias anteriores, este método apresenta uma certa limitação quanto ao acréscimo de novos danos. Obteve resultados coerentes quanto aos demais métodos e à realidade da estrutura;
- MAEC: Os resultados para essa estrutura apresentaram um resultado coerente com este método;
- Norma Holandesa: como na estrutura anterior, os elementos apresentaram resultados coerentes com a realidade, contudo, nas famílias e na estrutura global, obtiveram classificações mais baixas do que a situação real da estrutura.

Assim como aconteceu na estrutura anterior, foram analisados somente os pilares, entretanto, diferente da anterior, não ocorreram grandes diferenças entre os resultados.

8 CONCLUSÕES

As metodologias analisadas neste projeto foram escolhidas por serem métodos de possível aplicação em estruturas de concreto armado ou por possuir um amplo histórico de aplicação do método. Essas metodologias utilizam-se de vistorias visuais, usando ou empregando os ensaios de campo apenas como auxílio para o resultado final.

A aplicação das metodologias nas estruturas analisadas foi feita de acordo com o que foi descrito, as quais foram executadas em três estruturas de concreto armado com usos diferentes, sendo elas: uma estrutura residencial, uma obra de arte especial e uma estrutura de uma instituição educacional. Nelas foram aplicadas o método GDE parametrizado, com atualização do Pantoja *et al.* (2019) e com os cálculos de Fonseca (2007) e Verly (2015) (metodologia de avaliação estrutural); o método CEB boletim, com atualização de Coronelli (2007) (metodologia de avaliação estrutural), Alet-D (2019) desenvolvido por Sangiorgio *et al.* (2019) (metodologia de avaliação de edificações); MAEC, com atualizações de Vilhena (2011) (metodologia de avaliação de edificações); e a Norma Holandesa NEN 2767 (metodologia de avaliação de edificações). Por meio destes, foi possível gerar a condição da depreciação dos elementos, das famílias e da edificação.

Todas as três estruturas possuem uma situação em comum: encontram-se em situação crítica, sendo que a casa Brasília precisou ser desocupada por risco de desabamento e os pilares do viaduto da galeria dos estados entrou em colapso em 2018, tornando-se inviável o seu uso até ser restaurado e liberado para uso em 2019. Cabe lembrar, neste estudo, que os pilares do viaduto já possuem 61 anos e a estrutura do ICC 46 anos, sendo a casa Brasília a estrutura mais recente.

Nas seções anteriores, foi mostrado como cada parte das metodologias pode afetar o grau de deterioração da estrutura. Foi possível constatar que as diferenças dos métodos já começam na vistoria, visto que cada uma mostra, de forma diferente, como classificar os danos analisados. Na segunda etapa, que é o cálculo do grau de dano do elemento, dois deles se utilizam do modelo de Tutti para regularizar o resultado e os outros dois da multiplicação dos fatores coletados durante a vistoria. Na terceira etapa, a análise do grau

de danos das famílias foi a parte em que mais ocorreu divergências dos métodos, pois cada um se propõe a calcular, de maneira distinta, o conjunto dos elementos, sendo as somatórias dos danos dos elementos o único fator em comum em todos os cálculos. E, na quarta e última etapa, os cálculos do grau de deterioração da estrutura, sendo apenas o método GDE parametrizado para obras de artes especiais e o Alert-D os que obtiveram as fórmulas mais divergentes.

Outro ponto relevante a ser citado em relação aos métodos é em relação às classificações dos graus de danos dos elementos, das famílias e das estruturas, uma vez que cada método possui um número de níveis diferentes. Os métodos GDE parametrizado e MAEC se utilizam de 5 níveis, o método CEB boletim 243 e Norma Holandesa com divisões em 6 níveis e o Alert-D é dividido em 3 níveis para os elementos e famílias, porém, para a estrutura, não se pode utilizar a classificação no método em que foi baseado (Tabela 72). Esses níveis de classificações auxiliam tanto o vistoriador quanto o gestor a interpretar os resultados e verificar em qual parte da estrutura é necessária uma maior atenção.

Tabela 72 – Classificações dos níveis

GDE			CEB			Alert-D			MAEC			Norma Holadesa		
Elemento	Família	Estrutura	Elemento	Família	Estrutura	Elemento	Família	Estrutura	Elemento	Família	Estrutura	Elemento	Família	Estrutura
-	-	-	Somente o conforto é afetado	Algumas patologias	Prédio em bom estado em bom estado médio	Cr < 4	CCr < 2	BCr < 3	-	-	-	-	-	Excelente (1)
Baixo (0 – 0,15)	Baixo (5 – 10)	Baixo (10 – 15)	Perigos localizados	Comprometimento do Serviço	Comprometimento de patologias de manutenção são estendidas	4 < Cr < 6	2 < CCr < 6	3 < BCr < 5	Excelente (5)	Bom (4)	Bom (3)	Excelente (5)	Bom (2)	Bom (2)
Médio (0,15 – 0,50)	Médio (10 – 15)	Médio (10 – 15)	4 < Cr < 6	2 < CCr < 6	3 < BCr < 5	4 < Cr < 6	2 < CCr < 6	3 < BCr < 5	Bom (4)	Bom (3)	Bom (3)	Bom (4)	Bom (2)	Razoável (3)
Alto (0,50 – 0,80)	Alto (15 – 25)	Alto (15 – 25)	Sério perigo	Perigo sério e prolongado	Perigo sério e prolongado que compromete a construção	Sério perigo	Perigo sério e prolongado	Perigo sério e prolongado que compromete a construção	Médio (3)	Médio (2)	Médio (3)	Médio (3)	Médio (2)	Ruim (4)
Sofrível (0,80 – 1,00)	Grave (25 – 35)	Grave (25 – 35)	6 < Cr < 10	6 < CCr < 10	BCr > 5	6 < Cr < 10	6 < CCr < 10	BCr > 5	Mau (2)	Mau (2)	Mau (2)	Mau (2)	Mau (2)	Grave (5)
Crítico (> 1,00)	Crítico (> 35)	Crítico (> 35)	6 < Cr < 10	6 < CCr < 10	BCr > 5	6 < Cr < 10	6 < CCr < 10	BCr > 5	Péssimo (1)	Péssimo (1)	Péssimo (1)	Péssimo (1)	Péssimo (1)	Intolerável (6)

Fonte: Próprio autor.

No estudo de caso da unidade residencial, após a análise de todos os dados obtidos, verificou-se que houve grandes variações nas classificações das famílias, sendo que, em uma mesma família, pode-se notar resultados de “Médio” a “Críticos”. Além disso, as distribuições dos pesos não apresentarem homogeneidade entre si.

Fatores que podem ter auxiliado para diferença dos resultados entre as estruturas:

- Os valores dos graus do dano variam para cada metodologia, como, por exemplo, o dano “Recalque” que, em quase todos os métodos, tem seu o grau com o valor 1 (maior valor possível) e, no método CEB Boletim nº 243, foi designado pelo método um valor de 0,75;
- O cálculo do dano, no GDE parametrizado e no Alert-D, foi realizado no modelo Tuutti para calibração, já os demais métodos não se utilizaram desse sistema, com utilização de multiplicação dos fatores;
- Para o grau de dano do elemento, quase todos os métodos possuem cálculos e fatores diferentes de avaliação. A Tabela 73 mostra como cada metodologia se utiliza para gerar os dados;

Tabela 73 – Comparação dos graus de danos dos elementos

$G_{de} = \frac{\left(D_{mx} \left(1 + \frac{\sum D(i) - D_{mx}}{\sum D(i)} \right) \right)}{\sum \text{Somatório dos maiores valores do danos}}$	$CR_{Elemento} = \frac{\sum V_D}{\sum V_{D,ref}} = \frac{\sum B_i \times K_{1i} \times K_{2i} \times K_{3i} \times K_{4i}}{\sum B_i \times K_{1Ref} \times K_{2Ref} \times K_{3Ref} \times K_{4Ref}}$
GDE parametriza	CEB Boletim nº 243
$Cr_e = SD_{max} \left(1 + \frac{\sum_{d=1}^{\Delta} SD_d - SD_{max}}{2 * \sum_{d=1}^{\Delta} SD_d} \right)$ <p style="text-align: center;">Alert-D</p>	
$(FG_i \cdot FE_i \cdot Pd_i)$	$Imp \cdot Int \cdot Ext$
MAEC	Norma Holandesa

Fonte: Próprio autor.

- Para o grau de dano das famílias, a maioria dos métodos utiliza-se para o cálculo o somatório dos valores dos elementos dividido pelo número de elementos. O GDE parametrizado e o Alert-D foram o que tiveram maiores diferenças nos cálculos;

Tabela 74 – Comparação dos graus de danos dos elementos

$G_{df} = G_{dem\acute{a}x} \left(\sqrt{1 + \frac{\sum G_{de(i)} - G_{dem\acute{a}x}}{\sum G_{de(i)}}} \right)$	$CR_{Fam\acute{i}lia} = \frac{CR_{Elemento}}{\sum N^{\circ}Elementos}$
GDE parametriza	CEB Boletim nº 243
$CCr_f = \frac{\sum_e Cr_e}{\gamma_k * S_{tot}}$	
Alert-D	
$Fam\acute{i}lia = \frac{\sum(FG_i \cdot FE_i \cdot Pd_i)}{\sum N^{\circ}Elementos}$	$Fam\acute{i}lia = \frac{\sum Imp \cdot Int \cdot Ext}{\sum N^{\circ}Elementos}$
MAEC	Norma Holandesa

Fonte: Próprio autor.

- Para o grau de dano das estruturas, há variação na divisão com as ponderações, principalmente, no método Alert-D que se utiliza do número de elementos por metro quadrado.

Tabela 75 – Comparação dos graus de danos dos elementos

$G_d = \frac{\sum F_{r(i)} G_{df(i)}}{\sum F_{r(i)}}$	$CR_{Estrutura} = \frac{CR_{Fam\acute{i}lia}}{\sum Pondera\acute{c}\tilde{a}o}$
GDE parametriza	CEB Boletim nº 243
$BCr = \frac{\sum_{e=1}^{NE} Cr_e}{\gamma_b * S_{tot}}$	
Alert-D	
$IA = \frac{\sum(FG'_i \cdot Pd_i) + \sum(FG_i \cdot FE_i \cdot Pd_i)}{\sum Pd_i}$	$Estrutura = \frac{Fam\acute{i}lia}{\sum Pondera\acute{c}\tilde{a}o}$
MAEC	Norma Holandesa

Fonte: Próprio autor.

8.1 Objetivos Alcançados

Os objetivos atingidos com esta pesquisa foram:

- A metodologia GDE parametrizada, nas análises das estruturas estudadas com inspeção visual, não necessitou de modificações em seu cálculo, apenas ocorreu uma modificação na lista de danos para acrescentar situações específicas encontradas nas estruturas. Também foi possível utilizar a metodologia de formas diferentes, como ocorreu nos pilares do viaduto;
- A metodologia CEB boletim 243 foi possível de ser utilizada em avaliação das estruturas por meio da inspeção visual, sem alteração do cálculo e com modificações apenas na lista de danos, acrescentado um item na lista de danos nos pilares do viaduto;
- A metodologia Alert-D foi o método que necessitou de mais alterações, tanto no cálculo quanto na lista de manifestações patológicas, ambas as situações ocorreram nos pilares dos viadutos;
- A metodologia MAEC não precisou de nenhuma alteração em sua formulação, e não possui uma lista específica para danos, não sendo preciso realizar nenhuma modificação em relação aos demais;
- As três estruturas foram inspecionadas e avaliadas de acordo com a orientação de cada metodologia, sendo obtidos os danos encontrados em cada elemento e alcançando os fatores necessários para gerar o resultado final com o grau de deterioração de cada estrutura;
- O que foi possível ser levantado com a aplicação desses métodos é que há uma dificuldade de acrescentar dados de ensaios não destrutivos e destrutivos, pois todos eles foram desenvolvidos para inspeção visual, não sendo colocados fatores que utilizem as informações obtidas nos ensaios;
- Outro ponto levantado foi o acréscimo das possíveis intervenções aos métodos que ocorreram nas estruturas ao longo da sua vida útil, sendo que não é possível definir o quanto a alteração realizada pode ter refletido positivamente ou negativamente no resultado final da degradação da estrutura. A única fórmula que se preocupou em levar em consideração esse tópico foi a formulação de Verly (2015) no GDE/UnB;

- Em todas as metodologias, o resultado final das estruturas foi o mesmo, com variação nos resultados dos elementos e das famílias;
- Mesmo sendo estruturas com uso diferentes, as manifestações patológicas em comum mais encontradas foram: cobertura deficiente, fissuras e corrosão das armaduras.

Com os objetivos desta pesquisa alcançados, conclui-se que foram necessárias modificações para aplicação de cada um dos métodos nas estruturas analisadas, conforme apresentado na seção 5. Com isso, foi possível levantar pontos de como cada um pode ser aplicado em tipos diferentes de estruturas e auxiliar os vistoriadores a selecionar a metodologia que melhor se encaixa nas estruturas a serem analisadas.

8.2 Trabalhos Futuros

Nesta seção, estão apresentadas as sugestões para trabalhos futuros com o objetivo de dar continuidade a essa temática trabalhada nesta dissertação e gerar contribuições para a academia, conforme segue:

- Aplicar as metodologias utilizadas neste trabalho em estruturas que passam por situações de alto estresse, como, por exemplo, as estruturas localizadas em regiões costeiras;
- Gerar novas formas de calibração das metodologias;
- Desenvolvimento de uma nova metodologia baseada na expansão e melhoria das metodologias estudadas nesta dissertação.

BIBLIOGRAFIA

- ACI 228.2R - AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 228.2R: Report on Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures** Farmington Hills, 2013.
- AGNISARMAN, Sruthy; LOPES, Snowil; CHALIL MADATHIL, Kapil; PIRATLA, Kalyan; GRAMOPADHYE, Anand. A survey of automation-enabled human-in-the-loop systems for infrastructure visual inspection. **Automation in Construction**, [S. l.], v. 97, n. October 2018, p. 52–76, 2019. DOI: 10.1016/j.autcon.2018.10.019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.10.019>.
- AKTAN, A. E.; HELMICKI, A. J.; HUNT, V. J.; CATBAS, N.; LENETT, M.; LEVI, A. Structural identification for condition assessment of civil infrastructure. **Journal Of Structural Engineering**, [S. l.], v. 123, n. 12, p. 873–877, 1997. DOI: 10.1109/acc.1997.609651.
- ALBERTO, Klaus Chaves. A pré-fabricação e outros temas projetuais para campi universitários na década de 1960: o caso da UnB 1. [S. l.], p. 80–91, 2009.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Guide for Conducting a Visual Inspection of Concrete in Service_ACI 201.1R** American Concrete Institute, 2008. Disponível em: http://dl.mycivil.ir/dozanani/ACI/ACI 201.1R-08 Guide for Conducting a Visual Inspection of Concrete in Service_MyCivil.ir.pdf.
- ASOCIACION GUATEMALTECA DE INGENIERIA ESTRUCTURAL Y SISMICA. **Requisitos Para Obra Existente: Disminución De Riesgos, Evaluación Y Rehabilitación**, 2001. Disponível em: <https://conred.gob.gt/site/normas/Doc-9-NSE-6.pdf>.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Norma NB1/1940 de Concreto Armado** Rio de Janeiro, Brasil, 1940.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7584: Concreto endurecido — Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão — Método de ensaio** Rio de Janeiro, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Abnt Nbr 7680 - Concreto — Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto Parte 1: Resistência à compressão axial** Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos** Rio de Janeiro, 2018.

- AZAMBUJA, E. B. C. **A Torre de Lucio Costa em Brasília**. 2012. Universidade de Brasília (UnB), Brasília, 2012.
- BANAN, M. R.; HJELMSTAD, K. D. Parameter Estimation Of Structures From Static Response. II Numerical: Simulation Studies. **Journal of Structural Engineering**, [S. l.], v. 120, n. 11, p. 3259–3283, 1994. a. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1994\)120:11\(3259\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1994)120:11(3259)).
- BANAN, M. R.; HJELMSTAD, K. D. Parameter Estimation Of Structures From Static Response. I. Computational Aspects. **Journal of Structural Engineering**, [S. l.], v. 120, n. 11, p. 3243–3258, 1994. b. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1994\)120:11\(3243\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1994)120:11(3243)).
- BECK, James L.; YUEN, Ka-Veng. Model Selection Using Response Measurements: Bayesian Probabilistic Approach. **Journal of Engineering Mechanics**, [S. l.], v. 130, n. 2, p. 192–203, 2004. DOI: [10.1061/\(asce\)0733-9399\(2004\)130:2\(192\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9399(2004)130:2(192)).
- BOLDO, PLINIO. **Avaliação Quantitativa de Estruturas de Concreto Armado de Edificações no Âmbito do Exército Brasileiro**. 2002. Universidade de Brasília, Brasília, 2002.
- BORGES, Carolina da Rocha Lima. Urbanidade e Universalidade no Instituto Central de Ciências. **Revista CAU/UCB**, [S. l.], v. 2, p. 67–81, 2015.
- BROWNJOHN, James M. W.; XIA, Pin-qi. Dynamic Assessment of Curved Cable-Stayed Bridge by Model Updating. **Journal of Structural Engineering**, [S. l.], v. 126, n. 2, p. 252–260, 2000.
- BROWNJOHN, James Mark William; MOYO, Pilate; OMENZETTER, Piotr; LU, Yong. Assessment of Highway Bridge Upgrading by Dynamic Testing and Finite-Element Model Updating. **Journal of Bridge Engineering**, [S. l.], v. 8, n. 3, p. 162–172, 2003. DOI: [10.1061/\(asce\)1084-0702\(2003\)8:3\(162\)](https://doi.org/10.1061/(asce)1084-0702(2003)8:3(162)).
- BUNGEY, John H.; MILLARD, Stephen G.; GRANTHAM, Michael. **Testing of Concrete in Structures**. 4ª edição ed. Abingdon: Taylor & Francis, 2006. v. 4
- CASTRO, Eliane Kraus De. **Desenvolvimento de Metodologia para Manutenção de Estruturas de Concreto Armado**. 1994. Universidade de Brasília, Brasília, 1994.
- CASTRO, Elisângela De. **Estudo da Resistência à Compressão do Concreto por meio de Testemunhos de Pequeno Diâmetro e Esclerometria**. 2009. Universidade Federal de Uberlândia, [S. l.], 2009.
- CATBAS, F. Necati; BROWN, David L.; AKTAN, A. Emin. Use of Modal Flexibility for Damage Detection and Condition Assessment: Case Studies and Demonstrations on

Large Structures. **Journal of Structural Engineering**, [S. l.], v. 132, n. 11, p. 1699–1712, 2006. DOI: 10.1061/(asce)0733-9445(2006)132:11(1699).

CEB. **Strategies for Testing and Assessment of Concrete Structures** LausanaComite Euro-International du Beton, Boletim 243, , 1998.

CEN. **EC0 — EN 1990 EUROCODE, Basis of Structural Design**, 2001.

CEPLAN. **Planejamento Físico do Campus da Universidade de Brasília** Brasília, 1972.

CEPLAN. **Universidade de Brasilia - Plano de Desenvolvimento Físico** Brasília, 1975.

CORONELLI, Dario. Condition rating for the evaluation of the safety of corroding RC structures. *In:* (M. Forde, Org.) 11TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON STRUCTURE, FAULTS AND REPAIR 2006, Edimburgo. **Anais [...]**. Edimburgo

CORONELLI, Dario. Condition rating of RC structures: A case study. **Journal of Building Appraisal**, [S. l.], v. 3, n. 1, p. 29–51, 2007. DOI: 10.1057/palgrave.jba.2950057.

DIAS, Ilídio S.; FLORES-COLEN, Inês; SILVA, Ana. Critical analysis about emerging technologies for Building's façade inspection. **Buildings**, [S. l.], v. 11, n. 2, p. 1–19, 2021. DOI: 10.3390/buildings11020053.

ENGINEERS, American Society of Civil. **Guideline for structural condition assessment of existing buildings** ASCE Standard Reston, 1999. DOI: 10.1061/9780784404324.

EVANGELISTA, Ana Catarina Jorge. **Avaliação da resistência do concreto usando diferentes ensaios não destrutivos**. 2002. Universidade Federal do Rio de Janeiro, [S. l.], 2002.

FADDA, M. L.; MISTRETTA, F.; PIRAS, M. V. Vulnerability Assessment of Concrete Bridges using Different Methods of Visual Inspection. *In:* (P. Iványi, B. H. V. Topping, Org.) PROCEEDINGS OF THE NINTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING COMPUTATIONAL TECHNOLOGY 2014, Stirlingshire. **Anais [...]**. Stirlingshire: Civil-Comp Press, 2014. p. 1–13. DOI: 10.4203/ccp.105.42.

FARIAS, Gabriela Cipriano De; SILVA, Daiane dos Santos Da. Análise Da Evolução Das Propriedades Mecânicas Do Concreto Ao Longo Do Tempo. **Revista Técnico-Científica de Engenharia Civil UNESC**, [S. l.], p. 1–20, 2017.

FIB. **Structural Concrete Textbook on behaviour, design and performance, Second edition Volume 5: Through-life care and management of concrete structures -**

Assessment, protection, repair and strengthening. 2nd editio ed. [s.l: s.n.]. DOI: doi.org/10.35789/fib.BULL.0062.

FIORE, Andrea; PORCO, Francesco; GIUSEPPINA UVA, Mauro Mezzina. On the dispersion of data collected by in situ diagnostic of the existing concrete. **Construction and Building Materials**, [S. l.], v. 47, p. 208–217, 2013. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2013.05.001. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.05.001>.

FONSECA, Régis Pamponet Da. **A estrutura do Instituto Central de Ciências: aspectos históricos, científicos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e proposta de manutenção.**Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil - Universidade de Brasília (UnB). Brasília, 2007. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/handle/10482/3062>.

FU, Gongkang. **Inspection and monitoring techniques for bridges and civil structures.** [s.l: s.n.]. DOI: 10.1533/9781845690953.

FUSCO, P. B. **Estruturas de Concreto - Fundamentos do projeto estrutural.** [s.l.] : Ed. McGraw-Hill, 1976.

GUEDES, Paulo; GOMES, Cláudia; ALMEIDA, Joana. **Avaliação do Estado de Conservação de Fachadas e Ensaio de Arrancamento de Elementos em Aço de Pré-Esforço Colados com Resina Epoxy a Provetes de Pedra Natural**Porto, 2012.

HOLICKÝ, Milan; SÝKORA, Miroslav. General framework. *In*: HOLICKÝ, Milan (org.). **BASICS FOR ASSESSMENT OF EXISTING STRUCTURES.** 1ª ed. Prague: Klokner Institute, 2019. p. 13–21. DOI: 10.1201/9780429426506-363.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 13882 - Bases for Design os Structures - Assessment of Existing Structures**, 2010.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 16311 - Maintenance and repair of concrete structures — Part 2: Assessment of existing concrete structures**, 2014.

KAHLER, Danny; KANAPICKI, Chuck. Civil Engineering Responsibilities in Special Inspection. **Conference: ASCE Texas Section Fall 2012At: Fort Worth, Texas**, [S. l.], n. February, p. 0–13, 2012. DOI: 10.13140/2.1.2580.0480. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/271965847_Civil_Engineering_Responsibilities_in_Special_Inspection?channel=doi&linkId=54d7d81d0cf2464758183d80&showFulltext=true.

KANO, H.; MORIKAWA, H. Condition rating methodology on RC bridges with

chloride induced deterioration. *In*: FRANGOPOL, DAN M.; KAWATANI, MITSUO; KIM, Chul-Woo (org.). **Reliability and Optimization of Structural Systems: Assessment, Design and Life-Cycle Performance**. Londres: Taylor & Francis Group, 2007. p. 113–121.

KLEIN, D., GASTAL, F., CAMPANOLO, J.L., SILVA FILHO, L. C. Critérios adotados na vistoria de obras de arte. Porto Alegre, p. 185–196, 1991.

LANER, Felice José. **Manifestações Patológicas nos Viadutos, Pontes e Passarelas do Município de Porto Alegre**. 2001. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, [S. l.], 2001.

LOPES, Benedito Arruda Ribeiro. **Sistema de Manutenção Predial para Grandes Estoques de Edifícios : Estudo para inclusão do componente “Estrutura de Concreto”**. 1998. Universidade de Brasília (UnB), Brasília, 1998.

MÁCA, Petr; SOVJÁK, Radoslav; KONVALINKA, Petr. Impact Testing of Concrete: The Measurement Device. **International Journal of Civil and Structural Engineering– IJCSE**, [S. l.], v. 1, n. 4, p. 20–24, 2014. DOI: 10.15224/978-1-63248-025-5-66. Disponível em: <http://seekdl.org/nm.php?id=4006>.

MAHLER, Christine Ramos. **Entre Paradigmas : Instituto Central De Ciências Da UnbX Seminário Docomomo Brasil - Arquitetura Moderna e Internacional: conexões brutalistas 1955-75** Curitiba, 2013.

MALHOTRA, V. Mohan; CARINO, Nicholas J. **Nondestructive Testing of Concrete**. 2ª Edição ed. Londres: CRC Press, 2004.

MARTINATTI, Yago Wilton Pacheco. **Desenvolvimento de Modelo Multicritério de Tomadas de Decisões para Aplicação na Conservação de Edificações das Superquadras do Plano Piloto em Brasília**. 2021. Universidade de Brasília, [S. l.], 2021.

MARX, Rosangela. **Laudo de Vistoria Técnica - Vaiduto do Eixo Rodoviário - DF 002, sobre a Galeria dos Estados - Brasília/DF** BrasíliaNOVACAP, , 2018.

MINISTÉRIO DAS OBRAS PÚBLICAS, Transportes e Comunicações. **Método de Avaliação do Estado de Conservação de Imóveis** LisboaMinistério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, , 2007. Disponível em: http://www.portaldahabitacao.pt/opencms/export/sites/nrau/pt/nrau/docs/MAEC_2007-10.pdf.

NBR 6118. **Projeto de estruturas de concreto — Procedimento** Rio de Janeiro, 2014.

NEN - THE ROYAL NETHERLANDS STANDARDIZATION INSTITUTE. NEN 2767 - Condiemeting van bouw- en installatiedelen – Deel 1: Methodiek(Condition Assessment of Building and Installation Components – Part 1: Methodology)Países Baixos, 2006.

NEN - THE ROYAL NETHERLANDS STANDARDIZATION INSTITUTE. NEN 2767 - Condiemeting van bouw- en installatiedelen – Deel 2: Gebrekenlijsten(Condition Assessment of Building and Installation Components – Part 2: List of Faults)Países Baixos, 2008.

NEN - THE ROYAL NETHERLANDS STANDARDIZATION INSTITUTE. NEN 2767 - Condiemeting van bouw- en installatiedelen – Deel 3: Conditieaggregatie(Condition Assessment of Building and Installation Components – Part 3: Aggregation of Condition Scores)Países Baixos, 2009.

NEPOMUCENO, Miguel Costa Santos. **Ensaaios não Destrutivos em Betão**. 1999. Universidade da Beira Interior, [S. l.], 1999.

NOVACAP; DER/DF. **Relatório Técnico - Viaduto do Eixo Rodoviário Sul (DF 002) sobre a Galeria dos Estados**, 2018.

OLIVEIRA, Ana Maria de Sousa Santana De; TERRIBELE, Alessandra Bordin; SWIDERSKI, Bruna; OLIVEIRA, Ricardo Rocha. Classificação do estado de conservação de fachadas de edificações públicas. **E&S Engineering and Science**, [S. l.], v. 7, n. 3, p. 42–57, 2018. DOI: 10.18607/es201876890.

PACHECO, Jéssika; CARVALHO, Mariana; HELENE, Paulo. Recommendations concerning the inspection and maintenance of bridges and viaducts. **Maintenance, Monitoring, Safety, Risk and Resilience of Bridges and Bridge Networks - Proceedings of the 8th International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management, IABMAS 2016**, [S. l.], n. 2009, p. 343–348, 2016. DOI: 10.1201/9781315207681-41.

PANTOJA, J. C.; VARUM, H.; HENRIQUES, A. A.; EXISTENTES, Estruturas. Metodologia probabilística para avaliação de edificações com estrutura existente em betão armado. **Encontro Nacional BETÃO ESTRUTURAL - BE2018**, [S. l.], p. 1–10, 2018.

PEDRO, João Branco; PAIVA, José Vasconcelos. Proposta de “Método de Avaliação do Estado de Conservação de Edifícios”. **Revista de Engenharia Civil**, [S. l.], v. 35, p. 12, 2009.

PENG, K. C.; FENG, L.; HSIEH, Y. C.; YANG, T. H.; HSIUNG, S. H.; TSAI, Y. D.;

KUO, C. Unmanned Aerial Vehicle for infrastructure inspection with image processing for quantification of measurement and formation of facade map. **Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Applied System Innovation: Applied System Innovation for Modern Technology, ICASI 2017**, [S. l.], p. 1969–1972, 2017. DOI: 10.1109/ICASI.2017.7988578.

PEREIRA, Clara; SILVA, Ana; FERREIRA, Cláudia; DE BRITO, Jorge; FLORES-COLEN, Inês; SILVESTRE, José D. Uncertainty in building inspection and diagnosis: A probabilistic model quantification. **Infrastructures**, [S. l.], v. 6, n. 9, p. 124, 2021. DOI: 10.3390/infrastructures6090124.

PEREIRA, E.; MEDEIROS, M. H. F. De. Ensaio de “Pull Off” para avaliar a resistência à compressão do concreto: uma alternativa aos ensaios normalizados no Brasil. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, [S. l.], v. 5, n. 6, p. 769–780, 2012.

RASHIDI, Maria; GIBSON, Peter. Proposal of a methodology for bridge condition assessment. **ATRF 2011 - 34th Australasian Transport Research Forum**, [S. l.], p. 1–13, 2011.

RILEM. **CPC-18 Measurement of hardened concrete carbonation depth** **Materials and Structures** Recommendations De La Rilm, , 1988. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02472327>.

RODRIGUEZ, Milena Baratta Aldigueri. **Unb e o seu espaço social**. 2007. Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

SAHUINCO, Melquiades Hermógenes Choquepuma. **UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS E SEMI- UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS E SEMI-**. 2011. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, [S. l.], 2011.

SANAYEI, Masoud; BELL, Erin Santini; JAVDEKAR, Chitra N.; EDELMANN, Jennifer L.; SLAVSKY, Eugene. Damage Localization and Finite-Element Model Updating Using Multiresponse NDT Data. **Journal of Bridge Engineering**, [S. l.], v. 11, n. 6, p. 688–698, 2006. DOI: 10.1061/(asce)1084-0702(2006)11:6(688).

SANGIORGIO, Valentino; PANTOJA, João Costa; VARUM, Humberto; UVA, Giuseppina; FATIGUSO, Fabio. Structural Degradation Assessment of RC Buildings: Calibration and Comparison of Semeiotic-Based Methodology for Decision Support System. **Journal of Performance of Constructed Facilities**, [S. l.], v. 33, n. 2, p. 04018109, 2019. DOI: 10.1061/(asce)cf.1943-5509.0001249.

SANGIORGIO, Valentino; UVA, Giuseppina; FATIGUSO, Fabio. User Reporting–Based Semeiotic Assessment of Existing Building Stock at the Regional Scale. **Journal of Performance of Constructed Facilities**, [S. l.], v. 32, n. 6, 2018. DOI: 10.1061/(asce)cf.1943-5509.0001227.

SANTOS, Ícaro Mariani Ribeiro Dos. **Resistência à Compressão de Testemunhos Extraídos de Concreto: Efeito do Diâmetro, da Direção de Extração e das Classes de Resistência**. 2016. Universidade Federal do Paraná, [S. l.], 2016.

SANTOS, José Manuel Martins Neto Dos. **Avaliação da Integridade Estrutural de Pontes de Betão – o caso da Ponte Nossa Senhora da Guia –**. 2008. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, [S. l.], 2008.

SILVA FILHO, Luiz Carlos Pinto Da; HELENE, Paulo. Análise de Estruturas de Concreto com Problemas de Resistência e Fissuração. **Concreto: Ciência e Tecnologia**, [S. l.], 2011.

SOHN, Hoon; CZARNECKI, Jerry A.; FARRAR, Charles R. Structural Health Monitoring Using Statistical Process Control. **Journal Of Structural Engineering**, [S. l.], v. 126, n. 11, p. 1356–1363, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(2000\)126:11\(1356\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2000)126:11(1356)).

STRAUB, Ad. Using a condition-dependent approach to maintenance to control costs and performances. **Journal of Facilities Management**, [S. l.], v. 1, n. 4, p. 380–395, 2002. DOI: 10.1108/14725960310808079.

STRAUB, Ad. Dutch standard for condition assessment of buildings. **Structural Survey**, [S. l.], v. 27, n. 1, p. 23–35, 2009. DOI: 10.1108/02630800910941665.

STRAUSS, Alfred; FRANGOPOL, Dan M.; BERGMEISTER, Konrad. Assessment of Existing Structures Based on Identification. **Journal of Structural Engineering**, [S. l.], v. 136, n. January, p. 337–375, 2010. DOI: 10.1201/ebk1439815991-9.

TUUTTI, K. **Corrosion Steel in Concrete**. 1982. Swedish Cement and Concrete Research Institute, Stockholm, 1982.

VERLY, R. C. **Avaliação de Metodologias de Inspeção como Instrumento de Priorização de Intervenções em Obras de Arte Especiais**. 2015. Universidade de Brasília (UnB), Brasília, 2015.

VILHENA, António José Dâmaso Santos Matos. **Método de Avaliação do Estado de Conservação de Edifícios: Análise e Contributos para o seu Aperfeiçoamento e Alargamento do Âmbito**. 2011. Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2011.

WALTER+BAI TESTING MACHINES. **Pendulum Impact Testers**Materials Testing Systems, , 2018. Disponível em: http://www.instmed.com.br/dbimg/pdf/15_55.pdf.

WITCHER, T. R. From Disaster to Prevention: The Silver Bridge. **Civil Engineering Magazine Archive**, [S. l.], v. 87, n. 11, p. 44–47, 2017. DOI: 10.1061/ciegag.0001250.

ZNIDARIC , J . AND ZNIDARIC, A. .. **Evaluation of the carrying capacity of existing bridges**. Ljubljana: Institute for Testing and Research in Materials and Structures, 1994.

ANEXO A

A.1 – GDE Parametrizado

Tabela 76 – Gd_e das divisões do Pilar 1 e Pilar 2.

Pilar 1				Pilar 2			
Lado	Divisões	Gd_e		Lado	Divisões	Gd_e	
Lado A	A1	0	Baixo	Lado B	A1	0,42	Médio
	A2	0,22	Médio		A2	0,42	Médio
	A3	0,22	Médio		A3	0,42	Médio
	A4	0,38	Médio		A4	0,6	Alto
	A5	0,6	Alto		A5	0,6	Alto
	A6	0,6	Alto		A6	0,6	Alto
	A7	0,6	Alto		A7	0,6	Alto
	A8	0,6	Alto		A8	0,6	Alto
	A9	0,6	Alto		A9	0,6	Alto
	A10	0	Baixo		A10	0,5	Alto
	A11	0,5	Alto		A11	0,50	Alto
	A12	0	Baixo		A12	0	Baixo
	A13	0	Baixo		A13	0,42	Médio
	A14	0,22	Médio		A14	0,42	Médio
	A15	0,22	Médio		A15	0,42	Médio
	A16	0,38	Médio		A16	0,6	Alto
	A17	0,6	Alto		A17	0,6	Alto
	A18	0,6	Alto		A18	0,6	Alto
	A19	0,6	Alto		A19	0,6	Alto
	A20	0,6	Alto		A20	0,6	Alto
	A21	0,6	Alto		A21	0,6	Alto
	A22	0	Baixo		A22	0,5	Alto
	A23	0,5	Alto		A23	0,5	Alto
	A24	0	Baixo		A24	0	Baixo
	A25	0,22	Médio		A25	0	Baixo
	A26	0	Baixo		A26	0	Baixo
	A27	0	Baixo		A27	0	Baixo
	A28	0	Baixo		A28	0	Baixo
	A29	0	Baixo		A29	0	Baixo
	A30	0	Baixo		A30	0	Baixo
	A31	0,7	Alto		A31	0,7	Alto
	A32	0,7	Alto		A32	0,7	Alto
	A33	0,7	Alto		A33	0,7	Alto
	A34	0,7	Alto		A34	0,7	Alto
	A35	0,7	Alto		A35	0,7	Alto
	A36	0,7	Alto		A36	0,7	Alto
	A37	0,7	Alto		A37	0,7	Alto
	A38	0,7	Alto		A38	0,7	Alto
	A39	0,7	Alto		A39	0,7	Alto
	A40	0,7	Alto		A40	0,7	Alto

Fonte: Próprio autor

Tabela 77 – Gd_e das divisões do Pilar 7.

Pilar 7						
Lado	Divisões	Gd_e		Lado	Divisões	Gd_e
Lado A	A1	0	Baixo	Lado B	A1	1,0 Crítico
	A2	0	Baixo		A2	1,0 Crítico
	A3	0,69	Alto		A3	1,0 Crítico
	A4	0,60	Alto		A4	0,6 Alto
	A5	0,60	Alto		A5	0,6 Alto
	A6	0,6	Alto		A6	0,6 Alto
	A7	0,6	Alto		A7	0,6 Alto
	A8	0,6	Alto		A8	0,6 Alto
	A9	0,6	Alto		A9	0,6 Alto
	A10	1,0	Crítico		A10	0,5 Alto
	A11	1,0	Crítico		A11	0,5 Alto
	A12	1,0	Crítico		A12	0 Baixo
	A13	0	Baixo		A13	1,0 Crítico
	A14	0	Baixo		A14	1,0 Crítico
	A15	0,69	Alto		A15	1,0 Crítico
	A16	0,6	Alto		A16	0,6 Alto
	A17	0,6	Alto		A17	0,6 Alto
	A18	0,6	Alto		A18	0,6 Alto
	A19	0,6	Alto		A19	0,6 Alto
	A20	0,6	Alto		A20	0,6 Alto
	A21	0,6	Alto		A21	0,6 Alto
	A22	1,0	Crítico		A22	0,5 Alto
	A23	1,0	Crítico		A23	0,5 Alto
	A24	1,0	Crítico		A24	0 Baixo
	A25	0	Baixo		A25	0 Baixo
	A26	0	Baixo		A26	0 Baixo
	A27	0	Baixo		A27	0 Baixo
	A28	0	Baixo		A28	0 Baixo
	A29	0	Baixo		A29	0 Baixo
	A30	0	Baixo		A30	0 Baixo
	A31	0,7	Alto		A31	0,59 Alto
	A32	0,7	Alto		A32	0,59 Alto
	A33	0,7	Alto		A33	0,59 Alto
	A34	0,59	Alto		A34	0,59 Alto
	A35	0,59	Alto		A35	0,59 Alto
	A36	0,59	Alto		A36	0,59 Alto
	A37	0,7	Alto		A37	0,59 Alto
	A38	0,7	Alto		A38	0,59 Alto
	A39	0,59	Alto		A39	0,59 Alto
	A40	0,59	Alto		A40	0,59 Alto

Fonte: Próprio autor

A.2 – CEB boletim nº 243

Tabela 78 – $CR_{elemento}$ do Pilar 1 e Pilar 2 do viaduto.

Pilar 1				Pilar 2							
Lado	Divisões	CR elemento	Lado	Divisões	CR elemento	Lado	Divisões	CR elemento			
Lado A	A1	0	Sem Efeito	Lado A	A1	1,0	Crítica	Lado A	A1	0	Sem Efeito
	A2	0,6	Crítica		A2	1,0	Crítica		A2	0,8	Crítica
	A3	0,6	Crítica		A3	1,0	Crítica		A3	0,9	Crítica
	A4	0,8	Crítica		A4	1,0	Crítica		A4	0,9	Crítica
	A5	1,0	Crítica		A5	1,0	Crítica		A5	0,89	Crítica
	A6	1,0	Crítica		A6	1,0	Crítica		A6	0,89	Crítica
	A7	1,0	Crítica		A7	1,0	Crítica		A7	1,0	Crítica
	A8	1,0	Crítica		A8	1,0	Crítica		A8	1,0	Crítica
	A9	1,0	Crítica		A9	1,0	Crítica		A9	0,9	Crítica
	A10	0	Sem Efeito		A10	0,8	Crítica		A10	0,9	Crítica
	A11	0,8	Sem Efeito		A11	0,8	Crítica		A11	0,9	Crítica
	A12	0	Sem Efeito		A12	0	Sem Efeito		A12	0,9	Crítica
	A13	0	Sem Efeito		A13	1,0	Crítica		A13	0	Sem Efeito
	A14	0,6	Crítica		A14	1,0	Crítica		A14	0,8	Crítica
	A15	0,6	Crítica		A15	1,0	Crítica		A15	0,9	Crítica
	A16	0,8	Crítica		A16	1,0	Crítica		A16	0,9	Crítica
	A17	1,0	Crítica		A17	1,0	Crítica		A17	0,89	Crítica
	A18	1,0	Crítica		A18	1,0	Crítica		A18	0,89	Crítica
	A19	1,0	Crítica		A19	1,0	Crítica		A19	1,0	Crítica
	A20	1,0	Crítica		A20	1,0	Crítica		A20	1,0	Crítica
	A21	1,0	Crítica		A21	1,0	Crítica		A21	0,9	Crítica
	A22	0	Sem Efeito		A22	0,8	Crítica		A22	0,9	Crítica
	A23	0,8	Crítica		A23	0,8	Crítica		A23	0,9	Crítica
	A24	0	Sem Efeito		A24	0	Sem Efeito		A24	0,9	Crítica
	A25	1,0	Crítica		A25	0	Sem Efeito		A25	0	Sem Efeito
	A26	0	Sem Efeito		A26	0	Sem Efeito		A26	0	Sem Efeito
	A27	0	Sem Efeito		A27	0	Sem Efeito		A27	0	Sem Efeito
	A28	0	Sem Efeito		A28	0	Sem Efeito		A28	0	Sem Efeito
	A29	0	Sem Efeito		A29	0	Sem Efeito		A29	0	Sem Efeito
	A30	0	Sem Efeito		A30	0	Sem Efeito		A30	0,8	Crítica
	A31	1,0	Crítica		A31	1,0	Crítica		A31	1,0	Crítica
	A32	1,0	Crítica		A32	1,0	Crítica		A32	1,0	Crítica
	A33	1,0	Crítica		A33	1,0	Crítica		A33	1,0	Crítica
	A34	1,0	Crítica		A34	1,0	Crítica		A34	1,0	Crítica
	A35	1,0	Crítica		A35	1,0	Crítica		A35	1,0	Crítica
	A36	1,0	Crítica		A36	1,0	Crítica		A36	1,0	Crítica
	A37	1,0	Crítica		A37	1,0	Crítica		A37	1,0	Crítica
	A38	1,0	Crítica		A38	1,0	Crítica		A38	1,0	Crítica
	A39	1,0	Crítica		A39	1,0	Crítica		A39	1,0	Crítica
	A40	1,0	Crítica		A40	1,0	Crítica		A40	1,0	Crítica

Fonte: Próprio autor

Tabela 79 – CR_{elemento} do Pilar 7 do viaduto.

Pilar 7													
Lado	Divisões	CR _{elemento}		Divisões	CR _{elemento}		Lado	Divisões	CR _{elemento}		Divisões	CR _{elemento}	
Lado A	A1	0	Sem Efeito	A21	1,0	Crítica	Lado B	A1	1,0	Crítica	A21	1,0	Crítica
	A2	0	Sem Efeito	A22	1,0	Crítica		A2	1,0	Crítica	A22	0,8	Crítica
	A3	1,0	Crítica	A23	1,0	Crítica		A3	1,0	Crítica	A23	0,8	Crítica
	A4	1,0	Crítica	A24	1,0	Crítica		A4	1,0	Crítica	A24	0	Sem Efeito
	A5	1,0	Crítica	A25	0	Sem Efeito		A5	1,0	Crítica	A25	0	Sem Efeito
	A6	1,0	Crítica	A26	0	Sem Efeito		A6	1,0	Crítica	A26	0	Sem Efeito
	A7	1,0	Crítica	A27	0	Sem Efeito		A7	1,0	Crítica	A27	0	Sem Efeito
	A8	1,0	Crítica	A28	0	Sem Efeito		A8	1,0	Crítica	A28	0	Sem Efeito
	A9	1,0	Crítica	A29	0	Sem Efeito		A9	1,0	Crítica	A29	0	Sem Efeito
	A10	1,0	Crítica	A30	0	Sem Efeito		A10	0,8	Crítica	A30	0	Sem Efeito
	A11	1,0	Crítica	A31	1,0	Crítica		A11	0,8	Crítica	A31	1,0	Crítica
	A12	1,0	Crítica	A32	1,0	Crítica		A12	0	Sem Efeito	A32	1,0	Crítica
	A13	0	Sem Efeito	A33	1,0	Crítica		A13	1,0	Crítica	A33	1,0	Crítica
	A14	0	Sem Efeito	A34	1,0	Crítica		A14	1,0	Crítica	A34	1,0	Crítica
	A15	1,0	Crítica	A35	1,0	Crítica		A15	1,0	Crítica	A35	1,0	Crítica
	A16	1,0	Crítica	A36	1,0	Crítica		A16	1,0	Crítica	A36	1,0	Crítica
	A17	1,0	Crítica	A37	1,0	Crítica		A17	1,0	Crítica	A37	1,0	Crítica
	A18	1,0	Crítica	A38	1,0	Crítica		A18	1,0	Crítica	A38	1,0	Crítica
	A19	1,0	Crítica	A39	1,0	Crítica		A19	1,0	Crítica	A39	1,0	Crítica
	A20	1,0	Crítica	A40	1,0	Crítica		A20	1,0	Crítica	A40	1,0	Crítica

Fonte: Próprio autor

A.3 – Alert-D

Tabela 80 – CR_e do Pilar 1 do viaduto.

Pilar 1							
Lado	Divisões	CR_e		Lado	Divisões	CR_e	
Lado A	A1	0,00	Somente o conforto é afetado	Lado B	A1	1,19	Sério perigo para usuários
	A2	0,54	Perigos localizados para usuários		A2	1,19	Sério perigo para usuários
	A3	0,54	Perigos localizados para usuários		A3	1,19	Sério perigo para usuários
	A4	0,77	Sério perigo para usuários		A4	0,63	Sério perigo para usuários
	A5	0,63	Sério perigo para usuários		A5	0,63	Sério perigo para usuários
	A6	0,63	Sério perigo para usuários		A6	0,63	Sério perigo para usuários
	A7	0,63	Sério perigo para usuários		A7	0,63	Sério perigo para usuários
	A8	0,63	Sério perigo para usuários		A8	0,63	Sério perigo para usuários
	A9	0,63	Sério perigo para usuários		A9	0,63	Sério perigo para usuários
	A10	0,00	Somente o conforto é afetado		A10	0,63	Sério perigo para usuários
	A11	0,63	Sério perigo para usuários		A11	0,63	Sério perigo para usuários
	A12	0,00	Somente o conforto é afetado		A12	0,00	Somente o conforto é afetado
	A13	0,00	Somente o conforto é afetado		A13	1,19	Sério perigo para usuários
	A14	0,54	Perigos localizados para usuários		A14	1,19	Sério perigo para usuários
	A15	0,54	Perigos localizados para usuários		A15	1,19	Sério perigo para usuários
	A16	0,77	Sério perigo para usuários		A16	0,63	Sério perigo para usuários
	A17	0,63	Sério perigo para usuários		A17	0,63	Sério perigo para usuários
	A18	0,63	Sério perigo para usuários		A18	0,63	Sério perigo para usuários
	A19	0,63	Sério perigo para usuários		A19	0,63	Sério perigo para usuários
	A20	0,63	Sério perigo para usuários		A20	0,63	Sério perigo para usuários
	A21	0,63	Sério perigo para usuários		A21	0,63	Sério perigo para usuários
	A22	0,00	Somente o conforto é afetado		A22	0,63	Sério perigo para usuários
	A23	0,63	Sério perigo para usuários		A23	0,63	Sério perigo para usuários
	A24	0,00	Somente o conforto é afetado		A24	0,00	Somente o conforto é afetado
	A25	0,54	Perigos localizados para usuários		A25	0,00	Somente o conforto é afetado
	A26	0,00	Somente o conforto é afetado		A26	0,00	Somente o conforto é afetado
	A27	0,00	Somente o conforto é afetado		A27	0,00	Somente o conforto é afetado
	A28	0,00	Somente o conforto é afetado		A28	0,00	Somente o conforto é afetado
	A29	0,00	Somente o conforto é afetado		A29	0,00	Somente o conforto é afetado
	A30	0,00	Somente o conforto é afetado		A30	0,00	Somente o conforto é afetado
	A31	0,75	Sério perigo para usuários		A31	0,75	Sério perigo para usuários
	A32	0,75	Sério perigo para usuários		A32	0,75	Sério perigo para usuários
	A33	0,75	Sério perigo para usuários		A33	0,75	Sério perigo para usuários
	A34	0,75	Sério perigo para usuários		A34	0,75	Sério perigo para usuários
	A35	0,75	Sério perigo para usuários		A35	0,75	Sério perigo para usuários
	A36	0,75	Sério perigo para usuários		A36	0,75	Sério perigo para usuários
	A37	0,75	Sério perigo para usuários		A37	0,75	Sério perigo para usuários
	A38	0,75	Sério perigo para usuários		A38	0,75	Sério perigo para usuários
	A39	0,75	Sério perigo para usuários		A39	0,75	Sério perigo para usuários
	A40	0,75	Sério perigo para usuários		A40	0,75	Sério perigo para usuários

Fonte: Próprio autor

Tabela 81 – CR_e do Pilar 2 do viaduto.

Pilar 2						
Lado	Divisões	CR_e		Divisões	CR_e	
Lado A	A1	0,00	Somente o conforto é afetado	A21	0,78	Sério perigo para usuários
	A2	0,63	Sério perigo para usuários	A22	1,10	Sério perigo para usuários
	A3	0,78	Sério perigo para usuários	A23	1,10	Sério perigo para usuários
	A4	0,78	Sério perigo para usuários	A24	1,10	Sério perigo para usuários
	A5	1,10	Sério perigo para usuários	A25	0,00	Somente o conforto é afetado
	A6	1,10	Sério perigo para usuários	A26	0,00	Somente o conforto é afetado
	A7	1,10	Sério perigo para usuários	A27	0,00	Somente o conforto é afetado
	A8	1,10	Sério perigo para usuários	A28	0,00	Somente o conforto é afetado
	A9	0,78	Sério perigo para usuários	A29	0,00	Somente o conforto é afetado
	A10	1,10	Sério perigo para usuários	A30	0,63	Sério perigo para usuários
	A11	1,10	Sério perigo para usuários	A31	0,63	Sério perigo para usuários
	A12	1,10	Sério perigo para usuários	A32	0,63	Sério perigo para usuários
	A13	0,00	Somente o conforto é afetado	A33	0,63	Sério perigo para usuários
	A14	0,63	Sério perigo para usuários	A34	0,58	Perigos localizados para usuários
	A15	0,78	Sério perigo para usuários	A35	0,58	Perigos localizados para usuários
	A16	0,78	Sério perigo para usuários	A36	0,58	Perigos localizados para usuários
	A17	1,10	Sério perigo para usuários	A37	0,63	Sério perigo para usuários
	A18	1,10	Sério perigo para usuários	A38	0,63	Sério perigo para usuários
	A19	1,10	Sério perigo para usuários	A39	0,58	Perigos localizados para usuários
	A20	1,10	Sério perigo para usuários	A40	0,58	Perigos localizados para usuários

Fonte: Próprio autor

Tabela 82 – CR_e do Pilar 7 do viaduto.

Pilar 7							
Lado	Divisões	CR_e		Lado	Divisões	CR_e	
Lado A	A1	0,00	Somente o conforto é afetado	Lado A	A1	1,00	Sério perigo para usuários
	A2	0,00	Somente o conforto é afetado		A2	1,00	Sério perigo para usuários
	A3	1,15	Sério perigo para usuários		A3	1,00	Sério perigo para usuários
	A4	0,63	Sério perigo para usuários		A4	0,63	Sério perigo para usuários
	A5	0,63	Sério perigo para usuários		A5	0,63	Sério perigo para usuários
	A6	0,63	Sério perigo para usuários		A6	0,63	Sério perigo para usuários
	A7	0,63	Sério perigo para usuários		A7	0,63	Sério perigo para usuários
	A8	0,63	Sério perigo para usuários		A8	0,63	Sério perigo para usuários
	A9	0,63	Sério perigo para usuários		A9	0,63	Sério perigo para usuários
	A10	0,98	Sério perigo para usuários		A10	0,63	Sério perigo para usuários
	A11	0,98	Sério perigo para usuários		A11	0,63	Sério perigo para usuários
	A12	0,98	Sério perigo para usuários		A12	0,00	Somente o conforto é afetado
	A13	0,00	Somente o conforto é afetado		A13	1,00	Sério perigo para usuários
	A14	0,00	Somente o conforto é afetado		A14	1,00	Sério perigo para usuários
	A15	1,15	Sério perigo para usuários		A15	1,00	Sério perigo para usuários
	A16	0,63	Sério perigo para usuários		A16	0,63	Sério perigo para usuários
	A17	0,63	Sério perigo para usuários		A17	0,63	Sério perigo para usuários
	A18	0,63	Sério perigo para usuários		A18	0,63	Sério perigo para usuários
	A19	0,63	Sério perigo para usuários		A19	0,63	Sério perigo para usuários
	A20	0,63	Sério perigo para usuários		A20	0,63	Sério perigo para usuários
	A21	0,63	Sério perigo para usuários		A21	0,63	Sério perigo para usuários
	A22	0,98	Sério perigo para usuários		A22	0,63	Sério perigo para usuários
	A23	0,98	Sério perigo para usuários		A23	0,63	Sério perigo para usuários
	A24	0,98	Sério perigo para usuários		A24	0,00	Somente o conforto é afetado
	A25	0,00	Somente o conforto é afetado		A25	0,00	Somente o conforto é afetado
	A26	0,00	Somente o conforto é afetado		A26	0,00	Somente o conforto é afetado
	A27	0,00	Somente o conforto é afetado		A27	0,00	Somente o conforto é afetado
	A28	0,00	Somente o conforto é afetado		A28	0,00	Somente o conforto é afetado
	A29	0,00	Somente o conforto é afetado		A29	0,00	Somente o conforto é afetado
	A30	0,00	Somente o conforto é afetado		A30	0,00	Somente o conforto é afetado
	A31	0,75	Sério perigo para usuários		A31	1,13	Sério perigo para usuários
	A32	0,75	Sério perigo para usuários		A32	1,13	Sério perigo para usuários
	A33	0,75	Sério perigo para usuários		A33	1,13	Sério perigo para usuários
	A34	1,13	Sério perigo para usuários		A34	1,13	Sério perigo para usuários
	A35	1,11	Sério perigo para usuários		A35	1,13	Sério perigo para usuários
	A36	1,13	Sério perigo para usuários		A36	1,13	Sério perigo para usuários
	A37	0,75	Sério perigo para usuários		A37	1,13	Sério perigo para usuários
	A38	0,75	Sério perigo para usuários		A38	1,13	Sério perigo para usuários
	A39	1,13	Sério perigo para usuários		A39	1,13	Sério perigo para usuários
	A40	1,13	Sério perigo para usuários		A40	1,13	Sério perigo para usuários

Fonte: Próprio autor

A.4 - MAEC

Tabela 83 – FG do Pilar 1 e Pilar 2 do viaduto

Pilar 1			Pilar 2			
Lado	Divisões	FG	Lado	Divisões	FG	
Lado A	A1	0	Muito Ligeiras	A1	1	Muito Ligeiras
	A2	0,6	Médias	A2	1	Muito Ligeiras
	A3	0,6	Médias	A3	1	Muito Graves
	A4	0,8	Graves	A4	0,8	Graves
	A5	0,8	Graves	A5	0,8	Graves
	A6	0,8	Graves	A6	0,8	Graves
	A7	0,8	Graves	A7	0,8	Graves
	A8	0,8	Graves	A8	0,8	Graves
	A9	0,8	Graves	A9	0,8	Graves
	A10	0	Muito Ligeiras	A10	0,6	Médias
	A11	0,6	Médias	A11	0,6	Médias
	A12	0	Muito Ligeiras	A12	0	Muito Ligeiras
	A13	0	Muito Ligeiras	A13	1	Muito Graves
	A14	0,6	Médias	A14	1	Muito Graves
	A15	0,6	Médias	A15	1	Muito Graves
	A16	0,8	Graves	A16	0,8	Graves
	A17	0,8	Graves	A17	0,8	Graves
	A18	0,8	Graves	A18	0,8	Graves
	A19	0,8	Graves	A19	0,8	Graves
	A20	0,8	Graves	A20	0,8	Graves
	A21	0,8	Graves	A21	0,8	Graves
	A22	0	Muito Ligeiras	A22	0,6	Médias
	A23	0,6	Médias	A23	0,6	Médias
	A24	0	Muito Ligeiras	A24	0	Muito Ligeiras
	A25	0,6	Médias	A25	0	Muito Ligeiras
	A26	0	Muito Ligeiras	A26	0	Muito Ligeiras
	A27	0	Muito Ligeiras	A27	0	Muito Ligeiras
	A28	0	Muito Ligeiras	A28	0	Muito Ligeiras
	A29	0	Muito Ligeiras	A29	0	Muito Ligeiras
	A30	0	Muito Ligeiras	A30	0	Muito Ligeiras
	A31	1	Muito Graves	A31	1	Muito Graves
	A32	1	Muito Graves	A32	1	Muito Graves
	A33	1	Muito Graves	A33	1	Muito Graves
	A34	1	Muito Graves	A34	1	Muito Graves
	A35	1	Muito Graves	A35	1	Muito Graves
	A36	1	Muito Graves	A36	1	Muito Graves
	A37	1	Muito Graves	A37	1	Muito Graves
	A38	1	Muito Graves	A38	1	Muito Graves
	A39	1	Muito Graves	A39	1	Muito Graves
	A40	1	Muito Graves	A40	1	Muito Graves

Fonte: Próprio autor

Tabela 84 – FG do Pilar 7 do viaduto.

Pilar 7							
Lado	Divisões		FG	Lado	Divisões	FG	
Lado A	A1	0	Muito Ligeiras	Lado B	A1	1	Muito Graves
	A2	0	Muito Ligeiras		A2	1	Muito Graves
	A3	1,0	Muito Graves		A3	1	Muito Graves
	A4	0,8	Graves		A4	0,8	Graves
	A5	0,8	Graves		A5	0,8	Graves
	A6	0,8	Graves		A6	0,8	Graves
	A7	0,8	Graves		A7	0,8	Graves
	A8	0,8	Graves		A8	0,8	Graves
	A9	0,8	Graves		A9	0,8	Graves
	A10	1	Muito Graves		A10	0,6	Médias
	A11	1	Muito Graves		A11	0,6	Médias
	A12	1	Muito Graves		A12	0	Muito Ligeiras
	A13	0	Muito Ligeiras		A13	1	Muito Graves
	A14	0	Muito Ligeiras		A14	1	Muito Graves
	A15	1	Muito Graves		A15	1	Muito Graves
	A16	0,8	Graves		A16	0,8	Graves
	A17	0,8	Graves		A17	0,8	Graves
	A18	0,8	Graves		A18	0,8	Graves
	A19	0,8	Graves		A19	0,8	Graves
	A20	0,8	Graves		A20	0,8	Graves
	A21	0,8	Graves		A21	0,8	Graves
	A22	1	Muito Graves		A22	0,6	Médias
	A23	1	Muito Graves		A23	0,6	Médias
	A24	1	Muito Graves		A24	0	Muito Ligeiras
	A25	0	Muito Ligeiras		A25	0	Muito Ligeiras
	A26	0	Muito Ligeiras		A26	0	Muito Ligeiras
	A27	0	Muito Ligeiras		A27	0	Muito Ligeiras
	A28	0	Muito Ligeiras		A28	0	Muito Ligeiras
	A29	0	Muito Ligeiras		A29	0	Muito Ligeiras
	A30	0	Muito Ligeiras		A30	0	Muito Ligeiras
	A31	1	Muito Graves		A31	1	Muito Graves
	A32	1	Muito Graves		A32	1	Muito Graves
	A33	1	Muito Graves		A33	1	Muito Graves
	A34	1	Muito Graves		A34	1	Muito Graves
	A35	1	Muito Graves		A35	1	Muito Graves
	A36	1	Muito Graves		A36	1	Muito Graves
	A37	1	Muito Graves		A37	1	Muito Graves
	A38	1	Muito Graves		A38	1	Muito Graves
	A39	1	Muito Graves		A39	1	Muito Graves
	A40	1	Muito Graves		A40	1	Muito Graves

Fonte: Próprio autor

A.5 – Norma Holandesa

Tabela 85 – Classificação da condição do Elemento do Pilar 1 e Pilar 2 do viaduto

Pilar 1				Pilar 2							
Lado	Divisões	Classificação da condição do Elemento	Lado	Divisões	Classificação da condição do Elemento	Lado	Divisões	Classificação da condição do Elemento			
Lado A	A1	0	Excelente	Lado B	A1	1	Intolerável	Lado A	A1	0	Excelente
	A2	0,67	Ruim		A2	0,89	Intolerável		A2	0,7	Ruim
	A3	0,67	Ruim		A3	0,89	Intolerável		A3	0,7	Ruim
	A4	0,44	Razoável		A4	0,67	Ruim		A4	0,7	Ruim
	A5	0,67	Ruim		A5	0,67	Ruim		A5	0,8	Grave
	A6	0,67	Ruim		A6	0,67	Ruim		A6	0,8	Grave
	A7	0,67	Ruim		A7	0,67	Ruim		A7	0,9	Intolerável
	A8	0,67	Ruim		A8	0,67	Ruim		A8	0,9	Intolerável
	A9	0,67	Ruim		A9	0,67	Ruim		A9	0,7	Ruim
	A10	0	Excelente		A10	0,33	Razoável		A10	0,6	Ruim
	A11	0,67	Ruim		A11	0,33	Razoável		A11	0,6	Ruim
	A12	0	Excelente		A12	0	Excelente		A12	0,6	Ruim
	A13	0	Excelente		A13	1	Intolerável		A13	0	Excelente
	A14	0,67	Ruim		A14	0,89	Intolerável		A14	0	Excelente
	A15	0,67	Ruim		A15	0,89	Intolerável		A15	0,7	Ruim
	A16	0,44	Razoável		A16	0,67	Ruim		A16	0,7	Ruim
	A17	0,67	Ruim		A17	0,67	Ruim		A17	0,8	Grave
	A18	0,67	Ruim		A18	0,67	Ruim		A18	0,8	Grave
	A19	0,67	Ruim		A19	0,67	Ruim		A19	0,7	Ruim
	A20	0,67	Ruim		A20	0,67	Ruim		A20	0,9	Intolerável
	A21	0,67	Ruim		A21	0,67	Ruim		A21	0,7	Ruim
	A22	0	Excelente		A22	0,33	Razoável		A22	0,6	Ruim
	A23	0,67	Ruim		A23	0,33	Razoável		A23	0,6	Ruim
	A24	0	Excelente		A24	0	Excelente		A24	0,6	Ruim
	A25	0,67	Ruim		A25	0	Excelente		A25	0	Excelente
	A26	0	Excelente		A26	0	Excelente		A26	0	Excelente
	A27	0	Excelente		A27	0	Excelente		A27	0	Excelente
	A28	0	Excelente		A28	0	Excelente		A28	0	Excelente
	A29	0	Excelente		A29	0	Excelente		A29	0	Excelente
	A30	0	Excelente		A30	0	Excelente		A30	0,7	Ruim
	A31	1	Intolerável		A31	1	Intolerável		A31	0,7	Ruim
	A32	1	Intolerável		A32	1	Intolerável		A32	0,7	Ruim
	A33	1	Intolerável		A33	1	Intolerável		A33	0,7	Ruim
	A34	1	Intolerável		A34	1	Intolerável		A34	1,0	Intolerável
	A35	1	Intolerável		A35	1	Intolerável		A35	1,0	Intolerável
	A36	1	Intolerável		A36	1	Intolerável		A36	1,0	Intolerável
	A37	1	Intolerável		A37	1	Intolerável		A37	0,7	Ruim
	A38	1	Intolerável		A38	1	Intolerável		A38	0,7	Ruim
	A39	1	Intolerável		A39	1	Intolerável		A39	1,0	Intolerável
	A40	1	Intolerável		A40	1	Intolerável		A40	1,0	Intolerável

Fonte: Próprio autor

Tabela 86 – Classificação da condição do Elemento do Pilar 7 do viaduto.

Pilar7							
Lado	Divisões	Classificação da condição do Elemento		Lado	Divisões	Classificação da condição do Elemento	
Lado A	A1	0	Excelente	Lado B	A1	1	Intolerável
	A2	0	Excelente		A2	1	Intolerável
	A3	0,83	Intolerável		A3	1	Intolerável
	A4	0,67	Ruim		A4	0,67	Ruim
	A5	0,67	Ruim		A5	0,67	Ruim
	A6	0,67	Ruim		A6	0,67	Ruim
	A7	0,67	Ruim		A7	0,67	Ruim
	A8	0,67	Ruim		A8	0,67	Ruim
	A9	0,67	Ruim		A9	0,67	Ruim
	A10	1	Intolerável		A10	0,67	Ruim
	A11	1	Intolerável		A11	0,67	Ruim
	A12	1	Intolerável		A12	0	Excelente
	A13	0	Excelente		A13	1	Intolerável
	A14	0	Excelente		A14	1	Intolerável
	A15	0,83	Intolerável		A15	1	Intolerável
	A16	0,67	Ruim		A16	0,67	Ruim
	A17	0,67	Ruim		A17	0,67	Ruim
	A18	0,67	Ruim		A18	0,67	Ruim
	A19	0,67	Ruim		A19	0,67	Ruim
	A20	0,67	Ruim		A20	0,67	Ruim
	A21	0,67	Ruim		A21	0,67	Ruim
	A22	1	Intolerável		A22	0,67	Ruim
	A23	1	Intolerável		A23	0,67	Ruim
	A24	1	Intolerável		A24	0	Excelente
	A25	0	Excelente		A25	0	Excelente
	A26	0	Excelente		A26	0	Excelente
	A27	0	Excelente		A27	0	Excelente
	A28	0	Excelente		A28	0	Excelente
	A29	0	Excelente		A29	0	Excelente
	A30	0	Excelente		A30	0	Excelente
	A31	1	Intolerável		A31	1	Intolerável
	A32	1	Intolerável		A32	1	Intolerável
	A33	1	Intolerável		A33	1	Intolerável
	A34	1	Intolerável		A34	1	Intolerável
	A35	1	Intolerável		A35	1	Intolerável
	A36	1	Intolerável		A36	1	Intolerável
	A37	1	Intolerável		A37	1	Intolerável
	A38	1	Intolerável		A38	1	Intolerável
	A39	1	Intolerável		A39	1	Intolerável
	A40	1	Intolerável		A40	1	Intolerável

Fonte: Próprio autor