

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO – PPG FAU

MÉTODO ACOPLADO INTEGRIDADE E SEGURANÇA – MAIS
PARA A AVALIAÇÃO DE PATRIMÔNIOS HISTÓRICOS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

ANA LUIZA ALVES DE OLIVEIRA

TESE DE DOUTORADO EM ARQUITETURA E URBANISMO

Orientador: João da Costa Pantoja
Coorientador: Humberto Salazar Varum

Brasília,
Novembro de 2021

FICHA CATALOGRÁFICA

OLIVEIRA, A. L. A.
MÉTODO ACOPLADO INTEGRIDADE E SEGURANÇA – MAIS PARA A AVALIAÇÃO DE PATRIMÔNIOS HISTÓRICOS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO. 2021.

(PPG-FAU/UnB, Doutor, Arquitetura e Urbanismo, 2021).

Tese de Doutorado - Universidade de Brasília, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo.

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.

1. Conservação
 2. Patrimônio moderno
 3. Avaliação estrutural
 4. Inspeção
 5. Confiabilidade
- I. FAU/Universidade de Brasília.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

OLIVEIRA, A. L. A. **MÉTODO ACOPLADO INTEGRIDADE E SEGURANÇA – MAIS PARA A AVALIAÇÃO DE PATRIMÔNIOS HISTÓRICOS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO, 2021.** Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2021.

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

Assinatura

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO – PPG-FAU

MÉTODO ACOPLADO INTEGRIDADE E SEGURANÇA – MAIS
PARA A AVALIAÇÃO DE PATRIMÔNIOS HISTÓRICOS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

ANA LUIZA ALVES DE OLIVEIRA

Tese de Doutorado submetida à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Arquitetura e Urbanismo, área de concentração Tecnologia.

Aprovado por:

João da Costa Pantoja, D.Sc. (FAU, UnB)
(Orientador)

Humberto Salazar Varum, D.Sc. (FEUP)
(Coorientador)

Márcio Augusto Roma Buzar, D.Sc. (FAU, UnB)
(Examinador Interno)

Leandro Mouta Trautwein, D.Sc. (FEC, UNICAMP)
(Examinador Externo)

Rafael Alves de Souza, D.Sc. (DEC, UEM)
(Examinador Externo)

Brasília – DF, 12 de novembro de 2021

“O que fazemos na vida ecoa na eternidade”.

(Marco Aurélio)

AGRADECIMENTOS

Concluir o doutorado foi um trabalho árduo. Muito mais que uma prova de inteligência, é uma prova de resiliência. Esse desafio aceito por mim foi laborioso, porém a recompensa é proporcional, e jamais teria conseguido concluí-lo sem o auxílio dos que estavam lá por mim.

Agradeço primeiramente ao Todo, por me fornecer a fé para seguir em frente, ainda que tivesse pedido a motivação;

Agradeço aos meus pais, Rosânia e Edilson, ao meu irmão, Vinícius, e grande amigo, Virgílio, por todo o carinho e admiração. Vossos olhares me ver me fortalecem. Obrigada por serem, para sempre, a minha base.

Agradeço ao meu amor, Mario, e à sua família, Teresa, Kurt e Kevin, pelo apoio, gentileza e compreensão da minha ausência.

Agradeço ao meu orientador e amigo, João Pantoja. Uma boa relação com o seu orientador, as vezes, é o que precisamos para prosseguir, e isso tive durante esses anos.

Agradeço ao meu coorientador Humberto Varum, pela compreensão e orientações. Admiro-o não só pelas conquistas profissionais, mas também pela postura pessoal.

Ao Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, que representado pelos funcionários e docentes me acolheu e ajudou em tudo possível.

Agradeço em especial ao Diego, pelas palavras de apoio e gentileza.

Agradeço aos meus colegas de equipe que me auxiliaram na concepção desse trabalho.

Agradeço à Engenheira Cecília por facilitar o acesso ao RUCA I.

Agradeço à toda família e amigos, que torceram por mim.

Agradeço à CAPES pelo apoio financeiro à pesquisa.

RESUMO

Nas últimas décadas houve um aumento na preocupação em preservar e revitalizar patrimônios históricos da humanidade, pois deram-se conta que há vários benefícios tanto econômicos quanto sociais na sua conservação. A avaliação de uma estrutura existente é uma atividade complexa. Para que isso seja feito adequadamente devemos considerar um panorama mais realístico possível das condições existentes dos materiais envolvidos, cargas atuantes, condições de agressividades ambientais, entre outros, de modo a descrever o funcionamento correto e prever adequadamente o nível de segurança existente da estrutura. O presente trabalho apresenta uma proposta de metodologia probabilística que acopla uma análise de confiabilidade a um processo de inspeção e avaliação das condições estruturais de edificações existentes em concreto armado e suas patologias: o Método Acoplado Integridade e Segurança - Método MAIS. Antes da avaliação estrutural propriamente dita é necessário que uma série de etapas sejam cumpridas. Inicialmente deve ser realizada uma inspeção visual e registo das principais patologias existentes nos componentes estruturais e a obtenção de suas condições atuais de serviço. Em seguida, é necessário efetuar uma classificação do nível de severidade atuante, fazer a verificação da necessidade de execução de testes laboratoriais e adotar um modelo de integridade para o processo de degradação do material concreto armado. Finalmente, é proposto um acoplamento entre os níveis de segurança da estrutura existente, via índices de confiabilidade e o modelo de integridade adotado. A metodologia descrita possibilita a identificação dos mecanismos de degradação ativos e a determinação do nível de segurança da estrutura, resultando num prognóstico estimado do funcionamento atual e futuro do sistema em análise. Para isso, testou-se dois tipos diferentes de modelos de integridade (Tuutti e Heidecke) e duas escalas (linear e cúbica). Para dar início aos resultados, as primeiras etapas dessa metodologia proposta foram aplicadas em uma edificação presente na cidade do Porto (PT) e em dois patrimônios em Brasília (BR). Concluiu-se que o Método MAIS é aplicável na prática tanto via análise de dados inspecionados in loco, quanto via uso de *softwares* estruturais.

Palavras-chave: Conservação; Patrimônio Moderno; Avaliação Estrutural; Inspeção; Confiabilidade.

ABSTRACT

In recent decades there has been an increase in the concern to preserve and revitalize monuments of historical heritage with the realization that there are several benefits, both economic and social, in its conservation. Evaluating an existing structure is a complex task. To adequately predict the existing safety level of the structure and its proper function, one must consider the overall existing conditions of the materials involved, acting loads, environmental aggressiveness, among others. The present work presents a proposal for a probabilistic methodology that couples a reliability analysis to a process of inspection and evaluation of the existing structural conditions and pathologies in reinforced concrete buildings: The Method of Assessment by Integrity and Safety - MAIS Methodology. Before the structural assessment itself, a series of steps must be completed. Initially, a visual inspection and registration of the existing pathologies in the structural components and their current service conditions must be obtained. Then, it is necessary to carry out a classification of the severity level, verify if there is a need to perform laboratory tests and adopt an integrity model for the process of degradation of the reinforced concrete material. Finally, it is proposed a coupling between the security levels of the existing structure, via reliability indices and the adopted integrity model. The described methodology enables the identification of active degradation mechanisms and the determination of the structure's safety level, resulting in an estimated forecast of the current and future functioning of the system under analysis. For this, two different types of integrity models (Tuutti and Heidecke) and two scales (linear and cubic) were tested. To start the results, the first steps of this proposed methodology were applied in a building present in the city of Porto (PT) and in two properties in Brasília (BR). It was concluded that the MAIS Method is applicable in practice both via data analysis inspected in loco and via the use of structural software.

Keywords: Conservation; Modern Heritage; Structural Assessment; Inspection; Reliability.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	22
1.1 Objetivos	26
1.1.1 Objetivo Geral	26
1.1.2 Objetivos Específicos	26
1.1.3 Justificativa e Hipótese	27
2. PATRIMÔNIOS MUNDIAIS.....	30
2.1 A Importância da Conservação do Patrimônio	31
2.2 Um Breve Histórico	35
2.3 Cartas Patrimoniais	39
2.3.1 Carta de Atenas – 1931.....	40
2.3.2 Carta de Veneza – 1964	41
2.3.3 Carta de Washington – 1987	42
2.4 Organizações Consultivas do Comitê Intergovernamental de Proteção do Patrimônio Mundial, Cultural e Natural	43
2.4.1 Centro Internacional para o Estudo da Preservação e Restauro de Bens Culturais – ICCROM44	
2.4.2 Conselho Internacional de Monumentos e Sítios - ICOMOS.....	44
2.4.3 União Internacional para Conservação da Natureza – UICN.....	45
2.4.4 Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN)	46
2.5 Conceitos Fundamentais.....	46
2.5.1 Conservação.....	46
2.5.2 Restauração	47
2.5.3 Renovação.....	49

2.5.4	Relocação	50
2.5.5	Reversibilidade	51
2.6	Arquitetura Modernista	52
3.	CONSERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO EDIFICADO DO PONTO DE VISTA DE INTEGRIDADE E SEGURANÇA	59
3.1	Incertezas	59
3.2	Teoria de Confiabilidade	61
3.3	Confiabilidade na Segurança Estrutural	63
3.4	Análise de Confiabilidade e Probabilidade de Falha	67
3.5	Gestão de Risco	71
3.5.1	Matriz de Risco	74
4.	MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO ...	78
4.1	Métodos de Segurança Estrutural	78
4.1.1	Métodos Não-Probabilísticos	78
4.1.2	Métodos Probabilísticos	81
4.2	Métodos para Avaliação de Integridade via Inspeção Sensorial Especializada	88
4.2.1	NBR 16747/2020 – Inspeção Predial – Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento	89
4.2.2	Metodologia GDE – (ENC/UnB)	91
4.2.3	Metodologia GDE Adaptada às Estruturas Mistas (FAU / UnB)	92
4.2.4	Metodologia GDE com Modelo de Dano Cúbico – Marques <i>et al.</i> (2016)	94
4.2.5	Metodologia Alert-Degradation (Alert-D) – Sangiorgio <i>et al.</i> (2018)	96
4.3	Métodos Acoplados com Análise Probabilística	100
4.3.1	Metodologia GDE Parametrizada - Pantoja <i>et al.</i> (2018)	101
5.	MÉTODO MAIS: MÉTODO ACOPLADO INTEGRIDADE E SEGURANÇA	103
5.1	Introdução	103

5.2	Modelos de Integridade	104
5.3	Escalas	108
5.4	Calibração	115
5.5	Descrição do Método MAIS – Modo 1	116
5.5.1	Classificação das Classes de Elementos	118
5.5.2	Fator de Dano	119
5.5.3	Fator de Intensidade	124
5.5.4	Fator de Extensão	126
5.5.5	Índice de Integridade Individual da Manifestação Patológica.....	126
5.5.6	Índice de Integridade do Elemento	128
5.5.7	Índice de Integridade da Classe	129
5.5.8	Fator de Relevância.....	129
5.5.9	Integridade da Estrutura.....	130
5.5.10	Índice de Confiabilidade	131
5.6	Matriz de Risco	132
5.7	Descrição do Método MAIS: Modo 2	133
6.	ESTUDOS DE CASO	135
6.1	Patrimônio Cultural da Humanidade: Porto – Portugal.....	135
6.1.1	Residência Universitário Campo Alegre I.....	138
6.2	Patrimônio da Humanidade: Plano Piloto de Brasília	157
6.2.1	Mezanino do ICC - Entrada Central Norte ICC	160
6.2.2	CLS 105.....	181
7.	CONCLUSÃO	232
7.1	Sugestões para Trabalhos Futuros.....	233
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	235

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Sydney Opera House.....	24
Figura 2: Queda de viaduto na região central de Brasília.....	27
Figura 3: World Trade Center.	28
Figura 4: Pirâmides do Egito.	32
Figura 5: Ruína de moinhos em pedra na ilha de São Miguel - Açores (PT).....	34
Figura 6: Mosteiro de Alcobaça no final do século XVIII e atualmente, respectivamente.....	36
Figura 7: Anfiteatro de Arles.....	37
Figura 8: Coliseu.....	38
Figura 9: Relocação da Tumba de Zeynel Bey.	51
Figura 10: Byker Housing.	53
Figura 11 – Obra “A Boba” de Anita Malfatti.....	54
Figura 12 – Fachadas da “Casa Modernista”	55
Figura 13 – Ministério da Educação e Saúde: marco na arquitetura modernista brasileira	57
Figura 14 – Museu de Arte de São Paulo.....	57
Figura 15: SESC Pompéia em São Paulo.....	58
Figura 16: Modelo de análise com incerteza nos dados.....	68
Figura 17: Processo de gestão de risco.....	72
Figura 18: Matriz de risco.	75
Figura 19: Matriz de risco para controle da pandemia.	76
Figura 20: Fluxograma simulação de Monte Carlo.	82
Figura 21: Sorteio de pontos na simulação de Monte Carlo.	84
Figura 22: Integral da função densidade de probabilidades.	85
Figura 23: Representação gráfica do método FORM.....	87
Figura 24: Integral da função densidade de probabilidades após a transformação.	88
Figura 25: Torre de Tv de Brasília (DF).....	93
Figura 26: Passarela de estrutura mista avaliada.	96

Figura 27: Fluxograma Metodologia Alert-D.	97
Figura 28: Evolução esquemática do fenômeno de corrosão da armadura.....	105
Figura 29: Fenômeno de corrosão de armaduras.	109
Figura 30: Matrizes utilizadas em teste de escala para o Fator de Integridade (Fi).	109
Figura 31: Matrizes utilizadas em teste de escala para o Fator de Dano (Fd).	110
Figura 32: Matrizes de estudo da escala para Método MAIS.	112
Figura 33: Matrizes de estudo da escala para Método MAIS - Continuação.	113
Figura 34: Superfícies de integridade de Tuutti e Heidecke com escalas linear e cúbica.	116
Figura 35: Fluxograma Método MAIS.	117
Figura 36: Matriz de risco Método MAIS.	132
Figura 37: Cidade do Porto - Portugal.....	136
Figura 38: Pavilhão Rosa Mota localizada no Porto (PT).	137
Figura 39: Residencial Universitário Campo Alegre I.	138
Figura 40: Vista aérea RUCA I	139
Figura 41: Módulos RUCA I.	140
Figura 42: Vigas e Pilares avaliados.	141
Figura 43: Guardas-corpo e escada avaliados.	142
Figura 44: Visão geral das vigas e pilares.....	143
Figura 45: Pilar 3.	144
Figura 46: Pilar 4.	144
Figura 47: Pilar 10.	145
Figura 48: Viga 2.....	146
Figura 49: Viga 7.....	146
Figura 50: Viga 8.....	147
Figura 51: Guarda-Corpo 2.....	148
Figura 52: Guarda-Corpo 3.....	148
Figura 53: Guarda-corpo 10	149
Figura 54: Escada.	150
Figura 55: Vista aérea diurna do Plano piloto de Brasília.	158

Figura 56: Congresso Nacional em Brasília.	159
Figura 57: Plano Piloto de Brasília.	160
Figura 58: Localização prevista da Universidade de Brasília.	161
Figura 59: Construção do ICC.	162
Figura 60: Instalação de vigas pré-moldadas.	162
Figura 61: Corte Transversal do ICC.	163
Figura 62: Vista aérea. Entradas Norte e Sul	163
Figura 63: Planta baixa e corte da laje do mezanino norte.	164
Figura 64: Mezanino entrada sul.	165
Figura 65: Mapeamento de fissuras - Entrada central Norte.	166
Figura 66: Monitoramento fissuras com placas de gesso.	167
Figura 67: Imagens termográficas mezanino ICC.	168
Figura 68: Elementos laje ICC Norte.	169
Figura 69: Queda da laje Mezanino ICC Norte.	170
Figura 70: Pilares - Mezanino ICC Norte.	171
Figura 71: Laje Mezanino ICC Norte.	173
Figura 72: Vista aérea do estudo de caso CLS 105, Asa Sul, Brasília.	181
Figura 73: Pavimento térreo CLS 105, Asa Sul, Brasília.	182
Figura 74: Modelagem 3D CLS 105 – Vista 1.	183
Figura 75: Planta de fôrma com nomeação dos pilares – nível 1 (térreo).	185
Figura 76: Planta de fôrma com nomeação dos pilares - nível 100 (1º pavimento).	186
Figura 77: Manifestações patológicas pilares - CLS 105.	187
Figura 78: Planta Baixa com Nomeação das Vigas - Nível 1 (Térreo).	190
Figura 79: Planta Baixa com Nomeação das Vigas - Nível 100 (1º Pavimento).	191
Figura 80: Planta Baixa com Nomeação das Vigas - Nível 200 (Cobertura).	192
Figura 81: Manifestações patológicas - Vigas.	193
Figura 82: Planta Baixa com nomeação das Lajes – Nível 100 (Primeiro Pavimento).	198
Figura 83: Planta Baixa com nomeação das Lajes – Nível 200 (Cobertura).	199
Figura 84: Levantamento fotográfico Lajes - CLS 105.	200

Figura 85: Modelagem com Nível de Confiabilidade do Elemento TL – Fachadas Sudoeste e Noroeste.	215
Figura 86: Modelagem com Nível de Confiabilidade do Elemento TC – Fachadas Sudoeste e Noroeste.	215
Figura 87: Modelagem com Nível de Confiabilidade do Elemento HL – Fachadas Sudoeste e Noroeste.	216
Figura 88: Modelagem com Nível de Confiabilidade do Elemento HC – Fachadas Sudoeste e Noroeste.	216
Figura 89: Modelagem com Nível de Confiabilidade do Elemento TL – Fachadas Sudeste e Nordeste.	217
Figura 90: Modelagem com Nível de Confiabilidade do Elemento TC – Fachadas Sudeste e Nordeste.	217
Figura 91: Modelagem com Nível de Confiabilidade do Elemento HL – Fachadas Sudeste e Nordeste.	218
Figura 92: Modelagem com Nível de Confiabilidade do Elemento HC – Fachadas Sudeste e Nordeste.	218
Figura 93: Mapa de força normal em x.....	223
Figura 94: Mapa de forças em y.....	224
Figura 95: Mapa de momentos M_x	224
Figura 96: Mapa de momentos M_y	225
Figura 97: Desformações em z.....	227

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Patologias a serem atribuídas.	98
Tabela 2: Pesos das patologias.	100
Tabela 3: Valores do Estado de Conservação do Imóvel segundo Heidecke.	107
Tabela 4: Escala geral e atributos dos Fatores de Dano, Intensidade e Extensão.	114
Tabela 5: Letreiros das combinações testadas.	115
Tabela 6: Fatores de dano (Fd) por classe de elemento.	120
Tabela 7: Fatores de dano (Fd) por classe de elemento (Continuação).....	121
Tabela 8: Fd para diferentes tipologias de fissuras em estruturas de concreto armado no estado plástico.	121
Tabela 9: Fd para diferentes tipologias de fissuras em estruturas de concreto armado no estado endurecido.	122
Tabela 10: Fd para diferentes tipologias de fissuras em estruturas de concreto armado – Projeto, execução ou cargas excessivas.	123
Tabela 11: Classificação do Fator de intensidade e função dos danos.	124
Tabela 12: Classificação do Fator de intensidade e função dos danos (Continuação).....	125
Tabela 13: Classificação do Fator de intensidade e função dos danos (Continuação).....	126
Tabela 14: Fator de Relevância	130
Tabela 15: Sugestão de Fator de Relevância.	130
Tabela 16: Classificação da Integridade e ações a serem adotadas.	131
Tabela 17: Índices de confiabilidade referência.	132
Tabela 18: Classificação do Risco da estrutura e ações a serem tomadas.	133
Tabela 19: Avaliação dos pilares.	145
Tabela 20: Avaliação das vigas.	147
Tabela 21: Avaliação dos guarda-corpos.	149
Tabela 22: Avaliação escada.	150
Tabela 23: Integridade Pilares – RUCA I.	151
Tabela 24: Confiabilidade e Risco Pilares - RUCA I.	151

Tabela 25: Integridade vigas – RUCA I.	153
Tabela 26: Confiabilidade e risco vigas – RUCA I.	153
Tabela 27: Integridade guarda-corpo – RUCA I.	154
Tabela 28: Confiabilidade e risco guarda-corpo – RUCA I.	154
Tabela 29: Integridade, confiabilidade e risco do elemento escada – RUCA I.	156
Tabela 30: Resumo Confiabilidade e Nível de Risco.	157
Tabela 31: Dados levantados via inspeção sensorial – Pilares A - ICC Norte.	172
Tabela 32: Dados levantados via inspeção sensorial – Pilares B - ICC Norte.	172
Tabela 33: Dados levantados via inspeção sensorial – Lajes A - ICC Norte.	174
Tabela 34: Integridade lajes - Mezanino ICC Norte.	175
Tabela 35: Confiabilidade e risco lajes - Mezanino ICC Norte.	176
Tabela 36: Integridade das classes de Lajes – Mezanino ICC Norte.	177
Tabela 37: Confiabilidade das classes de Lajes – Mezanino ICC Norte.	177
Tabela 38: Integridade Pilares - Mezanino do ICC Norte.	178
Tabela 39: Confiabilidade e risco Pilares - Mezanino do ICC Norte.	178
Tabela 40: Integridade lajes – Mezanino ICC Norte.	179
Tabela 41: Confiabilidade e risco lajes – Mezanino ICC Norte.	179
Tabela 42: Integridade e risco global da estrutura.	180
Tabela 43: Dados levantados via inspeção sensorial – Pilares Prédio i Nível 1 – CLS 105.	188
Tabela 44: Dados levantados via inspeção sensorial – Pilares Prédio i Nível 100 – CLS 105.	188
Tabela 45: Dados levantados via inspeção sensorial – Pilares Prédio ii Nível 1 – CLS 105.	189
Tabela 46: Dados levantados via inspeção sensorial – Pilares Prédio ii Nível 100 – CLS 105.	189
Tabela 47: Dados levantados via inspeção sensorial – Vigas Prédio i Nível 1 – CLS 105.	194
Tabela 48: Dados levantados via inspeção sensorial – Vigas Prédio i Nível 1 – CLS 105 (Continuação).....	194
Tabela 49: Dados levantados via inspeção sensorial –Vigas Prédio i Nível 100 – CLS 105.	195
Tabela 50: Dados levantados via inspeção sensorial – Vigas Prédio i Nível 200 – CLS 105.	195
Tabela 51: Dados levantados via inspeção sensorial –Vigas Prédio ii Nível 100 – CLS 105.	196

Tabela 52: Dados levantados via inspeção sensorial – Vigas Prédio ii Nível 100 – CLS 105 (Continuação).....	196
Tabela 53: Dados levantados via inspeção sensorial –Vigas Prédio ii Nível 200 – CLS 105.....	197
Tabela 54: Dados levantados via inspeção sensorial – Lajes Prédio i – CLS 105.	201
Tabela 55: Dados levantados via inspeção sensorial – Lajes Prédio ii – CLS 105.	201
Tabela 56: Resultado da Integridade dos elementos de Pilares - CLS 105.....	202
Tabela 57: Resultado da Confiabilidade dos elementos Pilares - CLS 105.	203
Tabela 58: Resumo do risco dos elementos Pilar.	203
Tabela 59: Integridade pilares - CLS 105.....	205
Tabela 60: Confiabilidade e risco pilares - CLS 105.....	205
Tabela 61: Integridade vigas - CLS 105.	206
Tabela 62: Confiabilidade e risco de vigas - CLS 105.	207
Tabela 63: Resumo risco de vigas.	208
Tabela 64: Integridade das classes <i>Vigas</i> – CLS 105 – Via Método MAIS.....	209
Tabela 65: Confiabilidade das classes <i>Vigas</i> - CLS 105.	209
Tabela 66: Integridade lajes - CLS 105.	210
Tabela 67: Confiabilidade e risco lajes - CLS 105.....	210
Tabela 68: Integridade das classes Lajes - CLS 105 – Via Método MAIS.	211
Tabela 69: Confiabilidade das classes <i>Lajes</i> - CLS 105 – via Método MAIS.	212
Tabela 70: Fator de Relevância aplicado.	212
Tabela 71: Nível de confiabilidade global.	213
Tabela 72: Associação integridade ao risco.	213
Tabela 73: Forças normais e momentos atuantes - Extremos globais.....	220
Tabela 74: Deslocamentos - Extremos globais.	226
Tabela 75: Extremos de esforços internos do elemento P101.....	228
Tabela 76: Extremos das tensões máxima e mínimo do Pilar 101.	230

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: função densidade de probabilidade f_S e f_{Rr}	65
Gráfico 2: índice de confiabilidade no espaço normalizado.....	66
Gráfico 3: Domínios de segurança e de falha.	69
Gráfico 4: Superfície de Dano - Metodologia GDE Parametrizada.	95
Gráfico 5: Modelo de Tuutti segundo observações de Castro (1994) quando $F_p = 1$	106
Gráfico 6: Modelos de Integridade de Heidecke e Tuutti para $F_p = F_d = 1$	107
Gráfico 7: Comportamento das Escalas de Fator de Integridade (F_i).	110
Gráfico 8: Comportamento das escalas de Fator de Dano (F_d).	111
Gráfico 9: Comparação da Confiabilidade (β) para os elementos e classe de Pilares.....	152
Gráfico 10: Comparação das confiabilidades vigas.	153
Gráfico 11: Comparação das confiabilidades para guarda-corpo.	155
Gráfico 12: Confiabilidade da Escada – RUCA I.....	156
Gráfico 13: Porcentagem do nível de confiabilidade dos elementos Lajes.....	176
Gráfico 14: Porcentagem do nível de confiabilidade dos elementos Lajes.....	179
Gráfico 15: Comparação do resultado de risco para Pilares – CLS 105.....	204
Gráfico 16: Comparação do resultado de risco para vigas – CLS 105.....	208
Gráfico 17: Comparação dos resultados da Confiabilidade dos elementos <i>Laje</i>	211
Gráfico 18: Forças normais atuantes - Extremos globais.	221
Gráfico 19: Momentos atuantes - Extremos globais.	222
Gráfico 20: Deslocamentos em z - Extremos globais.....	227
Gráfico 21: F_x e F_y para Pilar 101.	229
Gráfico 22: Momentos para a base (Ponto 0 m) do Pilar 101.	229
Gráfico 23: Momentos para o topo (Ponto 2,95 m) do Pilar 101.....	230
Gráfico 24: Diagrama de tensões - Pilar 101.	231

SÍMBOLOS

$a.C$	Antes de Cristo
β	Índice de confiabilidade
D	Dano
D_i	Dano individual da manifestação patológica
D_e	Dano do elemento
D_c	Dano da classe
$D_{i \acute{a}x}$	Maior dano individual da manifestação patológica presente
$D_{e \acute{a}x}$	Maior dano do elemento pertencente àquela classe
F_d	Fator de dano
F_e	Fator de extensão
F_i	Fator de intensidade
F_p	Fator de ponderação
F_r	Fator de relevância
I_1	Índice de integridade da estrutura global
$I_1 i$	Índice de integridade individual da manifestação patológica
$I_1 e$	Índice de integridade do elemento
$I_1 c$	Índice de integridade da classe
m	Número de manifestações patológicas presentes no elemento.
n	Número elementos que compõem a classe.

ABREVIATÖES

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
FORM	Método de Confiabilidade de Primeira Ordem
HC	Modelo de integridade de Heidecke e escala cúbica
HL	Modelo de integridade de Heidecke e escala linear
ICC	Instituto Central de Ciências
ICCROM	Centro Internacional para o Estudo da Preservação e Restauro de Bens Culturais
ICOMOS	Conselho Internacional de Monumentos e Sítios
IPHAN	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
MAIS	Método Acoplado Integridade e Segurança
ONG	Organização Não-Governamental
TC	Modelo de integridade de Tuutti e escala cúbica
TL	Modelo de integridade de Tuutti e escala linear
UnB	Universidade de Brasília
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

1. INTRODUÇÃO

Um grande dilema do ser humano é a vontade de saber o futuro e eternizar os objetos em busca de segurança em um mundo totalmente volátil. “A única constante é a mudança”, já dizia Heráclito, e essa é uma das poucas verdades absolutas para muitos pensadores, filósofos, monges e espiritualistas. O Bhagavad Gita, livro clássico da filosofia hindu de crescimento moral e espiritual, cuja data de escrita é duvidosa, mas acredita-se que foi há cerca de 5 mil anos (mas cantado e passado de geração em geração há muitos mais milênios) já divaga sobre essa necessidade intrínseca do homem em se apoiar no imutável ao afirmar que “o que é, nunca deixará de existir”.

Essa necessidade que transpassa milênios é evidenciada até os dias atuais também na rotina de engenheiros, arquitetos e profissionais da construção civil através da necessidade de fazer as edificações e patrimônios, perdurarem. Esse tema vem ganhando destaque seja na mídia, na sociedade, nas empresas ou na comunidade científica, que procura meios de contribuir para a preservação e restauração do acervo do patrimônio mundial realizando o estudo das edificações a partir de abordagens técnicas. O impulso desse conteúdo tem diversas explicações, três serão expostas a seguir.

A primeira é que a consciência de que não basta apenas construir uma edificação, ela deve ser usual e mantida para durar anos e até mesmo séculos vem sendo reforçada junto com a atual propagação da ideia de sustentabilidade e de desenvolvimento sustentável, que considera a necessidade do presente sem comprometer as habilidade e gerações futuras. As ações do homem, o tempo, os desastres naturais, a ausência de manutenção, entre outros fatores, podem levar ao abandono de edificações, causando sua morte prematura, sendo que poderiam durar e ser útil por muito mais tempo. O nível de consciência atual torna inconcebível a ideia de simplesmente demolir edificações que não nos sirvam mais. As dimensões de um imóvel somado à quantidade de material já utilizada tornam esse processo de demolição-reconstrução inviável do ponto de vista sustentável.

A segunda é que o caminho percorrido por uma sociedade e o seu desenvolvimento gera vontades e necessidades diferentes. Com o passar do tempo, imóveis construídos para um propósito

específico, antes necessários, deixaram de ter utilidade, levando ao questionamento do que fazer com esses patrimônios. Um exemplo são os palácios e castelos que antigamente abrigavam famílias reais e aristocratas.

Por fim, a terceira razão advém do fato que o mundo funciona como um pêndulo, com suas subidas e descidas, ciclicamente, sempre em busca do equilíbrio. Isso é evidenciado no Caibalion, que elucida tal fato como a Lei do Ritmo.

"Tudo tem fluxo e refluxo, tudo tem suas marés, tudo sobe e desce, o ritmo é a compensação"

Caibalion, 1908

Obedecendo a essa Lei, estamos vivendo a ressaca da idade média, onde a escassez era abundante. Isso fez com que o homem hipervalorizasse o materialismo, com o ápice no século XX, fazendo-o crer que as coisas, e pessoas também, são descartáveis e facilmente substituíveis. Entretanto o vazio que vem desse sentimento já abriu os olhos de muitas pessoas que buscam algo mais profundo e duradouro, e tal sentimento também se aplica aos patrimônios. Não é por azar que o movimento de conservação do patrimônio também surgiu no final do século XIX, com os primeiros teóricos como John Ruskin¹, Viollet-Le-Duc² e Cesari Brandi³ entre outros, com ápice no século XX.

A modernidade e a aceleração do desenvolvimento e do estilo de vida, a globalização, o neoliberalismo e a exclusão social advinda deles produziram uma reação que fortaleceu reivindicações e formas de expressão regionais e locais. É como se a sociedade se perguntasse “quem sou eu?” no meio de tantos acontecimentos, modernidade e caos. Olhar para um patrimônio que a represente traz essa lembrança de quem é. Tal força atuou no sentido de

¹ John Ruskin (1819 – 1900) foi um escritor e ativista inglês conhecido por seu trabalho como crítico social, de arte e de arquitetura, destacou-se por seu posicionamento contrário às forças da industrialização.

² Viollet-Le-Duc (1814 – 1879) foi um arquiteto francês, motivador do reconhecimento do gótico como uma importante etapa da história ocidental, foi responsável pelo restauro de vários marcos proeminentes como a catedral de Notre-Dame.

³ Cesari Brandi (1906 – 1988) foi um crítico e historiador italiano, é o dono do conceito “restauro crítico” no qual o profissional deve refletir e avaliar cada caso individualmente para garantir a melhor preservação da obra.

reafirmar uma identidade própria, dando ao patrimônio um maior valor significativo (Choay, 2006).

O objetivo da conservação do patrimônio não é perpetuar o passado, mas sim representar o patamar de referência, o conjunto de fatores por meio das quais as sociedades se reconhecem, se identificam, constroem e reconstroem seus valores e trajetória, mantendo o caráter social da população.

O patrimônio moderno não escapa a esse princípio. Nascido do movimento pós-revolução industrial no século XX, é um estilo que conta com elementos simples para criar composições singulares com designs inéditos, por vezes excêntricos, priorizando formas geométricas sem muita ornamentação que formavam um conjunto exorbitante. Um grande exemplo de patrimônio moderno é o Sydney Opera House (Figura 1), patrimônio construído em concreto pré-moldado que transpassou o ser uma casa de arte e apresentações e representa toda uma cultura e população, adquirindo valor imensurável.

Figura 1: Sydney Opera House.



Fonte: Tripadvisor⁴.

⁴ Disponível em << https://www.tripadvisor.pt/Attraction_Review-g255060-d257278-Reviews-Sydney_Opera_House-Sydney_New_South_Wales.html >>. Acesso em fevereiro de 2021.

Choay (2006) chega a questionar se tanta preocupação com a conservação de patrimônios do passado enrijeceria a criação e a inovação. Entretanto ela mesma contrapõe constatando que a não preservação privaria a sociedade de memórias e raízes essenciais à inovação.

No Brasil, a prática de preservar o patrimônio arquitetônico e urbanístico surgiu na década de 30, impulsionado pelo movimento modernista. Tanto o conceito de conservação de patrimônio quanto o modernismo surgiram no continente europeu e foram adaptados à realidade brasileira, marcada pela geografia e natureza tropical, pela diversidade e ocorrências culturais. Quando uma edificação é decretada oficialmente como patrimônio mundial, tal título exige um programa de manutenção efetivo que preservem suas características originais e garantam sua vida útil. Entretanto, não é essa a realidade do Brasil uma vez que, de modo geral, as intervenções só são realizadas quando já há um estado avançado de degradação.

No que tange a esse tema, duas cidades relevantes são Brasília, capital do Brasil localizada no Distrito Federal (DF) e o Porto, cidade localizada na beira do Rio D'ouro no norte de Portugal. Esta é importante pois é um dos mais antigos centros europeus, possui o centro histórico declarado como patrimônio mundial pela UNESCO (Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura) com maior parte de suas obras construídas em pedra e, por ser tão antigo, é um país que possui mais o hábito e a tradição da manutenção. Já aquela é uma cidade jovem, com apenas 60 anos, única cidade moderna a ser considerada patrimônio da humanidade e, com sua juventude, vem também uma grande quantidade de edificações em concreto armado. Essa é uma contraposição interessante para a pesquisa.

Até a década de 70 acreditava-se que esse era um material extremamente durável e que a ferrugem em seu interior estaria protegida, pois o concreto não perdia suas propriedades físicas, mecânicas e químicas. Mas, como já foi dito, a única constante é a mudança e a prática da construção civil tem comprovado que, ao contrário do imaginado, o concreto não possui durabilidade ilimitada e o aumento no número de casos de deterioração comprova esse caso. Mesmo as estruturas que foram bem projetadas e executadas começaram a apresentar níveis de degradação, mostrando que a manutenção é essencial. A partir desse momento, a discussão sobre

durabilidade e vida útil ganhou maior relevância ainda, transparecendo a importância de programas de manutenção para alcançar e prolongar sua vida útil.

Sabendo disso, a necessidade de inspeção para o levantamento das manifestações patológicas é cada vez mais citada em normas e guias. Técnicas e metodologias para avaliar o grau de integridade de uma edificação, principalmente no caso de patrimônios, são essenciais, ainda que a estrutura tenha sido muito bem projetada e construída. São diversas as metodologias existentes e já disseminadas no ramo da construção civil para isso. Incluir a confiabilidade e a probabilidade de falha nessas metodologias aumenta o grau de segurança, deixando-as mais confiáveis e próximas da realidade, uma vez que as incertezas são consideradas. E é justamente essa a proposta do presente trabalho.

1.1 Objetivos

Nesse tópico serão apresentados os objetivos do presente trabalho.

1.1.1 Objetivo Geral

Proposição do Método Acoplado Integridade e Segurança: Método MAIS, metodologia para a avaliação e conservação de edificações em concreto armado, com foco em patrimônios modernos construídos em concreto armado, baseado na avaliação probabilística do seu grau de integridade e de segurança. A originalidade na formulação consiste na parametrização na coleta de dados, que otimiza a velocidade da inspeção; na proposta de utilização de modelo de integridade diferenciado; e na sua vinculação com a segurança através da utilização de índices de confiabilidade proposto em norma internacional.

1.1.2 Objetivos Específicos

A seguir serão expostos os objetivos específicos da pesquisa:

- Definição do modelo de integridade e da escala mais adequada para o método;
- Aplicação da metodologia proposta em patrimônios localizadas no Porto (PT) e em Brasília (BR);

- Aplicação da metodologia via uso de software e via cálculos probabilísticos programáveis em computadores de pequeno porte;
- Obtenção do grau de integridade;
- Obtenção grau de risco, local e global da estrutura;

1.1.3 Justificativa e Hipótese

Todos os países possuem sítios de interesse local e mundial que devem ser preservados. Nem sempre os patrimônios recebem a devida atenção e ficam sujeitos ao abandono. Certos países já possuem intrinsecamente a cultura da manutenção predial que proporciona o aumento da vida útil e permanência da boa aparência. Todavia isso não é uma regra e, com manutenção ou não, acidentes podem ocorrer, mas claro que sem esse cuidado o risco aumenta, como aconteceu com o viaduto localizado na região central de Brasília (Figura 2) em 2018.

Figura 2: Queda de viaduto na região central de Brasília.



Fonte: Globo⁵.

Tal fato elucidado que é curioso como um viaduto, nem sempre visto como um legado relevante, é também um patrimônio e influencia diretamente na percepção da cidade e seus habitantes.

⁵ Disponível em << <https://g1.globo.com/df/distrito-federal/noticia/2020/02/06/desabamento-de-viaduto-do-eixo-em-brasilia-completa-2-anos-relembre.ghtml>>>. Acesso em abril de 2019.

Outro evento que evidencia a importância do patrimônio mundial foi o ataque ao World Trade Center, localizado em Nova York (Figura 3) no dia 11 de setembro de 2001. Tal evento marcou o inconsciente coletivo e o sentimento de surpresa e incredulidade mexeu não só com a população novaiorquina, como a mundial. Olhar para Nova Iorque e não ver as torres gêmeas, ainda que em foto, balançou a população mundial.

Figura 3: World Trade Center.



Fonte: BBC⁶

Portanto, levando-se em consideração a importância dos Patrimônios Mundiais e de sua conservação, é pertinente uma metodologia para avaliar o risco que os patrimônios apresentam de ruir. Essa metodologia deve ser aplicada de maneira prática e objetiva, de modo que a influência do profissional seja a mínima possível.

⁶ Disponível em: << <https://www.bbc.com/portuguese/internacional-52329424> >>. Acesso em junho de 2021.

A hipótese adotada pelo trabalho é que o Método MAIS é aplicável e confiável, sendo mais próximo da realidade quando comparada à outras metodologias já existentes. Isto posto, o próximo tópico vai melhor conceituar e debater sobre os patrimônios mundiais e sua importância.

O patrimônio é o legado recebido do passado, vivido no presente e transmitido ao futuro, sendo fonte de vida e inspiração para a sociedade, tornando-se ponto de referência e identidade de um povo. Por ser um legado global devido à sua importância e história, o patrimônio mundial é pertencente a todos os povos do mundo, independente de qual território onde está localizado, cuja proteção toda a comunidade internacional deve cooperar.

2. PATRIMÔNIOS MUNDIAIS

Os patrimônios mundiais são monumentos, áreas ou regiões que são considerados de fundamental importância para a sociedade por representar imenso valor histórico. A UNESCO (2008) classifica-os como cultural ou natural. A cartilha sobre patrimônio mundial do IPHAN - Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional - (2008), categoriza-os e define-os como monumento, conjunto ou lugar, conforme os tópicos seguir:

- “Monumentos: obras arquitetônicas, de escultura ou pinturas monumentais, elementos ou estruturas de caráter arqueológico, inscrições, grutas e grupos de elementos, que tenham um Valor Universal Excepcional desde o ponto de vista da história, de arte ou de ciência;
- Conjuntos: grupos de construções, isoladas ou reunidas, cuja arquitetura, unidade e integração à paisagem tenham um Valor Universal Excepcional desde o ponto de vista da história, da arte ou da ciência;
- Lugares: obras do homem ou obras conjuntas do homem e da natureza assim como as áreas, incluídos os lugares arqueológicos que tenham um Valor Universal Excepcional desde o ponto de vista histórico, estético, etnológico ou antropológico”.

(IPHAN, 2008)

Compreende-se que obras feitas pelo homem, em conjunto ou não com a natureza, que tenham um valor único do ponto de vista histórico, artístico ou científico são considerados patrimônios culturais.

A mesma cartilha define patrimônio natural em três tópicos:

- “Monumentos naturais constituídos por formações físicas e biológicas ou por grupos de tais formações que tenham um Valor Universal Excepcional do ponto de vista estético ou científico;
- Formações geológicas e fisiográficas e as zonas estritamente delimitadas que constituem o habitat de espécies animais e vegetais ameaçadas, que tenham um Valor Universal Excepcional do ponto de vista estético ou científico.

- Lugares naturais ou as zonas naturais estritamente delimitadas, que tenham um Valor Universal Excepcional desde o ponto de vista científico, da conservação ou da beleza natural”.

(IPHAN, 2008)

Portanto, não significa que o patrimônio natural deve ser ausente de contato ou interferência humana, entretanto, o foco dessa preservação é natural. Os bens que respondam total ou parcialmente às definições acima (patrimônio cultural e natural) são considerados patrimônios mistos. No presente trabalho, o foco será dado no patrimônio cultural, especificamente em monumentos.

2.1 A Importância da Conservação do Patrimônio

Desde os primórdios o homem sente a necessidade de fazer perdurar no tempo todos os objetos que lhe possam ser úteis, fazendo reparos quando necessário. O mesmo acontece com os edifícios. De modo geral o valor histórico e cultural de um edifício não é reconhecido no princípio, sendo ele mantido apenas por sua utilidade ou por representar algo ou instituição na época: apenas nessas situações fazia sentido gastar verba e mão-de-obra para conservá-lo (Luso, Lourenço e Almeida, 2004).

A palavra patrimônio originou-se da palavra *pater* em latim, que significa pai ou paterno. O patrimônio significava, como ainda é, os bens de herança que são transmitidos dos pais para filhos e, com o passar do tempo, esse significado estendeu-se aos bens de grupos sociais. Segundo Murguia e Yassuda (2007), passar bens para gerações futuras também era uma maneira de passar conhecimento e um desses grupos sociais que se destacava, principalmente na idade média, por possuir vários objetos de alto que representavam a fé cristã valor era a Igreja. A aristocracia feudal também se destacava na preocupação em preservar seus bens, pois projetavam em seus castelos e em outras representações um sentido de símbolo de continuidade da sua imponente e linhagem. Todavia nota-se que esses dois grupos sociais faziam atenção à preservação com finalidade de benefício próprio.

Outrora havia a preocupação - e também os recursos - para a construção de monumentos que fossem ficar para a história em prol da coletividade, para as próximas gerações, uma vez que muitas vezes os próprios monarcas e operários participantes dessa criação não veriam essa obra concluída, já que ela poderia durar séculos e, mesmo assim, seguiam seguros da importância dessa construção e davam continuidade às obras não iniciada por eles, muito menos que seriam terminadas por eles. Havia um propósito maior: o de deixar um legado. Isso mostra que acreditavam em algo que transcende o plano material que traria benefícios à comunidade. Era uma maneira de lembrá-la que há algo invisível e maior, que une e representa um povo. Essa foi a motivação de uma das maiores obras (e mistérios de construção) do planeta: as pirâmides do Egito (Figura 4).

Figura 4: Pirâmides do Egito.



Fonte: Hipercultura⁷

Atualmente encontramos-nos em ressaca da Idade Média, que foi uma era de muita pobreza e escassez que durou entre 500 D.C. e 1400 D.C, até que surge o renascimento, marcando o início do seu fim. Como já dito no item 0, o universo funciona como um pêndulo, com seus fluxos e

⁷ Disponível em: << <https://www.hipercultura.com/piramides-antigo-egito/> >>. Acesso em julho de 2020.

refluxos, ciclicamente. Essa escassez provocou um apego à matéria e ao conforto, que é supervalorizada, era em que vivemos atualmente, trazendo benefícios e malefícios. Nenhuma outra época na história recente sofreu tantas transformações tão profundas e tão rápidas quanto a atual.

Paradoxalmente isso provocou um aumento na preocupação em preservar e revitalizar patrimônios artísticos, culturais e históricos da humanidade, movimento que surge no começo do século XX. A volatilidade dos tempos modernos e o modo como tudo é descartável e substituível fez com que o homem tivesse maior necessidade de se apoiar no que é perdurável, o que inclui os patrimônios. Por isso mesmo não é coincidência que essa mudança de mentalidade na política cultural ocorresse primeiramente no século XX, pois nenhuma outra época sofreu tantas transformações mais profundamente e rapidamente quando a atual no que tange à política, ao social, à economia e à cultura, o que tornou os problemas humanos mais complexos, dinâmicos e interdependentes.

Levando em consideração a jovem idade da república brasileira e da sua mais jovem ainda capital, é natural que o entendimento da necessidade de preservação tenha surgido no exterior, mais precisamente na Europa, até mesmo porque o velho continente possui um número maior de monumentos. Enquanto já na década de 1930, com a Carta de Atenas (item 2.3.1), os primeiros trabalhos destacando a importância da conservação do patrimônio foram publicados por lá, Brasília ainda era uma ideia longínqua.

Castelos, palácios, monumentos e bairros antigos que antes eram importantes e conhecidos por suas funções específicas, as vezes construídos para estes fins, ficaram estagnados. Pergunta-se então o que fazer com tais patrimônios uma vez que o mundo sofreu transformações e suas funções foram modificadas ou, muitas vezes, até mesmo suprimidas. Tal fato torna-se claro em monumentos que antes possuíam uma função comum à sociedade e que hoje já não apresentam razão para conservá-los como um todo, como por exemplo os moinhos de grão presentes em diversas ribeiras de Portugal (Figura 5). Esse conjunto encontra-se bastante ameaçado e é de nossa responsabilidade não apenas impedir que tais sítios virem ruínas, mas também utilizá-los e adaptá-los aos tempos modernos respeitando seu biotipo e tipologia.

Percebendo essa necessidade de atualização devido à alta velocidade do estilo de vida da sociedade, os conceitos e práticas da teoria da conservação também vem se renovando. A conservação contemporânea transferiu o foco do objeto em si para o observador, abrangendo questões mais subjetivas podendo chegar ao que tange a ética. Ou seja, o foco saiu do aspecto físico e foi para o aspecto intangível/imaterial do patrimônio cultural.

Tal mudança nada mais é que justa, uma vez que a cultura afeta diretamente e indiretamente não apenas fisicamente uma cidade, mas também seus aspectos relacionados à comunicação, dinâmica, relacionamentos e até mesmo economia.

Figura 5: Ruína de moinhos em pedra na ilha de São Miguel - Açores (PT).



Fonte: Discover Azores⁸.

A manutenção ou reconstrução, total ou parcial, principalmente de monumentos que personalizam a história de uma cidade ou nação pode ser uma maneira de autoafirmação já que é vital para a população possuir e valorizar sua identidade. Essa afirmação é reforçada no seguinte trecho de *As Orientações Técnicas para Aplicação da Convenção do Patrimônio Mundial*:

⁸ Disponível em: << <https://www.discover-azores.com/pt/os-antigos-moinhos-em-sao-miguel/> >>. Acesso em junho de 2021.

“O patrimônio cultural e natural faz parte dos bens inestimáveis e insubstituíveis não só de cada país, mas de toda a humanidade. A perda, por degradação ou desaparecimento, de qualquer desses bens eminentemente preciosos constitui um empobrecimento do patrimônio de todos os povos do mundo. Pode-se reconhecer, com base nas respectivas qualidades notáveis, um valor universal excepcional a certos elementos do referido patrimônio que, por essa razão, merecem ser muito especialmente protegidos contra os perigos cada vez maiores que os ameaçam”

(UNESCO, 2008).

O patrimônio moderno em geral ainda possui uma idade jovem de vida. Isso significa que, com gerenciamento e manutenção corretas, sua vida útil pode ser estendida em anos, quiçá séculos.

2.2 Um Breve Histórico

No princípio o objetivo com a conservação era apenas atender às necessidades humanas, não sendo reconhecido como uma obra de valor. Segundo Luso, Lourenço e Almeida (2004) a atividade de restauro tal qual é conhecida hoje teve início nos séculos XVIII e XIX, sendo que antes dessa data intervenções e alterações já ocorriam, entretanto, não se pode dizer que eram restaurações conforme é entendido atualmente. Com o decorrer da história a arquitetura foi acompanhando-a e modificando-se, trazendo consigo novas técnicas de construção, estilos de concepção e decoração.

As novas técnicas, instrumentos e conhecimentos em arquitetura eram aplicados sobre os já existentes sem cuidados e sem preservação da originalidade, como se fossem enxertos, resultando em obras sem distinção entre presente e passado. São vários os exemplos de obras que foram alteradas posteriormente devido à caprichos dos reis, visando apenas deixá-las mais modernas ou simplesmente com o estilo que agradava à monarquia da época. Exemplifica-se citando o Mosteiro de Alcobaça - Portugal - que no Século XII era o único exemplo precoce da arte gótica em Portugal. Supõe-se que a fachada original era simples tanto nas linhas quanto na decoração e durante o século XVIII foi modificada para o estilo barroco com detalhes manuelinos, mais ornamentada (LUSO, LOURENÇO E ALMEIDA, 2004).

Figura 6: Mosteiro de Alcobaça no final do século XVIII e atualmente, respectivamente.



Fonte: a) Luso, Lourenço e Almeida (2004)



Fonte: b) História de Portugal⁹

Vale reafirmar que os grandes monumentos levam anos e às vezes séculos para ficarem prontos, passando por diferentes fases da história e construção, sofrendo alterações de projeto e execução. Um exemplo é a Sagrada Família de Barcelona, na qual seu projeto teve início em 1866, e construção em 1882, seguindo o estilo neogótico do arquiteto Francisco Lozano¹⁰. Após um pequeno período, houve desentendimentos com os promotores da obra o que desencadeou que, por fim, Antoni Gaudí¹¹ assumisse a sua arquitetura. Em 1889 Gaudí propôs mudar o projeto para uma arquitetura monumental e inovadora. Tal obra está em andamento até os dias de hoje.

Enfim uma tendência surge na Itália, a chamada *restauração arqueológica*. Tal restauração indica que inovações não devem ser introduzidas a não ser que sejam para excluir elementos que foram introduzidos num período seguinte por vontade dos mandantes da época. Retirava-se quaisquer ornamentos ou partes de épocas posteriores, visando deixá-lo conforme sua originalidade, em seu aspecto primitivo. Durante esse processo os monumentos eram estudados e analisados de modo a perceber como eram utilizados originalmente.

⁹ Disponível em: << <http://www.historiadeportugal.info/mosteiro-de-alcobaca/>>>. Acesso em dezembro de 2018.

¹⁰ Arquiteto espanhol, nascido em 1828 e falecido em 1901. Foi membro do que atualmente é conhecida como Real Acadèmia Catalana de Belles Arts de Sant Jordi.

¹¹ Arquiteto conhecido como o maior representante do modernismo catalão, Antoní Gaudí (1852 – 1926) possui um estilo bastante individual e único.

Exemplifica-se o restauro arqueológico com o Anfiteatro de Arles, localizado na França. Construído em I d.C. foi refúgio para a população arliense que construiu casas em seu interior e elevou duas torres de entrada, transformando-o em uma cidade fortificada e, no começo do século XIX, ocorreu o seu restauro, conforme Figura 7. Atualmente esse anfiteatro é considerado Patrimônio da Humanidade pela UNESCO.

Outro exemplo de restauração arqueológica é o Coliseu (Figura 8), maior anfiteatro já construído localizado em Roma, que durante séculos foi utilizado como pedreira.

Figura 7: Anfiteatro de Arles.

a) Início do século XIX.



Fonte: Cossio (1999).

b) Atualmente.



Fonte: Ebay¹².

Segundo Riviera (1997) houve reparos em que sua estrutura e anéis externos foram consolidados de modo a evitar sua ruína, já que não estavam seguros. Entretanto suas características foram respeitadas, inclusive deixando visíveis fendas e aberturas, dando aspecto instável ao monumento. Pelo respeito ao valor histórico e estético, priorizando o monumento arqueológico

¹² Disponível em << <https://www.ebay.es/itm/324159443211> >>. Acesso em abril de 2019.

sem lhe atribuir nenhuma utilização funcional e intervindo somente por razões culturais, esses podem ser considerados restauros modernos.

Figura 8: Coliseu



Fonte: Superinteressante¹³.

A teoria da conservação e restauro ganha um novo personagem com Ludovic Vitet (1802 – 1873), arquiteto e político francês que foi o primeiro Inspetor Geral dos Monumentos. Ludovic promove a ideia de que o arquiteto além de ter conhecimentos sobre história da arte, deve realizar o estudo arqueológico do edifício para que, a partir de suas ruínas, possa reconstituí-lo para que coincida com seu estado primitivo mais puro. Para ele, a restauração consistia em deixar o edifício em um “estado de plenitude que poderia nunca ter existido” (LUSO, LOURENÇO E ALMEIDA, 2004).

No mesmo período surge John Ruskin (1819 – 1900), escritor e crítico de arte britânico, que ia contra as ideias do francês. Ele considerava alterações nas edificações “mentiras arquitetônicas” e que obras do passado deveriam permanecer intactas. Defendia a manutenção constante de

¹³ Disponível em << <https://super.abril.com.br/mundo-estranho/o-que-foi-o-coliseu-de-roma/> >>. Acesso em dezembro de 2018.

modo a evitar futuros restauros. Influenciados por esse crítico, surgiu então o Movimento Anti-Restauro na Inglaterra. Posteriormente Ruskin reconhece a necessidade da restauração em casos específicos e apenas estruturalmente, pois “mais vale uma muleta do que um membro perdido” (RIVIERA, 1997).

Já o arquiteto e professor italiano Camillo Boito (1836 – 1914) apoia a ideia de que acrescentos de épocas posteriores testemunham a história do monumento e, portanto, também devem ser preservados, dando maior valor histórico ao monumento. Assim como Ruskin, defendia a ideia de manutenção constante e, nos casos em que a intervenção fosse necessária, deve-se fazê-la de modo que seja bem diferenciada a obra antiga, além de registrá-las com a data e descrição da intervenção, indo contra os restauros que falsificavam os monumentos. Este é atualmente chamado de *restauro filológico*.

Esses pensadores e ideias, que são discutidos até os dias atuais, foram essenciais para dar início à discussão sobre a conservação de patrimônios. Então, com a evolução da história e em decorrência das guerras, viu-se uma necessidade de rediscutir esses conceitos relativos à preservação de monumentos históricos, principalmente na Europa onde havia grande quantidade de obras a serem mantidas e reconstituídas, de modo a estabelecer regras aceitas internacionalmente. Criou-se então os encontros e congressos para discutir tais temas, surgindo também as chamadas Cartas Patrimoniais.

2.3 Cartas Patrimoniais

As cartas patrimoniais são documentos fundamentalmente publicadas por órgãos internacionais que possuem caráter indicativo ou, no máximo, prescritivo (Kühl, 2010). São frutos de uma discussão de um determinado momento e constituem base deontológica para as várias profissões envolvidas na preservação. Por serem textos concisos com caráter indicativo, não sendo receituários de fácil utilização a serem seguidos e não possuírem caráter normativo, devem ser estudadas, reinterpretadas e adaptadas para as realidades locais.

Ao longo do tempo diversos encontros sobre o assunto ocorreram e diversas cartas escritas. A seguir cita-se algumas dessas cartas:

- Carta de Atenas (1931);
- Carta de Veneza (1964);
- Carta de Burra (1979, revisada em 1999);
- Carta e Declaração de Amsterdã (1975);
- Carta de Florença – Jardins Históricos (1981);
- Carta de Washington – Carta para a Conservação de Cidades Históricas e Áreas Urbanas (1987);
- Carta para a proteção e administração do patrimônio Arqueológico (1990);
- Carta sobre Patrimônio Vernáculo Construído (1999).

Três dessas cartas foram selecionadas para serem abordadas a seguir.

2.3.1 Carta de Atenas – 1931

Carta de Atenas foi o documento resultante da Conferência de Atenas, organizada pelo International Museums Office (IMO)¹⁴, em 1931 na Grécia. Pela primeira vez um documento internacional derivado de um congresso onde vários profissionais da área se reuniram foi publicado. Nesse documento constatou-se que, apesar da diversidade de casos e das diferentes soluções possíveis, globalmente havia uma tendência em abandonar as reconstituições integrais de monumentos e evitar seus riscos através de uma manutenção regular e permanente. Ou seja, institucionalizou-se a nova visão de que reconstruir não era mais a melhor opção, mas sim manter a edificação, preservando também sua história.

Sobre a valorização dos monumentos, recomenda-se ainda “o respeito, na construção dos edifícios, pelo caráter e a fisionomia das cidades, sobretudo na vizinhança de monumentos antigos cuja envolvente deve ser objeto de cuidados particulares. Também alguns conjuntos e certas perspectivas particularmente pitorescos, devem ser preservadas” (CARTA DE ATENAS, 1931). Ou seja, não basta apenas manter o edifício funcionando, devido à sua importância o monumento deve também ser harmônico com o seu entorno e vice-versa.

¹⁴ Inaugurado em 1926 por decisão da Liga das Nações, teve sede em Paris, na França. Deixou de existir em 1946.

Interessante destacar que já nessa carta a utilização sensata de tecnologias modernas para manter os monumentos são bem-vindos, em especial o concreto armado, material esse que era grande novidade da época.

Segundo Petzet e Zieseimer (2004), no Congresso de Atenas sete resoluções principais foram feitas e chamadas de “Carta del Restauo”. Em tradução livre, foram as seguintes resoluções:

- 1- Organizações internacionais de restauração em nível operacional e consultivo devem ser estabelecidas;
- 2- Os projetos de restauração propostos devem ser submetidos às críticas de especialistas a fim de evitar erros que causem perda de caráter e valores históricos para as estruturas;
- 3- Os problemas de preservação de sítios históricos devem ser resolvidos pela legislação a nível nacional para todos os países;
- 4- Os locais escavados que não estão sujeitos a restaurações imediatas devem ser enterrados para proteção;
- 5- Técnicas e materiais modernos podem ser usados no trabalho de restauração;
- 6- Os locais históricos devem receber proteção sob custódia;
- 7- Fazer atenção ao entorno de sítios e monumentos históricos.

Por isso a Carta de Atenas possui valor histórico, influenciando o ramo da construção civil, a sociedade e governantes. Foi o pontapé inicial para uma nova e significativa cadeira de estudo.

2.3.2 Carta de Veneza – 1964

Documento a ser usado como referência para todos os países que possuem monumentos e lugares históricos, contém diretrizes fundamentais sobre a sua conservação. A Carta de Veneza foi redigida no II Congresso Internacional de Arquitetos e Técnicos de Monumentos Históricos, realizado em Veneza de 25 a 31 de maio de 1964.

Após a Carta de Atenas em 1931, esta foi a oportunidade de evoluir no assunto, visando definir melhor os princípios envolvidos e ampliar o seu âmbito neste novo documento. Um erro comum é considerar a Carta de Veneza ultrapassada ou substituída por outros documentos devido à sua

idade. Nenhuma outra carta foi feita para substituí-la, de fato, os documentos posteriores podem ser considerados como integrativos à Carta de Veneza (Kühl, 2010).

Um ponto a destacar da Carta de Veneza é a ênfase dado não só ao monumento em si, mas também ao testemunho histórico contemplado nele. O Artigo 1 já expõe tal fato, ao dizer:

“A noção de monumento histórico engloba a criação arquitetônica isolada bem como o sítio rural ou urbano que testemunhe uma civilização particular, uma evolução significativa ou um acontecimento histórico. Esta noção estende-se não só às “grandes” criações, mas também às obras modestas que adquiriram com o tempo um significado cultural”.

CARTA DE VENEZA, 1964.

Nota-se que nessa carta o foco no momento de determinar se um imóvel pode ser considerada patrimônio ou não são da edificação em si, considerando apenas seu tamanho ou esplendor, mas passa para o entorno e as vivências que lá se passaram, começando a levar o foco para o observador.

Por priorizar o testemunho histórico, diz também que esta carta está pautada no *restauração filológica* que dá maior atenção aos aspectos documentais das obras e às marcas deixadas pelo tempo, na qual não se objetiva, de modo algum, voltar a obra a seu estado original.

2.3.3 Carta de Washington – 1987

Adotada na Assembleia Geral do ICOMOS em 1987, realizada em Washington (EUA), essa é a Carta Internacional para a salvaguarda das Cidades Históricas. Ela inicia destacando que todas as vilas do mundo expressam a diversidade das sociedades e presenciaram momentos célebres e, portanto, todas as cidades são históricas. Esse reconhecimento é elogiável pelo simples fato de ser verdade.

Entretanto, a publicação foca nas cidades que representam “valores próprios das civilizações urbanas tradicionais”, uma vez que derivado do movimento de urbanismo e industrialização, elas estão mais sujeitas à degradação e deterioração. Esse conceito é muito subjetivo, a depender da visão do observador. Por isso uma bela equipe de profissionais deve avaliar essas situações.

O objetivo da carta é preservar o caráter histórico das cidades e seus monumentos junto com seus elementos materiais e espirituais, em especial:

- “- a forma urbana definida pela malha fundiária e pela rede viária;*
- as relações entre edifícios, espaços verdes e espaços livres;*
- a forma e o aspecto dos edifícios (interior e exterior) definidos pela*
- sua estrutura, volume, estilo, escala, materiais, cor e decoração;*
- as relações da cidade com o seu ambiente natural ou criado pelo homem;*
- as vocações diversas da cidade adquiridas ao longo da sua história;*
- qualquer ataque a estes valores comprometeria a autenticidade da cidade histórica”.*

CARTA DE WASHINGTON, 1987.

Nota-se que essa carta tem preocupação não só com os monumentos, mas também com o urbanismo da cidade. A carta ressalta ainda que um estudo multidisciplinar, envolvendo profissionais de diversas áreas como arqueologia, história, arquitetura, sociólogos e economistas, deve ser feito para salvaguardar as cidades históricas e, conseqüentemente, seus monumentos. Essa tendência do estudo multidisciplinar confirma-se atualmente.

Recomenda-se também, por exemplo, que a circulação de veículos deve ser restrita no interior de bairros históricos, sendo que as zonas de estacionamentos devem ser pensadas para não os degradar. Outra recomendação é a de envolver os cidadãos desde a idade escolar através de um programa de informação geral para incluir a sociedade na sua conservação.

2.4 Organizações Consultivas do Comitê Intergovernamental de Proteção do Patrimônio Mundial, Cultural e Natural

Durante a Convenção sobre a Proteção do Patrimônio Mundial, Cultural e Natural realizada em Paris em 1972, a UNESCO oficializou a parceria do Comitê com três organizações não-governamentais que teriam o papel de consultoria e de incentivar a preservação dos patrimônios. São as seguintes organizações:

- Centro Internacional para o Estudo da Preservação e Restauro de Bens Culturais (ICCROM);
- Conselho Internacional de Monumentos e Sítios (ICOMOS);
- União Internacional para a conservação da Natureza e seus Recursos (UICN).

Considera-se significativo discorrer sobre essas organizações que tiveram e ainda tem papel fundamental no impulsionamento do tema.

2.4.1 Centro Internacional para o Estudo da Preservação e Restauro de Bens Culturais – ICCROM

Conhecido como ICCROM, O Centro Internacional para o Estudo da Preservação e Restauro de Bens Culturais é uma Organização Não-Governamental (ONG) sediada em Roma, na Itália. Criada em 1956 pela UNESCO, incentivada pela necessidade de discutir sobre o tema na Europa pós-segunda guerra mundial, objetiva promover a conservação de todas as formas de patrimônio cultural em todo o globo. Deve, portanto, executar programas de documentação, investigação e assistência técnica para alavancar a preservação de monumentos.

As Orientações Técnicas para Convenção do Patrimônio (UNESCO, 2008) cita que o papel específico deste órgão é:

“ser o parceiro prioritário em matéria de formação para os bens do Patrimônio Mundial possuidores de valor cultural, assegurar o acompanhamento do estado de conservação dos bens do Patrimônio Mundial com valor cultural, analisar os pedidos de Assistência Internacional apresentados pelos Estados parte e dar o seu contributo e o seu apoio às atividades de reforço das competências”.

UNESCO, 2008.

Sendo assim, o ICCROM possui como foco os patrimônios culturais e objetiva espalhar informação e conhecimento sobre sua preservação através de cursos e divulgando material.

2.4.2 Conselho Internacional de Monumentos e Sítios - ICOMOS

O Conselho Internacional de Monumentos e Sítios, doravante ICOMOS, é uma organização não governamental com sede em Paris, fundada no ano de 1965. Entretanto, desde 1962 durante o Congresso de Veneza, já se considerava a criação de uma organização especializada em

monumentos. Diferente do ICCROM, que tem em pauta todas as formas de patrimônio cultural, o ICOMOS foca em monumentos.

Segundo as Orientações Técnicas para Aplicação da Convenção do Patrimônio Mundial (UNESCO, 2008), o seu papel consiste em “fomentar a aplicação da teoria, metodologia e técnicas científicas à conservação do patrimônio arquitetônico e arqueológico”. O ICOMOS tem a função ainda de avaliar os bens propostos para inscrição na Lista do Patrimônio Mundial, assegurar o acompanhamento do estado de conservação desses patrimônios.

As Orientações supracitadas (UNESCO, 2008) afirma que a função específica desse órgão é avaliar os bens propostos para inscrição na lista de Patrimônios Mundiais e assegurar o acompanhamento do estado de conservação desses bens. Ademais devem analisar os pedidos de assistência internacional apresentados pelos Estados, contribuir e apoiar as atividades de reforço das competências. Portanto o ICOMOS possui a missão de promover a conservação, a proteção, o uso e a valorização de monumentos, sendo por isso um órgão de grande relevância para o tema conservação de patrimônios.

2.4.3 União Internacional para Conservação da Natureza – UICN

Criada em 1948, reúne governos, ONGs e cientistas de todo o globo e possui sede em Gland na Suíça. Busca dar suporte e apoio para conservar a integridade e diversidade da natureza, além de certificar-se que qualquer uso dos recursos naturais é equitativo e sustentável.

De acordo com a cartilha da UNESCO (2008), o papel específico deste órgão é “avaliar os bens propostos para inscrição na Lista do Patrimônio Mundial, assegurar o acompanhamento do estado de conservação dos bens do Patrimônio Mundial possuidores de valor natural, analisar os pedidos de Assistência Internacional apresentados e dar o seu contributo e apoio às atividades de reforço das competências”.

Focando no patrimônio natural, o órgão faz coleta e análise de dados, pesquisas e projetos de campo para defender o meio-ambiente. Com o passar dos anos, a união foi se atualizando e hoje já não mira apenas na ecologia, mas também a sustentabilidade, contando atualmente com cerca de 16.000 cientistas. Portanto este é um órgão que foca nos patrimônios naturais.

2.4.4 Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN)

No quadro nacional, o órgão responsável pela conservação do patrimônio cultural brasileiro é o Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), uma autarquia federal vinculada ao Ministério da Cultura. Criado em 1937, no período de Getúlio Vargas, inicialmente era chamado de Serviço do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (SPHAN) até que, em 1946, foi promovido de serviço para virar instituto.

De acordo com o IPHAN (2021), o artigo 216 da Constituição Brasileira de 1988 define o patrimônio cultural brasileiro como formas de expressão, modos de criar, fazer e viver. Nesse contexto estão incluídos também “criações científicas, artísticas e tecnológicas; as obras, objetos, documentos, edificações e demais espaços destinados às manifestações artístico-culturais; e, ainda, os conjuntos urbanos e sítios de valor histórico, paisagístico, artístico, arqueológico, paleontológico, ecológico e científico”. Portanto está incluído aqui não bens tangíveis e intangíveis desde a pré-história, passando pelo período pré-colonização, colonização até os dias atuais.

Segundo a Portaria Nº 92 (2012), O IPHAN possui a missão de coordenar e promover o processo de preservação do patrimônio cultural brasileiro, garantir o direito à memória, fortalecer identidades e, assim, contribuir para o desenvolvimento socioeconômico do país. Sua finalidade é “preservar, proteger, fiscalizar, promover, estudar e pesquisar o patrimônio cultural brasileiro”.

Responsável também pelo tombamento de bens, qualquer cidadão pode solicitar tal ato de uma propriedade ao órgão.

2.5 Conceitos Fundamentais

Ainda hoje, conceitos importantes sobre a conservação são mal compreendidos e indevidamente utilizados até pelos profissionais da área. Sabendo que seus termos ainda são confundidos, uma explicação sobre cinco conceitos será dada a seguir. São os seguintes: conservação, restauração e renovação (considerados os três pilares da preservação), relocação e reversibilidade.

2.5.1 Conservação

De acordo com a Carta Internacional sobre Conservação e Restauração, conservar significa manter, preservar (PETZET E ZIESEMER, 2004). Dessa maneira, o principal pilar da preservação consiste na conservação: conservar é o princípio supremo da preservação, devendo ter prioridade absoluta sobre as outras medidas. Entretanto, infelizmente na prática tal princípio não é garantido pois frequentemente partes do monumento são renovadas e, até mesmo, reconstruídas enquanto outras partes do mesmo prédio estão deterioradas.

Toda medida tomada para preservar os componentes de um monumento são considerados trabalhos de conservação. São exemplos dados como um desses trabalhos: reforço no suporte de uma imagem, tonificar uma camada de pintura, fazer injeções de reforço estrutural, estar atento à manutenção hidráulica e elétrica, entre outros. Para um monumento histórico a conservação inclui todas as medidas que evite enfraquecimentos e/ou apodrecimentos e preservem a estrutura e arquitetura da edificação.

Apesar de tamanha importância, ainda hoje é difícil distinguir quais medidas são consideradas de conservação e quais não são. É importante frisar que medidas de reparação que vão além da proteção e manutenção dos componentes já existentes de um monumento já não são consideradas conservação. Petzet e Ziesemer (2004) exemplificam que preencher um buraco, seja uma fissura de uma pintura ou uma fenda numa muralha da cidade, não é considerado um trabalho de conservação a não ser que tais preenchimentos sejam necessários para manutenção. Em compensação, retirar um componente do monumento que o põe em perigo é conservação.

Segundo a Carta de Veneza (1964), deve-se fazer uso de materiais atuais para preservar ao máximo a originalidade do monumento. Onde técnicas tradicionais de conservação mostram-se ineficientes, deve-se fazer uso da tecnologia moderna disponível, pois através dessas técnicas a sua preservação pode ser alcançada. Tal eficácia pode ser provada tanto cientificamente quanto empiricamente.

2.5.2 Restauração

Segundo a Carta Internacional sobre Conservação e Restauração (Petzet e Ziesemer, 2004), restaurar significa reestabelecer. De fato, apesar de usual, não deve ser tratado como o trabalho

principal no trabalho de preservação, mas sim como uma medida a ser diferenciada da conservação, sendo o segundo pilar da preservação.

Prova de que a restauração deve ser atípica encontra-se no seu Artigo 9º, que diz:"

“O restauro é uma operação que deve ter caráter excepcional. Destina-se a conservar e a revelar os valores estéticos e históricos dos monumentos e baseia-se no respeito pelas substâncias antigas e pelos documentos autênticos (ou seja, pela antiguidade e pela autenticidade). O restauro deixa de ter significado quando se levanta a hipótese de reconstituição; numa reconstituição, qualquer trabalho complementar, que se reconheça indispensável por causas estéticas ou técnicas, fica condicionado a uma conciliação ou harmonia arquitetônica (continuidade) e terá que acusar a data da intervenção (modernidade). O restauro será sempre precedido e acompanhado de um estudo arqueológico do monumento”
CARTA DE VENEZA, 1964.

Entende-se que enquanto a conservação de um elemento existente de um monumento intenta, quando necessário, estabilizar áreas individuais e eliminar fontes de perigo que ameaçam diretamente algum elemento, a restauração preocupa-se com a aparência geral do monumento como evidência histórica e artística.

A Carta de Veneza (1964) cita ainda que, nos casos em que há necessidade de instalar elementos para resolver falhas existentes, eles devem integrar-se harmoniosamente no contexto geral da obra, devendo ser distinguida das partes originais a fim de preservar a veracidade do documento de arte e de história.

Na introdução da Carta Internacional, Petzet e Ziesemer (2004) chamam atenção para a chamada *restauração analítica*, que consiste na simultânea preservação e exibição todas as partes históricas do monumento, ao menos em parte. É como querer mostrar a fachada barroca feita sobre uma obra renascentista, cujo portão de entrada é gótico. A proteção dessas evidências históricas é importante e necessária, mas a pesquisa por esses traços não pode se tornar o objetivo da restauração. Durante uma restauração, esse descobrimento de camadas pode ficar registrado em relatórios fotográficos para consulta futura.

2.5.3 Renovação

Na Carta Internacional para Conservação e Restauração, Segundo Petzet e Ziesemer (2004), renovar significa tornar algo novo outra vez. Em conjunto com a restauração e a conservação, esse é o terceiro método difundido na preservação, apesar de não ter sido mencionado na Carta de Veneza. Com a renovação, objetiva-se alcançar a unidade estética de um monumento no sentido de dar uma aparência hodierna nas partes mais externas e visíveis do monumento.

Nesse sentido, o artigo 11 da Carta de Veneza diz sobre restauração, podendo também ser aplicado à renovação:

“Os contributos válidos das diferentes épocas referentes à edificação de um monumento devem ser respeitados, não sendo a unidade de estilo um objetivo a alcançar no decurso de um restauro. Quando um edifício contiver vários estilos sobrepostos, a eleição de um desses estilos em detrimento dos restantes não se justifica, a não ser excepcionalmente, na condição de que os elementos eliminados tenham pouco interesse, que o conjunto de elementos subjacentes a esse estilo constitua um testemunho de alto valor histórico, arqueológico ou estético, e que o seu estado de conservação seja aceitável. O julgamento sobre as eliminações a efetuar não pode depender unicamente da opinião do autor do projeto”

CARTA DE VENEZA, 1964.

Portanto essa linha de pensamento defende que quando há mais de um estilo em um monumento, deve-se preservá-los sem dar prioridade a um estilo em detrimento a outro. Pode-se resumir dizendo que, para a preservação, a conservação é sempre necessária, a restauração é justificada em certas circunstâncias, mas a renovação não é compatível com as demandas básicas da preservação.

A grande desvantagem da renovação é que necessariamente ela é precedida de uma boa limpeza, no mínimo, da superfície do monumento, removendo completamente camadas. Isso acarreta uma perda irreversíveis no valor histórico. Apesar dos contratempos citados, quando bem executados e respeitando os princípios da conservação, a renovação pode sim ser considerada um trabalho de preservação. Isso ocorre pois há situações específicas em que a renovação é a única opção

possível para preservar aquela peça histórica. A renovação é justificada quando há um efeito de conservação ao monumento, ou quando as outras duas opções não são válidas.

2.5.4 Relocação

Faz parte do âmbito da preservação de monumentos a sua relocação. Em casos específicos, pode ser considerada a possibilidade de desmontar e reconstruir o monumento ou, quando possível, transferi-lo com o auxílio de uma prancha e equipamentos específicos. Mas, assim como consta nas Cartas Internacionais sobre Conservação e Restauração (2004), com toda transferência de monumento há uma perda de relacionamento minucioso com seu ambiente e arredores.

A Carta de Veneza cita, em seu Artigo 7º que:

“O monumento é inseparável da História – da qual é testemunho – e também do meio em que está situado. Por conseguinte, a deslocação do todo ou de uma parte de um monumento não pode ser tolerada, a não ser no caso em que a salvaguarda do monumento o exija, ou quando razões de um grande interesse nacional ou internacional o justifiquem”.

CARTA DE VENEZA, 1964.

Sendo assim, nota-se que a relocação deve ser a última opção, admitida apenas quando o monumento não pode ser preservado no local original, se não há outra maneira de protegê-lo, se sua demolição não pode ser evitada.

Ainda de acordo com a Carta de 2004, há alguns critérios a serem seguidos para a relocação de um monumento. O requisito crucial é a garantia de que ele possa ser movido, mantendo ao menos a maior parte de seus componentes originais, quando não possível preservá-lo por completo. O segundo requisito é, ao fazer a transferência de um edifício histórico, deve-se ao menos garantir que seja realocado num local com topografia compatível.

Um exemplo de relocação que causou grande alvoroço e nos promoveu imagens interessantes ocorreu na Turquia, na qual transferiram de local a Tumba de Zeynel Bey (Figura 9). De acordo com a reportagem do The Guardian (2017), tal monumento celebra o filho guerreiro de um governante turco que morreu em uma batalha contra os Otomanos seis séculos atrás. Apesar da câmara funerária ter desaparecido há anos, a obra feita de pedra possui uma arquitetura única na Turquia e é um exemplo da influência da Ásia central.

Figura 9: Relocação da Tumba de Zeynel Bey.



Fonte: The Guardian (2017)¹⁵.

Originalmente o monumento situava-se em Hasankeyf, uma antiga cidade localizada ao longo do Rio Tigre, onde grande parte dos monumentos históricos estão a correr risco de ser submerso devido à construção de uma barragem. Críticos dizem que tal obra ameaça uma área arqueológica e o património cultural local, além do ecossistema local. Manifestantes contra a construção da barragem definem tal relocação como um ato lascivo contra o património cultural.

2.5.5 Reversibilidade

Apesar de não ter citado nenhuma vez na Carta de Veneza (1964), este termo se tornou comum entre os profissionais da preservação. A ascensão deste fato ocorre pois as alterações e adições posteriores nos monumentos também carregam fatos e história, devendo em princípio ser aceitos como parte do tecido histórico, uma vez que a sua história é resultado de um processo irreversível.

A reversibilidade no trabalho de preservação pode ser entendida como a opção de poder restabelecer a condição anterior do monumento. Tal critério pode ser útil na hora de fazer julgamentos em favor de soluções mais inofensivas, o que muitas vezes significa opções mais inteligentes, a fim de evitar danos irreversíveis ao monumento.

¹⁵ Disponível em << <https://www.theguardian.com/world/2017/may/12/historic-turkish-tomb-zeynel-bey-moved-hydroelectric-dam> >>. Acesso em julho de 2019.

Como diz Petzet e Ziesemer (2004), pode-se supor que um certo grau de reversibilidade é garantido quando o trabalho de reparo é limitado a apenas o necessário, sendo mais provável que seja reversível que a renovação de componentes inteiros usando técnicas modernas. Portanto, conclui-se que as medidas de preservação julgadas como reversíveis devem ser priorizadas em detrimento das irreversíveis.

Até aqui já foi explanado a importância filosófica e sociológica de um patrimônio. Sabendo que o presente trabalho foca em patrimônios modernos, nada mais justo que fazer uma breve divagação sobre esse movimento arquitetônico, que será feito no próximo tópico.

2.6 Arquitetura Modernista

O modernismo emergiu primeiramente no começo do século XX. Por volta dos anos 1920, proeminentes figuras do movimento como Le Corbusier¹⁶, Walter Gropius¹⁷ e Ludwig Mies van der Rohe¹⁸ já tinham estabelecido suas reputações. Entretanto foi após a Segunda Guerra Mundial que ela ganhou popularidade como uma solução de atender às necessidades básicas da população. Vem daí a sua relação com o social.

Os alunos da escola de design da Bauhaus aprenderam a pureza das formas e a projetar para um mundo melhor com Walter Gropius. A frase “forma segue a funcionalidade” foi amplamente usada quando os princípios modernistas eram discutidos. Muitos projetos dessa era modernista foram inicialmente bem-sucedidos e por isso o estilo foi associado a prosperidade e progresso, com forte senso de responsabilidade social. Um exemplo considerado de sucesso é o Byker Housing (Figura 10) de Ralph Eskrine em Newcastle.

¹⁶ Charles Edouard-Jeanneret-Gris (1887 – 1965). Arquiteto, urbanista, escultor e pintor de origem suíça e naturalizado francês em 1930, foi um dos primeiros arquitetos a se tornar celebridade, teve grande contribuição para a popularização da arquitetura modernista, tendo inclusive obras em Brasília.

¹⁷ Arquiteto alemão. É considerado um dos principais nomes da arquitetura do século XX, tendo sido fundador da Bauhaus, escola que foi um marco no design, arquitetura e arte moderna e diretor do curso de arquitetura da Universidade de Harvard

¹⁸ Ludwig Mies van der Rohe (27 de março de 1886 - 17 de agosto de 1969) é um dos arquitetos nascido em Aachen, Alemanha, a carreira de Mies começou no estúdio de Peter Behrens, onde trabalhou ao lado de dois outros grandes nomes do modernismo, Walter Gropius e Le Corbusier. Por quase um século, o estilo minimalista de Mies provou ser muito popular; seu famoso aforismo "menos é mais" ainda é amplamente proferido, mesmo por aqueles que desconhecem sua origem.

Figura 10: Byker Housing.



Fonte: Chroniclelive¹⁹

No Brasil, no início do século XX, o movimento neocolonial era o grande destaque da arquitetura, no qual o culto à tradição e a busca pela perfeição estética com forte presença de ornamentos estavam fortemente presentes. A arquitetura anda lado a lado com a arte e com o contexto histórico-social em que se vive. Sabendo disso, a semente da arquitetura moderna foi o movimento modernista, que começou a surgir na Europa no fim do século XIX, mas foi durante o século XX que ele viveu seu ápice.

Conforme diz Sandoval (2014), a arquitetura modernista foi criando força em virtude da crescente industrialização que ocorria devido à revolução industrial tanto no Brasil quanto na Europa, do incremento no comércio com grandes centros manufatureiros do exterior, das disputas territoriais vividas com as Grandes Guerras que fortificou o movimento migratório impulsionando

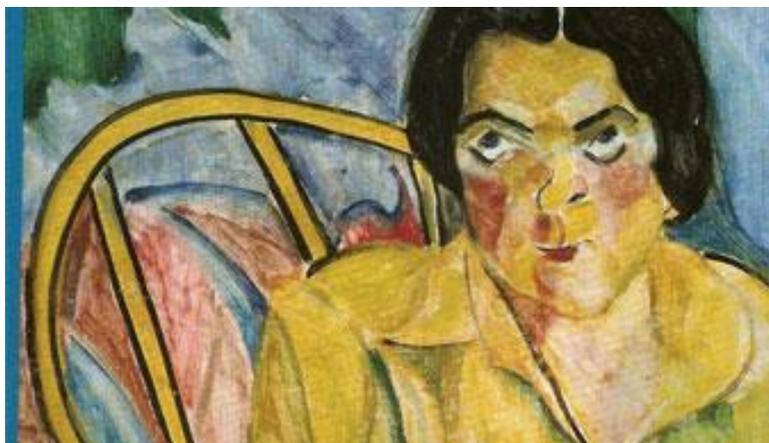
¹⁹ Disponível em <<<https://www.chroniclelive.co.uk/news/north-east-news/gallery/inside-story-how-newcastles-byker-15187009>>>. Acesso em outubro de 2021.

a troca de ideias e de cultura, além da urbanização que o Brasil vivia na altura e dos avanços das tecnologias construtivos e do advento de novos materiais a arquitetura modernista foi criando força. Essa nova maneira de pensar rompeu com sua condição histórica e propôs racionalizar soluções dentro de uma visão objetiva.

Assim algumas cidades se tornaram polos de ideias e informações. Diversas formas de arte como artes plásticas, literatura e cinema buscavam uma ruptura não com o velho, o antigo e o tradicional como ocorria na Europa, mas sim uma ruptura com a colonização, com as velhas “escolas” e modos de fazer que não satisfaziam mais a sociedade, pelo menos não a sua elite intelectual.

Foi em 1917, em São Paulo, que ocorreu o marco inicial do Movimento Modernista Brasileiro, com a exposição de pinturas de Anita Malfatti. Suas obras eram inovadoras e, por isso mesmo, causaram bastante polêmica pois retratavam principalmente os personagens marginalizados dos centros urbanos, o que causou grande desaprovação das classes sociais mais conservadoras por não apresentar aquela pintura que remetia à perfeição como era de costume. A Figura 11 mostra uma de suas obras.

Figura 11 – Obra “A Boba” de Anita Malfatti



Fonte: Universia Brasil²⁰

²⁰ Disponível em < <http://noticias.universia.com.br/tempo-livre/noticia/2012/10/11/974151/conheca-boba-anita-malfatti.html> > . Acesso em

A Semana de Arte Moderna no Teatro Municipal de São Paulo que ocorreu em fevereiro de 1922 consolidou o movimento modernista. Nela artistas brasileiros de diversas áreas buscavam ideias inovadoras de modo que perfeição estética tão apreciada no século XIX era considerada ultrapassada. Eles almejavam sua própria liberdade de expressão. Por não seguirem o padrão já estabelecido anteriormente, houve bastante incompreensão e insatisfação do público em geral.

Sendo assim, a arquitetura modernista se caracterizou pelas suas formas simplificadas, geométricas e desprovidas de adornos. Prezava-se pelo material em sua essência e, por isso, optou-se usualmente pelo concreto, especialmente por este apresentar amplas possibilidades plásticas e oferecer grande potencial construtivo.

No Brasil as primeiras obras de arquitetura modernistas surgiram apenas quando o movimento de industrialização iniciou. Apesar de os brasileiros terem propagado esse estilo, a influência de arquitetos estrangeiros que apoiavam esse movimento revolucionário foi essencial. A “Casa Modernista” (Figura 12), considerada a primeira residência com arquitetura modernista no Brasil, foi projetada em 1927 e construída em 1928 tem autoria do arquiteto russo Gregori Warchavchik²¹ (1896–1972).

Figura 12 – Fachadas da “Casa Modernista”



Fonte: Página do museu da cidade do governo de São Paulo²²

²¹ Arquiteto nascido em 1896 em Odessa, Ucrânia. Em 1923 chegou ao Brasil e lecionou na Escola Nacional de Belas Artes. Faleceu em São Paulo em 1972.

²² Disponível em < <http://www.museudacidade.sp.gov.br/modernista-imagens.php> >

A “Casa Modernista” foi construída para abrigar o próprio arquiteto. Sua obra gerou diversas discussões entre a sociedade em geral, acarretando até na publicação de artigos em jornais e revistas com opiniões contras e favoráveis. Alguns dizem que sua obra era tão impactante que, para conseguir a aprovação da prefeitura de SP para construí-la, o arquiteto apresentou no projeto uma fachada elaborada e ornamentada e, ao concluir a obra, alegou falta de recursos. Outros que a ausência de verbas era real.

Segundo Kiefer (1998), em 1930, a convite do governo, Lucio Costa²³ assumiu a direção da Escola Nacional de Belas Artes (ENBA) para que implantasse o ensino de arquitetura moderna no país. A revolução no ensino que Lucio Costa causou gerou uma reação tão forte que o seu mandato não durou muito mais de um ano. Contudo, a semente modernista já estava implantada nos jovens estudantes da época.

Entretanto, apesar da falta de aceitação da elite, o governo brasileiro, que na época vivia o período do Estado Novo comandado por Getúlio Vargas, continuou disposto a investir na arquitetura modernista. Para a construção da nova sede do Ministério da Educação e Saúde (MES), que antes funcionava junto com os outros ministérios, o ministro Gustavo Capanema recusou o projeto vencedor de um concurso pois a proposta ganhadora era a neocolonial com decoração marajoara, porém ele ansiava por um prédio inovador e moderno.

Em seguida, ele novamente convidou Lucio Costa para projetá-lo com o auxílio de uma equipe que contava com a participação de Oscar Niemeyer. Em 1936 Le Corbusier²⁴ foi chamado para auxiliar como consultor no projeto dessa edificação e, dessa maneira, uma equipe vanguardista da arquitetura modernista brasileira foi formada.

Então, em 1937, o edifício do Ministério da Educação e Saúde (Figura 4) atual Palácio Capanema começou a ser construído e em 1945 foi inaugurado. Atualmente essa obra é considerada um marco da maioridade da arquitetura modernista brasileira. Ainda segundo Kiefer (1998), depois

²³ Arquiteto, Urbanista e Professor filho de brasileiros e nascido em 1902 na França. Estudou em Newcastle (Inglaterra) e em Montreux (Suíça). Em 1917 voltou para o Brasil e foi um dos grandes responsáveis pela construção de Brasília. Faleceu em 1998.

²⁴ Charles Edouard Jeanneret-Gris, arquiteto, urbanista e pintor de origem suíça e naturalizado francês. É considerado a figura mais importante da arquitetura moderna. Nasceu em 1887 e faleceu em 1965.

do sucesso do MES (Ministério da Educação e Saúde) a arquitetura modernista se tornou o estilo oficial das obras públicas, já que o governo brasileiro visava a modernização do país. Tirando essa visão romântica, a velocidade da obra, as influências políticas e a verba também foram fatores decisivos para essa decisão.

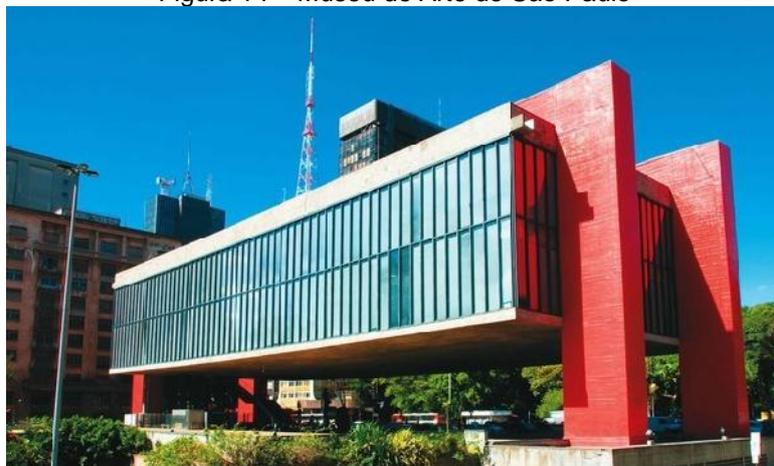
Figura 13 – Ministério da Educação e Saúde: marco na arquitetura modernista brasileira



Fonte: Kiefer (1998)

Outro marco na história da arquitetura modernista brasileira foi a construção da nova sede do Museu de Arte de São Paulo, o MASP (Figura 14), inaugurado em 1968. Projetado pela arquiteta Lina Bo Bardi e idealizado por Assis Chateaubriand, o MASP é um grande retângulo de 30 m x 70 m, contém dois pisos e é suspenso a 8 m do chão, no qual cada andar possui 2.100 m²

Figura 14 – Museu de Arte de São Paulo



Fonte: Guia da semana²⁵

Conforme já citado, entre as décadas de 30 e 40 do século passado a Arquitetura Modernista brasileira criou forças. Porém, o seu ápice veio com a construção de Brasília durante a década de 50 e 60. Nascida das mãos do arquiteto Oscar Niemeyer e do traçado urbanístico do Lúcio Costa, a cidade é a representação da Arquitetura Modernista, não só no Brasil, mas também mundialmente. Mais sobre ela será dito no tópico 6.2.

O fato é que a arquitetura modernista veio para ficar estando cada vez mais presente na sociedade, e seus problemas e adversidades são mais visíveis atualmente, bem como também a sua beleza, como reafirma o SESC Pompéia (Figura 15).

Figura 15: SESC Pompéia em São Paulo.



Fonte: Casacor²⁶

²⁵ Disponível em < <http://www.guiadasemana.com.br/sao-paulo/turismo/museus/museu-de-arte-de-sao-paulo-masp>>

²⁶ Disponível em << <https://casacor.abril.com.br/arquitetura/arquitetura-moderna/>>>. Acesso em outubro de 2021.

3. CONSERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO EDIFICADO DO PONTO DE VISTA DE INTEGRIDADE E SEGURANÇA

A conservação de um patrimônio está intimamente relacionada à sua segurança e integridade. Aqui serão abordados tópicos que são essenciais para melhor avaliação e entendimento de metodologias, que são ferramentas para contribuir na preservação de imóveis como incertezas, confiabilidade, probabilidade de falha e matriz de risco.

3.1 Incertezas

Assegurar os critérios de segurança e um desempenho satisfatório da estrutura respeitando as condições econômicas de modo a não tornar o projeto inviável é o grande desafio da segurança estrutural. Entretanto, essa não é uma tarefa de fácil realização pois há um grande número de incertezas a ser levado em consideração na análise da estabilidade estrutural. A segurança absoluta de uma edificação não pode ser garantida pelos profissionais da área devido ao alto grau de incertezas das variáveis utilizadas em um projeto estrutural.

A incapacidade de prever cargas futuras e de conhecer com rigor as propriedades (mecânicas ou geométricas) dos materiais faz com que sejam utilizadas hipóteses simplificadoras para prever o comportamento da estrutura diante das ações atuantes, das condições ambientais, das limitações dos métodos numéricos e dos fatores humanos. Segundo Henriques (1998) a consideração dos dados experimentalmente obtidos na definição das dispersões das variáveis envolvidas no problema não é suficiente para eliminar as incertezas, uma vez que boa parte desses dados não representam integralmente essas variáveis e estão sujeitas a erros.

O desenvolvimento que vem ocorrendo no campo dos modelos de análise e da execução de obras cada vez mais arrojadas e de tipologias pouco correntes tem levado à implementação de metodologias de verificação de segurança baseada em conceitos probabilísticos, permitindo um tratamento global deste problema. Levar em consideração o índice de confiabilidade implica em levar em consideração as incertezas. Alves (2014) em seu trabalho cita que tais incertezas podem ocorrer devido à aleatoriedade dos fenômenos físicos, às incertezas estatísticas por inadequação ou por falta de dados e à gaps no modelo escolhido para representar a realidade. Várias dessas

incertezas são qualitativas, difíceis de quantificar e de prever, como por exemplo a deterioração dos materiais, parâmetros de desempenho, impactos ambientais, fatores humanos, experiência da mão-de-obra, tempo, entre muitos outros fatores. Portanto, é praticamente impossível definir todas as incertezas em um projeto estrutural ou de sua manutenção.

Segundo Melchers (1987 apud Henriques, 1998), em um projeto estrutural, as incertezas podem ser classificadas da seguinte maneira:

- Incerteza física: associa-se à inerente natureza incerta das propriedades mecânicas dos materiais, da geometria dos elementos, da variabilidade e simultaneidade das diversas ações possíveis etc. Esse tipo de incerteza pode ser controlado através de uma boa base de dados e do controle de qualidade pois, à princípio, essa incerteza não é conhecida, mas pode ser estimada baseada em observações de experiências anteriores.
- Incerteza na modelação: o modelo estrutural adotado na análise não é perfeito, sendo quase sempre uma aproximação à realidade pois há aproximações teóricas ao comportamento real dos materiais e na consideração nas ações atuantes. Este tipo de incerteza pode ser considerado através de uma variável que represente a relação entre a resposta prevista pelo modelo e a verdadeira resposta.
- Incerteza estatística: associa-se à inferência estatística, já que é a partir de um número limitado de dados que os parâmetros que caracterizam o modelo probabilístico são definidos. Nem sempre é possível obter dados estatísticos suficientes para a determinação dos parâmetros da variável em estudo;
- Incerteza devido à fatores humanos: como criaturas imperfeitas, durante os processos de documentação, dimensionamento, construção e utilização da estrutura o envolvimento humano leva ao aumento do grau de incerteza.

A essas incertezas pode-se acrescentar também o tempo, pois não é possível determinar com certeza a carga que a estrutura suportará ou qual será a resistência do material ao longo do tempo.

A tarefa da análise de incertezas é quantificá-la associando-as aos resultados encontrados, ajudando os profissionais da área a entender como a duvidosidade do modelo de entrada de dados impacta na imprecisão dos resultados encontrados, sendo possível saber a performance da modelagem (DU, 2005). Só através desse conhecimento é possível melhorar e mitigar os efeitos da incerteza ao escolher variáveis adequadas para o projeto. Ou seja, ao analisar o grau de confiabilidade de uma modelagem, sabe-se se ele é satisfatório e seguro. Portanto, nota-se que incerteza e o grau de confiabilidade estão intimamente relacionados.

3.2 Teoria de Confiabilidade

A confiabilidade é um campo que vem ganhando importância uma vez que a demanda tem aumentado tanto da parte de consumidores finais quanto das indústrias, sejam elas comerciais ou indústrias espaciais e de defesa. Ou seja, esse é um tópico que desperta interesse do público geral às empresas altamente especializadas. Kececioglu (2002) afirma que a teoria de confiabilidade provê as ferramentas teóricas e práticas através das quais a probabilidade e capacidade das partes, componentes, produtos e sistemas executam as funções requisitadas, em ambientes específicos para aquele determinado período de operação sem falhas pode ser especificado, previsto, testado e demonstrado.

Para estar em plena utilização, uma estrutura deve apresentar boas condições de funcionamento, conforto e segurança para os seus usuários. Falar em segurança significa dizer que a estrutura não irá se romper durante a sua vida útil, evitando perdas materiais e de vidas, o que é uma grande responsabilidade para os envolvidos. A análise da confiabilidade de uma edificação é uma das maneiras de determinar o grau de preservação dessa estrutura. Para tal, utiliza-se os dados disponíveis e, por mais sofisticados que sejam os modelos utilizados, as informações obtidas podem ou não refletir a realidade, então sempre existe uma probabilidade de falha. Dependendo da quantidade e da qualidade dos dados, essa probabilidade pode ser maior ou menor.

O principal objetivo dos métodos de análise de confiabilidade é obter a probabilidade de falha de um sistema, no caso deste trabalho, dos sistemas estruturais em concreto armado, levando em consideração as incertezas inerentes às variáveis envolvidas. Segundo Pantoja (2012), considera-

se falha quando a estrutura não atende ao objetivo pelo qual ela foi concebida por um determinado tempo específico. Sabendo que essa possibilidade de falha sempre existe, seja por erros de projeto, execução, material ou tempo, deve-se estar atento para evitar os prejuízos materiais, financeiros e de segurança que ocorrem com esse cenário. Sendo assim é essencial um controle para manter esse índice em níveis aceitáveis de segurança e economia.

Portanto, confiabilidade pode ser definida como a habilidade da estrutura em desempenhar a função para a qual foi projetada durante sua vida útil medindo a suas chances de violar um estado limite por falha ou por não satisfazer a um desempenho esperado (NEVES, 2004).

Segundo Vaz (2011), os métodos de projetar uma estrutura podem ser classificados segundo sua segurança e economia da seguinte maneira:

- Nível 0 – Método das Tensões Admissíveis: as cargas são tratadas similarmente e as tensões elásticas reduzidas por um fator de segurança. Utiliza-se apenas os valores médios das resistências como dado estatístico, não permitindo a determinação da probabilidade de falha;
- Nível 1 – Método Semi Probabilístico: são utilizados fatores parciais de segurança para majorar as solicitações e minorar as resistências. Tais fatores são aplicados aos valores das variáveis e, o resultado encontrado dessa aplicação, é utilizado como valor de cálculo. Esse método também é conhecido como método dos estados limites e é o utilizado pelas normas brasileiras de projetos estruturais. O nível de segurança é maior do que no método de Nível 0, mas também não permite a determinação da probabilidade de falha. Segundo este critério, a segurança das estruturas deve ser verificada em relação aos estados limites últimos, seja ele provocado por perda da capacidade resistente da estrutura, seja por solicitações dinâmicas.
- Nível 2 – Método Baseado em Confiabilidade: neste método são utilizados dados estatísticos completos das variáveis aleatórias. Para cada parâmetro incerto utiliza-se dois parâmetros (usualmente a médias e a variância) e uma unidade de

correlação entre esses parâmetros (geralmente a covariância) e, ao contrário dos métodos anteriores, a probabilidade de falha é controlada;

- Nível 3 – Projeto Ótimo Semi-Probabilístico: utiliza a probabilidade de falha da estrutura como medida de sua confiabilidade, sendo que a densidade de probabilidade das variáveis básicas é requerida. O nível de segurança é o mesmo do método de Nível 1, mas a economia no projeto é maior;
- Nível 4 – Projeto Ótimo Baseado em Confiabilidade: Combina o controle da probabilidade de falha do Nível 2 com a economia do método de Nível 3.
- Nível 5 – Projeto Ótimo Baseado em Risco: Fornece o projeto de risco total mínimo. O risco total é definido como o custo da construção + o custo de operação + o custo associado a cada modo de falha.

Apesar de serem classificados como métodos para projetar estruturas, tais níveis também podem ser aplicados para avaliá-las. Com as devidas adaptações, o presente trabalho encaixa-se numa avaliação nível 2.

Dizer que uma metodologia está baseada no critério da confiabilidade significa dizer que toda variável aleatória envolvida no problema deverá ser representada por uma distribuição de probabilidade correspondente, modelo matemático que relaciona um certo valor da variável em estudo com a sua probabilidade de ocorrência. No caso da manutenção de estruturas em concreto, primeiramente avalia-se a probabilidade de falha de seus componentes individualmente e, posteriormente, do sistema globalmente, representando o comportamento da estrutura. Dessa maneira, um índice de confiabilidade β é encontrado. Mais sobre o assunto será discutido no próximo tópico.

3.3 Confiabilidade na Segurança Estrutural

O caso fundamental ou problema básico da confiabilidade, no caso da engenharia de estruturas, segundo Melchers (2002), consiste em comparar o efeito de um carregamento (S) com uma resistência (R) de um elemento estrutural genérico ou de um conjunto de elementos. Em outras

palavras, como definido por Ang e Tang (1990), a confiabilidade é o modo de garantir que a capacidade seja superior à demanda ao longo da vida útil do sistema em análise.

De modo generalizado, a confiabilidade é a probabilidade de um produto realizar as funções desejadas durante um período específico de uso, operando em condições especiais, atendendo ou excedendo às expectativas do cliente. A probabilidade de falha P_f é o conjunto de realizações em que o efeito da carga S seja maior que a resistência R . Sendo R e S variáveis aleatórias descritas por distribuições de probabilidade e outros parâmetros estatísticos como média e desvio padrão, ela pode ser definida pela equação (1).

$$P_f = P(R \leq S) = P(R - S \leq 0) = P[G(R, S) \leq 0] \quad (1)$$

Ou seja, quando a capacidade de carga da estrutura R não resiste à solicitação, o resultado da equação é negativo e, graficamente, esse conjunto de realizações é denominado domínio de falha, podendo definir a probabilidade de falha como o somatório da probabilidade de todos os pontos pertencentes a esse domínio (PANTOJA, 2012). Tal valor é obtido através de integrações, resultando na equação (2).

$$P_f = P(R - S) \leq 0 = \int_{\Omega_F} f_R(R, S) d \quad (2)$$

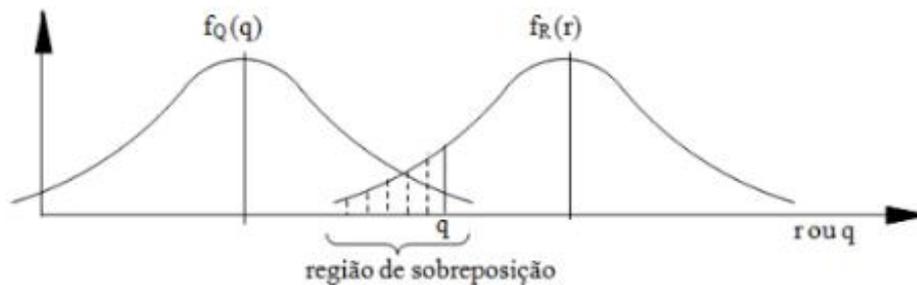
Entretanto, na prática, essa integração é difícil de ser realizada, uma vez que a maioria das variáveis aleatórias é correlacionada e possuem distribuições complexas, sendo praticamente impossível encontrar a probabilidade de falha. Sendo assim, uma alternativa é encontrar esse valor através do índice de confiabilidade.

O Gráfico 1 mostra graficamente como seriam essas distribuições envolvendo apenas duas variáveis, uma representa a demanda sobre o sistema (no caso, a carga S na estrutura) e a outra a capacidade do sistema (a resistência R da estrutura). Ambas as variáveis são aleatórias e, usa-se como parâmetro para elas:

- μ_S e μ_R : médias das solicitações e das resistências, respectivamente;
- σ_S e σ_R : desvios padrão das solicitações e das resistências, respectivamente;

- $f_S(s)$ e $f_R(r)$: funções densidade de probabilidade que utiliza as médias e os desvios padrão.

Gráfico 1: função densidade de probabilidade $f_S(s)$ e $f_R(r)$.



Segundo Alves (2014), a probabilidade de falha depende essencialmente de três fatores:

1. Posição relativa das duas curvas: conforme as curvas se distanciam, a área de interseção é reduzida, diminuindo a probabilidade de falha. Suas posições relativas são representadas pelas médias (μ) das duas variáveis;
2. Dispersão das duas curvas: quanto mais estreita for a curva, menor a área de sobreposição e menor a probabilidade de falha. A dispersão é caracterizada pelos desvios padrões (σ) das duas variáveis. Dessa maneira, quanto maior o controle de obra, de qualidade de material e de mão de obra, menores os desvios padrões e, conseqüentemente, mais delgada a curva e menor a área de sobreposição.
3. As formas das duas curvas: representadas pelas funções densidade de probabilidade $f_S(s)$ e $f_R(r)$.

Em um procedimento determinístico o objetivo de um projeto seguro é alcançado selecionando as variáveis de projeto de modo que a área de interseção entre essas duas curvas seja a menor possível. Convencionalmente tal objetivo é alcançado deslocando as posições das curvas através de coeficientes de segurança, implicando em aumento de custo. Uma melhor abordagem é levar em consideração os três fatores citados acima selecionando as variáveis de projeto de forma que

um risco aceitável seja atingido. Este é o fundamento do conceito de projeto baseado em probabilidade.

Tendo em vista que R e S são variáveis aleatórias normais e que há independência entre as variáveis, o problema pode ser resolvido analiticamente. Isto posto, a expressão de cálculo da probabilidade de falha é a apresentada na equação (3).

$$P_f = \Phi \left[-\frac{\mu_M}{\sigma_M} \right] = \Phi [-\beta] \quad (3)$$

Onde:

Φ : Distribuição densidade normal padrão acumulada;

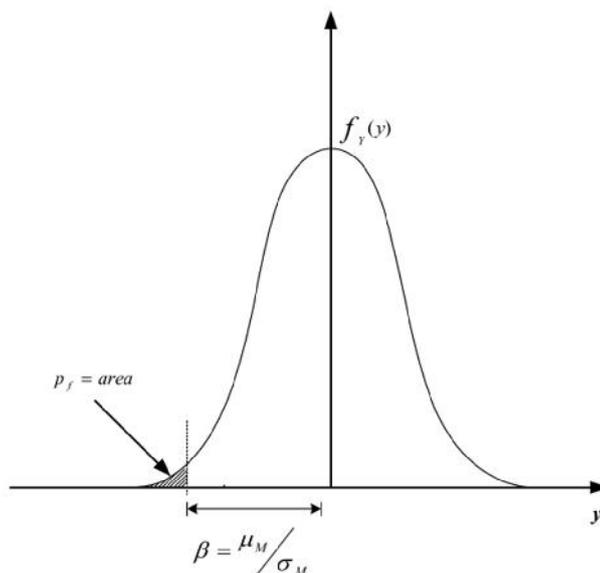
μ_M : média esperada $\rightarrow \mu_M = \mu_R - \mu_S$;

σ_M : desvio-padrão médio $\rightarrow \sigma_M = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}$;

β : índice de confiabilidade.

Apesar da Equação (3) ser válida apenas para variáveis aleatórias normais, sua relação também é utilizada de modo generalizado na confiabilidade estrutural (Beck, 2010). Sendo assim, no espaço normalizado de variáveis aleatórias, o índice de confiabilidade β é a menor distância da origem até ponto sobre a função de desempenho, como mostra o Gráfico 2.

Gráfico 2: índice de confiabilidade no espaço normalizado.



3.4 Análise de Confiabilidade e Probabilidade de Falha

A confiabilidade mede a probabilidade de a estrutura não violar um determinado estado limite (último ou de serviço) e, uma vez que a confiabilidade está intrinsecamente relacionada com a probabilidade de falha, é representada pela equação (4).

$$C = 1 - P_f \quad (4)$$

Onde:

C : Confiabilidade;

P_f : Probabilidade de falha

Na construção civil, a probabilidade de falha deve ser da ordem de 10^{-7} a 10^{-3} para ser considerada como aceitável (Pantoja, 2012). Du (2005) diz que modelos de análise são usados para prever as performances e comportamentos de um produto em projeto. Tal modelo, doravante chamado de função da performance, é representado pela equação (5).

$$Y = G(x) = G(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (5)$$

Onde:

x : dados (inputs);

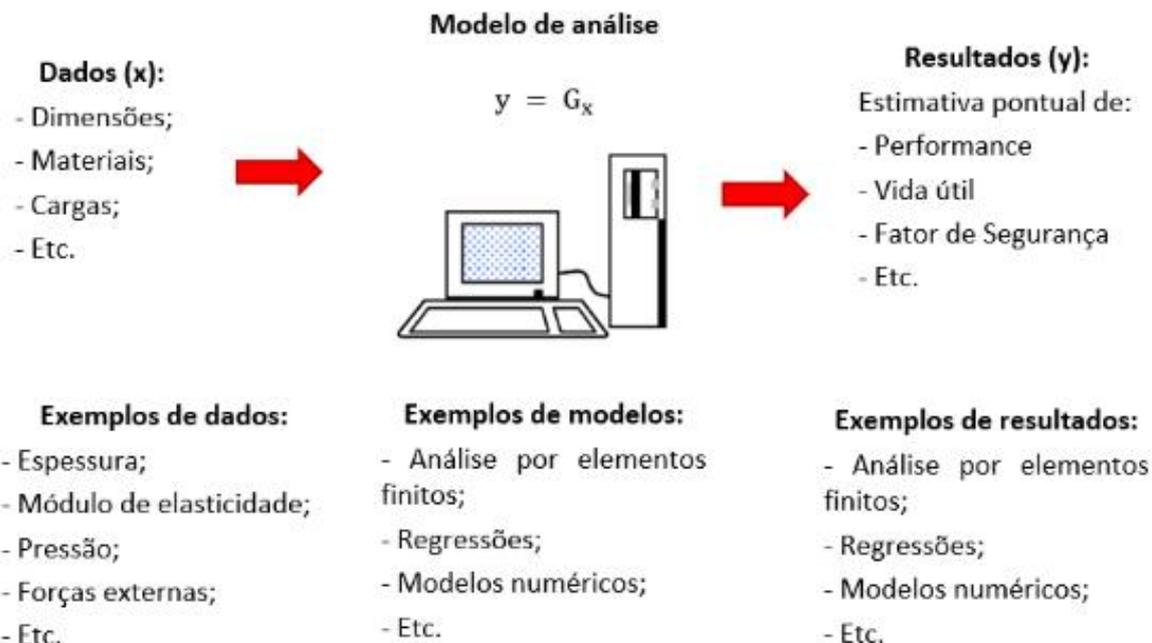
Y : resultados (outputs).

Tal equação revela a relação entre os dados colocados e os resultados. Dessa maneira, a incerteza presente nos dados terá influência nos resultados apresentados. Quantificar essa incerteza é essencial para gerenciar a confiabilidade do modelo. A Figura 16 representa esquematicamente esse modelo de análise.

Para melhor entendimento, considere agora um espaço generalizado com a distribuição das variáveis aleatórias de um problema. Nesse espaço, haverá uma região que concentra os pontos nas quais todas as exigências de projeto são atendidas. Consequentemente, haverá também uma

região na qual as exigências de projeto não são totalmente ou parcialmente atingidas. Tal fato ocorre devido às incertezas das variáveis do projeto. Associa-se então, intuitivamente, a probabilidade de falha à região complementar cujas exigências não são totalmente atendidas (PANTOJA, 2012).

Figura 16: Modelo de análise com incerteza nos dados.



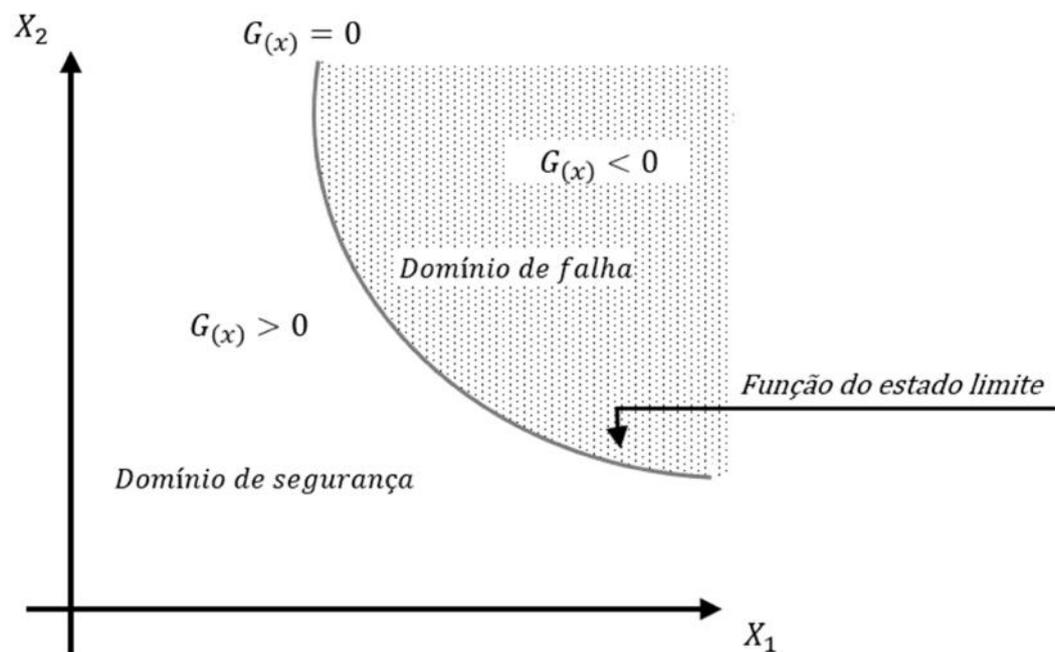
Fonte: Du (2005) adaptado pela autora.

Suponha uma realização qualquer pertencente ao espaço generalizado X , na qual uma determinada função $G(x)$ representa a resposta estrutural do sistema, de modo a determinar se essa realização pertence ou não ao conjunto de pontos satisfazem os requisitos de segurança do projeto, conforme Gráfico 3. A função $G(x)$ separa o espaço generalizado X em três domínios:

- $G(x) > 0$: todos os pontos satisfazem totalmente os requisitos de segurança do projeto;
- $G(x) < 0$: os pontos X não atendem total ou parcialmente os requisitos de segurança do projeto, levando a estrutura a um estado limite.

- $G(x) = 0$: fronteira entre as duas regiões, contendo os pontos que satisfazem aos requisitos de segurança do projeto. Tal região é denominada função do estado limite.

Gráfico 3: Domínios de segurança e de falha.



Sabendo que as variáveis aleatórias são representadas através de distribuições estatísticas convenientes, segundo o mesmo autor, a modelagem ideal requer uma função conjunta de densidade de probabilidade que represente todas as variáveis de projeto ao mesmo tempo. Entretanto, em problemas mais complexos com diversas variáveis aleatórias, é bastante difícil obter essa função.

Considerando que ao integrar uma função qualquer se encontra a área sob essa linha no plano cartesiano, ao integrar a função $G(x)$ encontra-se a área cujos pontos x não atendem aos requisitos exigidos. Portanto um processo de integração aplicado sobre o domínio de falha pode ser representado pela equação (6).

$$P_f = \int_{\Omega_F} f_x(x) d \quad (6)$$

Onde:

f_x : função conjunta de densidade de probabilidades;

Ω_F : domínio de falha caracterizado por $G(x) < 0$.

Realizar o cálculo dessa integral é uma das maiores dificuldades da abordagem da estatística de segurança devido à falta de informações. O valor P_f encontrado com essa integração geralmente é muito pequeno, tornando os modelos de simulação ineficientes. Uma alternativa é um método que utilize o índice de confiabilidade. Tal índice está inversamente relacionado com a probabilidade de falha, permitindo a avaliação do nível de segurança da estrutura. Ademais seu caráter adimensional permite comparar níveis de segurança de sistemas totalmente diferentes.

De acordo com Du (2005), os métodos de confiabilidade podem ser classificados de duas maneiras: baseada na matemática ou na física. A baseada na matemática é aquela em que os sistemas ou componentes são avaliados fundamentado em testes. Tais sistemas ou componentes são testados até que falhem e os dados são obtidos. Então uma análise estatística é utilizada para avaliar a confiabilidade do objeto desejado, permitindo quantificar o risco e aprimorar a confiabilidade. As variáveis utilizadas necessariamente estão relacionadas com o tempo. Essa análise possui caráter empírico e sua aplicação prática existe no ramo há muitos anos.

Já a confiabilidade baseada na física é relacionada ao estado limite do componente podendo ser modelado matematicamente com o auxílio de softwares, não sendo necessário o experimento. Então, equações são obtidas e utilizadas para fazer essa previsão, e as variáveis não necessariamente estão relacionadas com o tempo.

Alguns métodos de confiabilidade existentes são:

- Método SORM: Second Order Reliability Method;
- Método FORM: First Order Reliability Method;
- Simulação de Monte Carlo.

Mais detalhes sobre essas duas últimas metodologias serão expostos no item 4.1.2.

3.5 Gestão de Risco

A gestão de risco é um processo realizado por um conjunto de profissionais visando identificar, analisar, avaliar, priorizar, tratar e monitorar riscos negativos que podem afetar os objetivos, processos e resultados de um projeto, no caso da construção civil, de um imóvel. Está intimamente relacionada aos conceitos de incertezas, confiabilidade e probabilidades de falha, uma vez que risco é o efeito que esses conceitos têm sobre os objetivos de uma organização. Processos consistentes de gestão de risco podem ser aplicados em toda organização, em seus vários níveis, a qualquer momento, e é recomendada por minimizar o risco de uma atividade.

Mas, afinal, o que é o risco? Segundo ISO 31000 (ABNT, 2009), risco é o efeito da incerteza nos objetivos, isto é, são possíveis acontecimentos que podem ocorrer ou não (incertezas), e que, caso ocorram, podem impedir ou atrasar o objetivo final. O efeito é um desvio em relação ao resultado esperado, seja ele positivo ou negativo, e o objetivo pode ter os mais variados aspectos, como metas financeiras, de saúde ou de segurança.

Segundo essa mesma norma, o processo de gestão de risco é o apresentado na Figura 17 e as suas etapas são resumidamente explanadas a seguir.

a) Comunicação e consulta

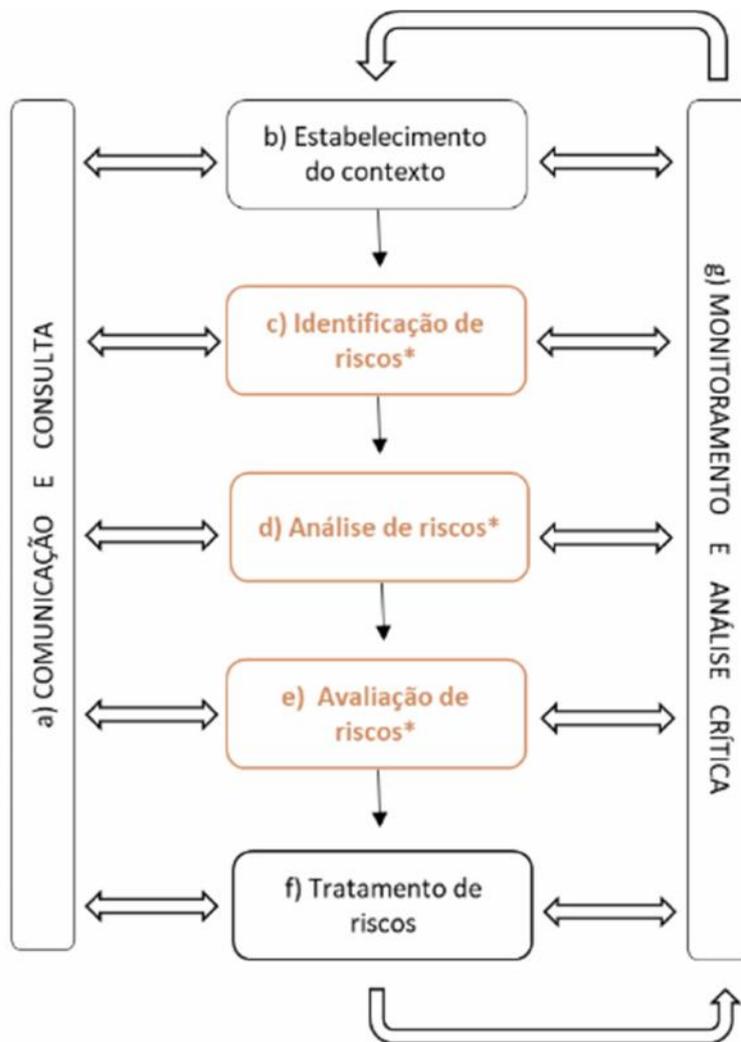
As partes interessadas no projeto, sejam elas internas ou externas, como por exemplo os diretores, clientes e colaboradores de uma empresa, devem estar a par e presentes em todas as etapas do processo. Desse modo, convém que os meios de comunicação sejam definidos na fase inicial. Essa boa comunicação auxilia na identificação dos riscos, a estabelecer o contexto apropriado além de evitar retrabalho.

b) Estabelecimento do contexto

Saber claramente e detalhadamente os objetivos, parâmetros, escopos e critérios, sejam eles externos ou internos, a serem adotados é o primeiro passo. Segundo o TRT 6 (2021), aqui a matriz de apetite de risco pode ser uma ótima ferramenta, que define o quanto a entidade está disposta a arriscar. Convém também definir as diretrizes de priorização do tratamento escolhido ao final do processo, para auxiliar na avaliação da resposta mais adequada para o tratamento dos riscos.

Sugere-se também definir as escalas pertinentes, como por exemplo a escala das probabilidades de um evento ocorrer, escala de relevância que o projeto tem para a atividade fim da instituição e a matriz de classificação de riscos.

Figura 17: Processo de gestão de risco.



* Processo de avaliação de risco

Fonte: NBR ISO 31000 (ABNT, 2009) adaptado pela autora.

c) Identificação de riscos

A identificação dos riscos e suas fontes, eventos, áreas de impacto, causas, consequências ou qualquer fator que os influenciem é realizada. Aqui propõe-se gerar uma lista abrangente de possíveis riscos que possam criar, aumentar, evitar, reduzir, acelerar ou atrasar o cumprimento

dos objetivos já traçados na *etapa b*. Algumas sugestões de técnicas para o levantamento de riscos são (TRT6, 2009):

- Coleta de informações individuais ou em grupo por meio de *brainstorming*;
- Utilização de diagramas como, por exemplo, diagrama de causa e efeito;
- Análise de registros históricos.

d) Análise de riscos

Após compreender quais são os riscos, aqui eles são desenvolvidos. São gerados os dados de entrada, seja através de uma profunda análise de material já existente, ou através do levantamento (*in loco* ou não) dos dados, que gerarão os resultados para a tomada de decisões.

Sua análise inclui a apreciação das fontes do risco e suas consequências positivas e negativas, consequências essas que podem ser expostas através de termos como impactos tangíveis e intangíveis, probabilidade e relevância. Convém também, nesta etapa, fazer a identificação dos controles já aplicados e sua eficiência. Essa análise pode ser realizada com diversos grau de detalhamento, a depender do risco, da finalidade da análise e dos dados disponíveis, podendo ser quantitativa, semiquantitativa, qualitativa, ou uma combinação destas.

e) Avaliação dos riscos

Com base nos resultados obtidos na análise do risco, os riscos são avaliados e a decisão tomada. Destaca-se que nessa etapa a comparação do nível de risco encontrado com os critérios previamente definidos deve ser feita e, assim, a necessidade do tratamento é considerada ou não.

Aqui uma análise *custo x benefício* por parte dos dirigentes é feita e convém que as decisões sejam tomadas de acordo com requisitos legais e regulatórios. Essa avaliação pode levar à resolução de que os controles já existentes atendem à demanda do cliente, ou que é necessária uma análise mais aprofundada e especializada dos riscos.

f) Tratamento de riscos

O tratamento de risco, que pode necessitar de conhecimento técnico especializado, envolve a seleção de uma ou mais opções para modificar e/ou diminuir esses riscos. Essa decisão envolve a

análise do *custo x benefício* da ação. Segundo a norma NBR ISO 31000 (ABNT, 2009), as opções existentes podem incluir os seguintes aspectos:

- Ação de evitar o risco ao se decidir não iniciar ou descontinuar a atividade que dá origem ao risco;
- Tomada ou aumento do risco na tentativa de tirar proveito de uma oportunidade;
- Remoção da fonte de risco;
- Alteração da probabilidade;
- Alteração das consequências;
- Compartilhamento do risco com outra parte ou partes (incluindo contratos e financiamento do risco); e
- Retenção do risco por uma decisão consciente e bem e embasada.

O TRT6 (2021) inclui ainda entre as opções:

- Evitar: ação para evitar totalmente o risco;
- Transferir o risco: compartilhar ou transferir uma parte do risco a terceiros;
- Mitigar: reduzir o impacto ou probabilidade de ocorrência do risco;
- Aceitar: aceitar ou tolerar o risco, não resultando em nenhuma ação específica.

g) Monitoramento e análise crítica

Essa etapa também deve estar presente durante todo o processo de análise e envolve a checagem ou fiscalização regulares, prioritariamente periódicas, mas também acessível para dar a resposta à um fato específico. É importante que as responsabilidades da equipe de monitoramento sejam previamente bem definidas. As finalidades do monitoramento e análise crítica incluem: garantir que os controles sejam eficazes; obter informações adicionais relevantes; analisar os eventos e mudanças, aprendendo com os sucessos ou fracassos e identificar riscos emergentes.

Dentro desse quadro de gestão de risco, uma ferramenta interessante a ser utilizada é a matriz de risco, abordada no próximo tópico.

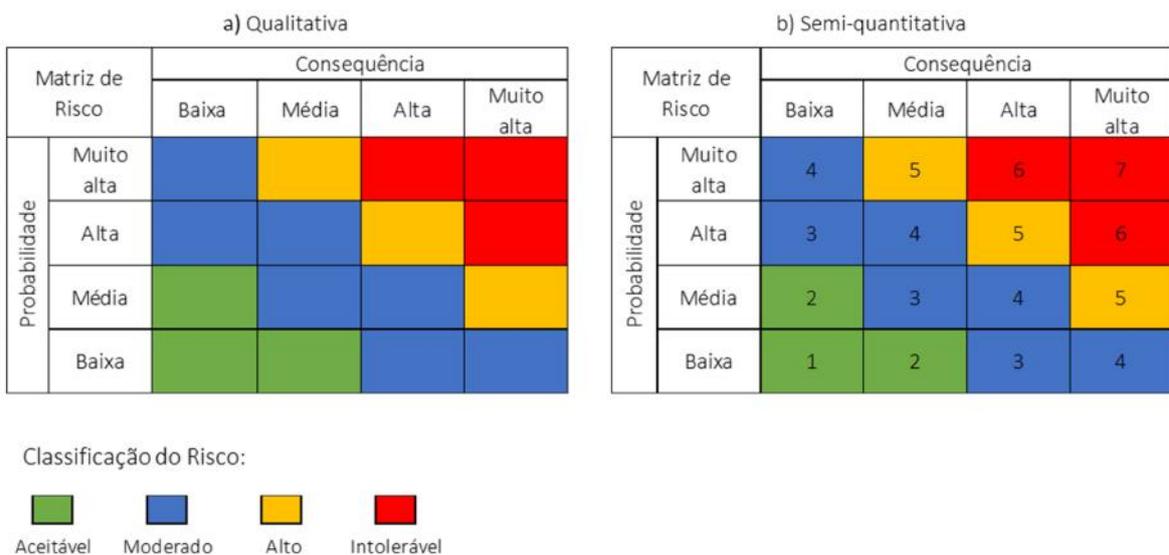
3.5.1 Matriz de Risco

Um instrumento de grande assistência no gerenciamento de risco é a matriz de risco, que também pode apresentar outros nomes como matriz de probabilidade e impacto ou matriz de apetite de risco. É uma ferramenta de gerenciamento que permite visualmente identificar quais são os riscos que devem receber mais atenção.

Ela consiste numa tabela de duas dimensões, em que a células centrais devem estar associadas a uma determinada cor a depender do risco que apresenta, tornando-se um gráfico de fácil interpretação. Essas duas dimensões representam a probabilidade de um evento acontecer e o seu impacto no projeto, caso esse evento aconteça. Esse impacto em geral relaciona-se ao custo de reparo desse risco. Simplificadamente pode-se dizer que $r_i = p \times c o_i$.

A matriz de risco pode ser qualitativa, que é mais básica e associada apenas à conceitos, ou quantitativa, na qual há pesos associados às classes de probabilidade e de consequência. Na semi-quantitativa cada probabilidade e cada impacto é atribuído a um valor, a uma pontuação. A conjunção dessas duas pontuações é associada a uma classificação do risco através da sua cor. A Figura 18 exemplifica essas duas possibilidades de matriz de risco. Essa etapa da pontuação é fundamental para o sucesso da matriz de risco.

Figura 18: Matriz de risco.



Ela mostra a situação dos países europeus em março de 2021, cuja vertical apresenta a incidência do vírus, referindo-se à probabilidade, e a horizontal a transmissibilidade, ou seja, a consequência, na qual Portugal era o único país a estar no canto verde da matriz de risco, seguido de Reino Unido e Irlanda. Com grau de risco alto apresenta a Hungria, Estónia e Bulgária.

A matriz de risco é um conceito utilizado no Método MAIS, que será apresentado a seguir.

4. MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Dois são os aspectos básicos a serem levados em consideração no dimensionamento de estruturas: a segurança estrutural, ligada à necessidade de reduzir o risco de colapso inerente a qualquer realização humana, e o adequado comportamento da estrutura em serviço, ligado à necessidade de atender às demandas dos usuários com conforto e, concomitantemente, reduzir os custos de manutenção.

Ainda que bem projetadas e executadas, os mecanismos de degradação de uma edificação são complexos e uma grande variedade de patologias podem surgir com as mais diversas causas, diminuindo o seu desempenho. Sendo assim, metodologias fundamentadas devem ser aplicadas para projetá-las, de modo que durem com desempenho satisfatório por sua vida útil e também para avaliá-las de modo a quantificar o seu nível de deterioração e, conseqüentemente, de segurança, para definir a melhor estratégia de manutenção e de recuperação. A seguir, métodos de análise para projetar e avaliar estruturas em concreto armado serão apresentados.

4.1 Métodos de Segurança Estrutural

Neste tópico será debatido sobre métodos para avaliação de estruturas existentes baseadas na sua segurança. Tais métodos levam em consideração se a estrutura vai colapsar ou não, ou seja, pondera apenas se a carga existente é menor que a carga que a estrutura é capaz de suportar.

4.1.1 Métodos Não-Probabilísticos

Uma metodologia é considerada não-probabilística quando os dados inseridos (*inputs*) são conhecidos e, conseqüentemente, sabe-se exatamente quais serão os resultados encontrados (*outputs*). Nos casos em que os *inputs* levam em consideração as incertezas (item 3.1), diz-se que o método é probabilístico. A seguir dois métodos já existentes não-probabilísticos amplamente conhecidos na engenharia civil para a avaliação da segurança de edificações em concreto armado serão mostrados, são esses: Método das Tensões Admissíveis e Método dos Estado Limites.

4.1.1.1 Método das Tensões Admissíveis

Até o século XIX a concepção e execução das obras era realizada de forma empírica, ou seja, a segurança do local dependia da experiência e intuição dos executores. O surgimento das estruturas metálicas e o desenvolvimento da teoria da resistência dos materiais desencadearam no surgimento das primeiras regras de avaliação de segurança com fundamento científico e, com isso, o método das tensões admissíveis.

A tensão admissível pode ser considerada o valor máximo de tensão que um material pode resistir, tensões essas que podem ser normais ou de cisalhamento. Esse valor depende das propriedades mecânicas do material e, quanto maior ele for, mais resistente é o material.

O método das tensões admissíveis é o método tradicional para projetar estruturas e nele todas as ações, independente da sua origem, são consideradas com a mesma variabilidade. É considerado um método determinístico pois os parâmetros que são usados como base para o cálculo são valores fixos. As cargas máximas de serviço aplicadas na estrutura provocam tensões que não devem ser maiores que a tensão de ruptura, também chamada de tensão de escoamento. Dessa maneira, a tensão admissível é dada pela equação (7).

$$\sigma_{ad} = \frac{\sigma_r}{\gamma_i} \quad (7)$$

Onde:

σ_{ad} : tensão admissível;

σ_r : tensão de ruptura ou de escoamento;

γ_i : coeficiente interno de segurança. Deve ser maior que 1.

O coeficiente interno de segurança é determinado empiricamente e leva em consideração a inconstância da resistência dos materiais, da intensidade das ações e da responsabilidade da estrutura. Portanto é aplicado um coeficiente parcial de segurança apenas no material utilizado.

4.1.1.2 Método dos Estados Limites

A necessidade de melhorar os métodos para avaliação de segurança de uma estrutura levou ao surgimento de novos critérios e do conceito de estados limites. Por ser um princípio de

dimensionamento mais lógico e completo que o até então usado (método das tensões admissíveis), esse conceito foi rapidamente introduzido nas normas de diversos países.

De acordo com as normas atuais de dimensionamento em concreto armado, a verificação da segurança de uma estrutura é estabelecida para certos níveis de solicitação que, convencionalmente, são divididos em dois: estado limite último e estado limite de solicitação. Segundo Henriques (1998) os estados limites de uma estrutura são estados idealizados, deixando-os com um caráter convencional que se forem ultrapassados a estrutura não cumpre as exigências estruturais ou funcionais definidas regularmente. O principal objetivo dos estados limites é apurar e controlar o funcionamento das estruturas em condições de uso corrente, controle esse que é realizado através da limitação de tensões, da abertura de fendas, deformações, vibrações etc. que a edificação suportará.

Segundo o mesmo professor, os estados limites últimos são associados às situações na qual a estrutura, ou parte dela, atinge o colapso, colocando seus utilizadores e equipamentos em risco. Podem causar esse colapso a perda de equilíbrio estático, ruptura devido às tensões elevadas nos materiais, instabilidade resultante de efeitos de segunda ordem e fadiga por ações repetitivas. Já os estados limites de serviço associam-se às situações em que a estrutura, ou parte dela, apresenta danos que a deixam fora de serviço por questões de funcionalidade, durabilidade ou estética, limitando o uso da edificação.

Neste método, o grau de segurança de uma estrutura é determinado pela sua capacidade de suportar às diversas ações que venham a solicitá-la durante sua vida útil sem atingir o seu estado limite último ou o seu estado limite de serviço. Esse método é mais complexo pois envolve a identificação dos modos e cargas em que a estrutura deixa de atender aos requisitos mínimos para os quais foi projetada ou que ela venha a colapsar. Este é o método indicado pela NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento (ABNT, 2014), a principal norma utilizada para dimensionar concreto armado no Brasil.

Segundo Ataíde (2005), o método dos estados limites é vantajoso pois possibilita uma melhor compreensão dos requisitos e comportamentos que uma estrutura deve atender, além de auxiliar na avaliação de projetos atípicos e de facilitar a atualização das normas.

4.1.2 Métodos Probabilísticos

Um método é chamado de probabilístico quando considera as incertezas associadas aos dados de entrada inseridos. Essas incertezas são propagadas no decurso do modelo e refletidos nos resultados, sendo essencial quantificá-las para poder melhor gerenciá-las (Du, 2005). A análise do modelo auxilia os programadores a entender como as incertezas dos *inputs* impactam nos *outputs*, possibilitando avaliar a performance e confiabilidade da metodologia.

Sabendo disso, a seguir serão apresentados dois métodos probabilísticos já conhecidos para avaliação da segurança estrutural e utilizados não apenas na construção civil, como também nas engenharias, indústrias, economia, administração, entre outros: a Simulação de Monte-Carlo e o Método FORM.

4.1.2.1 Simulação de Monte Carlo

O nome Simulação de Monte Carlo surgiu em homenagem à cidade de Monte Carlo em Mônaco, local conhecido pelos jogos de azar. Essa metodologia é uma poderosa ferramenta para análise estatística sendo amplamente usada tanto no ramo da engenharia quanto fora dela. Foi primeiramente desenvolvida pelo Laboratório Científico de Alamos em 1944 em pesquisa sobre resolver problemas com a difusão de nêutrons em bombas atômicas (Du, 2005). Desde então esse método vem sendo largamente utilizado pois pode lidar com um grande número de variáveis aleatórias, com vários tipos de distribuições e com modelos não-lineares, além de ser de fácil implementação computacional não exigindo muitos conhecimentos matemáticos.

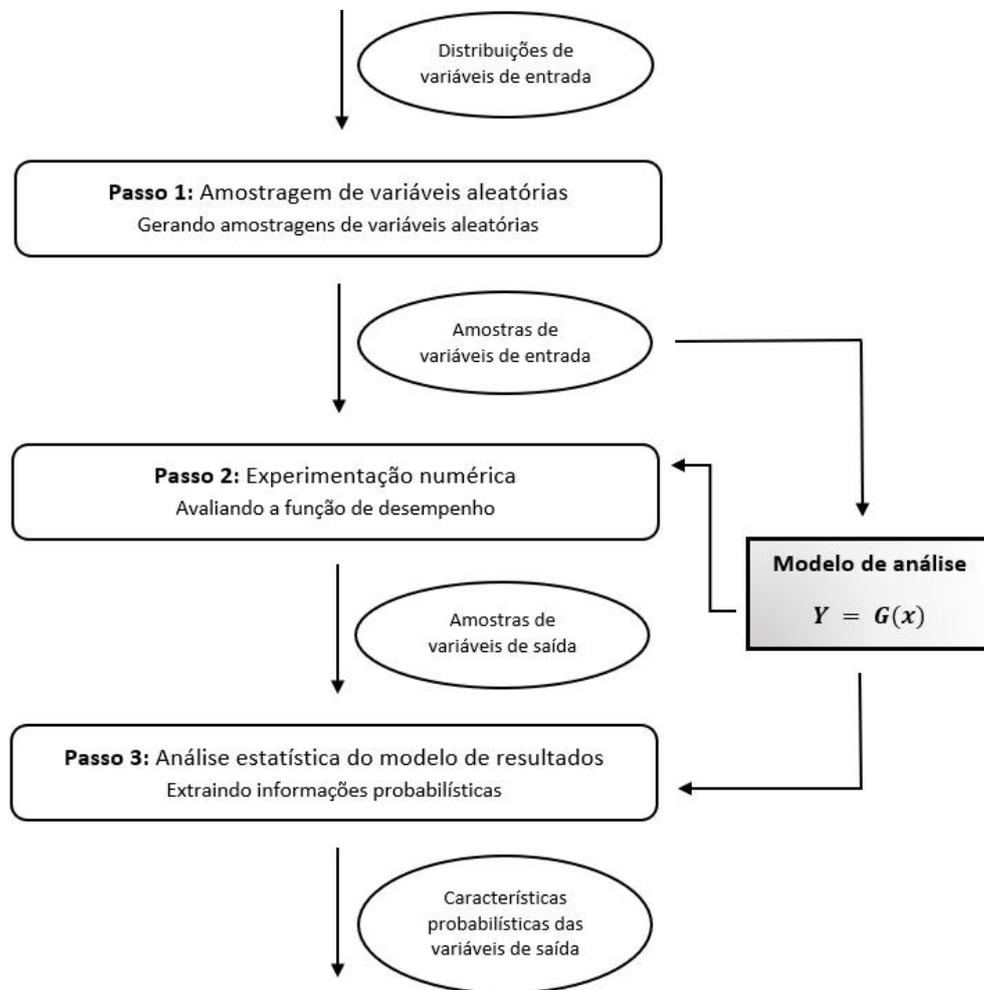
Aplicável tanto para variáveis independentes quanto dependentes, nesta simulação uma amostragem aleatória é feita e várias simulações no computador realizadas. Então, as características estatísticas do experimento são observadas e conclusões sobre o resultado do modelo são feitas baseadas nos experimentos estatísticos. Em cada experimento, os possíveis valores das variáveis aleatórias de entrada $\mathbf{X} = (\mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2, \dots, \mathbf{X}_n)$ são gerados de acordo com suas distribuições (Du, 2005).

Segundo Pantoja (2012) essa amostra de simulações é similar, por exemplo, a um ensaio de laboratório e, em seguida, um tratamento estatístico é dado aos resultados. Essa simulação é

bastante eficiente quando fazer esses ensaios são inviáveis, seja por questão de custo, seja por questão de logística. No caso da construção civil, simulações computacionais são convenientes pois fazer vários protótipos de estrutura para ensaios é bastante oneroso, as possibilidades de uso de modelos em escala são limitadas, e a probabilidade de falha do sistema é muito pequena, tornando difícil as observações de falha (Beck, 2010).

Em outras palavras, é uma maneira de simular numericamente um experimento que não é realizável na prática. A Figura 20 mostra esquematicamente o passo-a-passo da Simulação de Monte Carlo.

Figura 20: Fluxograma simulação de Monte Carlo.



Fonte: Du (2005) adaptado pela autora.

Primeiramente uma sequência de distribuição uniforme no intervalo de zero a um é gerada. Na estatística, uma distribuição é uniforme quando há um número finito de resultados com chances iguais de acontecer. Então, através de uma transformação isoprobabilística, os valores dos resultados Y são calculados através de uma função performance $Y = G(x)$ com essa amostra de dados. Com um certo número de simulações realizadas, um conjunto de amostras de resultados Y estão disponíveis para análise estatística, sendo possível estimar as características destas variáveis de resultados. Se $G(x) > 0$, o resultado foi satisfatório, se $G(x) < 0$, o critério de segurança não foi alcançado.

Segundo Eraso (2011), a simulação de Monte Carlo pode ter as seguintes finalidades: calcular as estatísticas (média, desvio padrão e tipo de distribuição) dos *outputs* do sistema; ou calcular a probabilidade de desempenho insatisfatório. Neste caso, é necessário conhecer uma relação determinística para descrever a resposta da estrutura e as distribuições de probabilidade de todas as variáveis envolvidas. Então é gerada uma amostra dos possíveis cenários (falha ou sobrevivência) e a probabilidade de falha calculada.

Portanto, para gerar uma amostra de x_i para uma variável aleatória X com função de distribuição F_x deve-se:

- 1- Gerar uma amostra de valores x_i de uma variável aleatória uniformemente distribuídas de 0 a 1;
- 2- Calcular o valor amostral x_i através da equação (8).

$$x_{(i)} = F_x^{-1}(u_i) \quad (8)$$

Onde:

F_x^{-1} : função inversa de F_x .

Então a probabilidade de falha do elemento estrutural que foi simulada por essa simulação é dada pela equação (9).

$$P_f = \frac{n}{N} \quad (9)$$

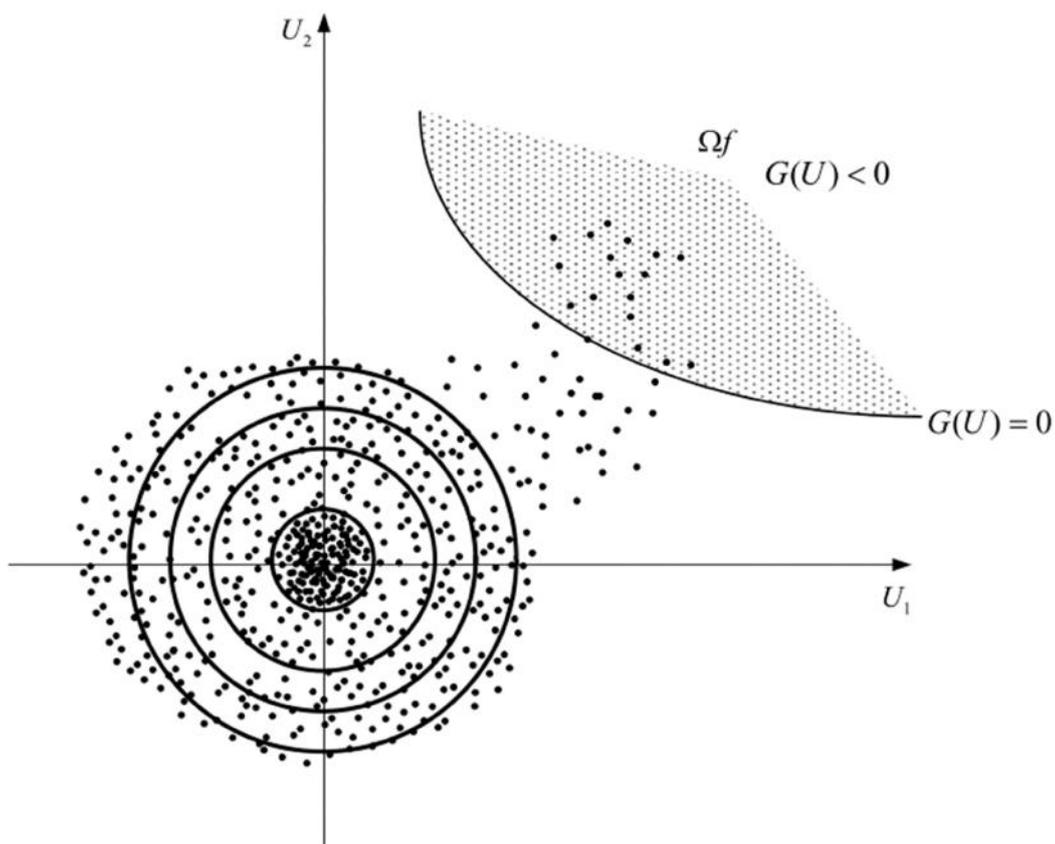
Onde:

N : número total de simulações;

n : número de ocorrência de falha nas N simulações.

Um exemplo da visualização gráfica da simulação de Monte Carlo dá-se pela Figura 21, na qual cada ponto representa um resultado encontrado, sendo possível visualizar sua densidade. A área pontilhada representa o domínio de falha e a quantidade de pontos que se encontra nesse domínio é o número total de falhas encontradas nessas simulações. Uma grande vantagem dessa aplicação é a simplicidade da matemática, uma vez que substitui o cálculo de integrais complexas. Entretanto, apesar dos resultados precisos, é um método lento devido ao elevado número de repetições necessário para a simulação.

Figura 21: Sorteio de pontos na simulação de Monte Carlo.

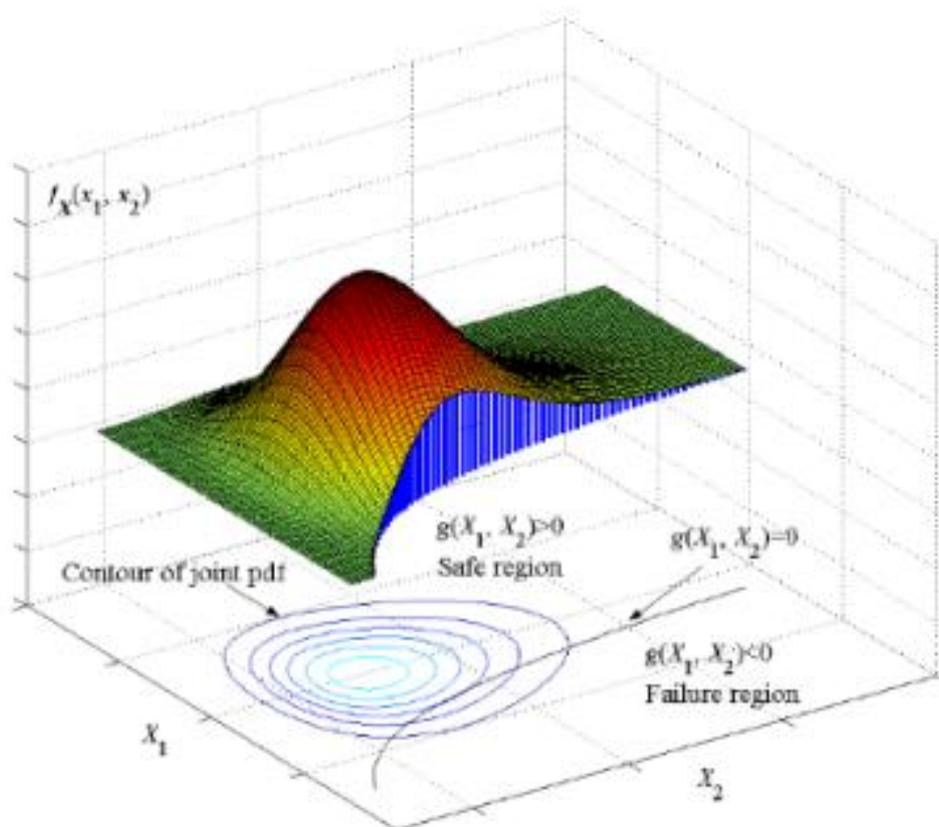


Fonte: Pantoja (2012).

4.1.2.2 Método FORM

O método FORM (*First Order Reliability Method* - Método de Confiabilidade de Primeira Ordem) possui esse nome devido ao fato de sua função performance $G(x)$ ser aproximada através da ferramenta matemática chamada expansão de Taylor²⁸ de primeira ordem (linearização). Nele as variáveis podem ser independentes entre si ou não e sofrem uma transformação.

Figura 22: Integral da função densidade de probabilidades.



Fonte: Du (2005).

A Figura 22 mostra que nesta transformação as variáveis aleatórias que estão distribuídas em um espaço original X sofrem um processo no qual tornam-se variáveis normais padrão, estatisticamente independentes, num espaço normalizado U . A função de desempenho que antes

²⁸ Uma série de Taylor é uma representação de uma função como a soma infinita de termos que são calculados a partir dos valores das derivadas da função em um único ponto.

era descrita como $G_{(x)}$ passa agora a ser considerada $G_{(u)}$. Para melhor entendimento, a equação (6) do item 3.4, que é a integral de uma função de densidade de probabilidades, é apresentada graficamente num modelo tridimensional conforme a.

A figura mostra a função densidade de probabilidade conjunta (na figura *joint pdf - joint probability density function*) e seus contornos, que são a projeção da superfície da função $f_{(x)}$ no plano 2D $X_1 - X_2$. Todos os pontos em cada um dos contornos possuem os mesmos valores de $f_{(x)}$ ou a mesma probabilidade de densidade. A função limite, quando $G_{(x)} = 0$ também está representado no plano $X_1 - X_2$.

O resultado da integral procurada é o volume sob a superfície da função de densidade de probabilidade conjunta $f_{(x)}$ na região de falha ($G_{(x)} < 0$) ou na região segura ($G_{(x)} > 0$). Imagine que função $f_{(x)}$ forme uma montanha, conforme Figura 22. Caso essa montanha seja cortada com uma faca no formato da função $G_{(x)}$ a montanha seria dividida em duas partes: a $g > 0$ e $g < 0$

Esse processo de transformar as variáveis aleatórias para o espaço normal padrão é de fundamental importância para o sucesso da aplicação do método. Essa transformação normalmente é feita via distribuições normais equivalentes, sendo que a transformação de Nataf²⁹ é amplamente utilizada. Então, nesse novo espaço, procura-se o ponto cuja distância até a origem é mínima, esse ponto é chamado de ponto de projeto (U^*). A distância entre esse ponto U^* e a origem representa o índice de confiabilidade do sistema (β) e a probabilidade de falha e está representado graficamente na Figura 23.

Encontra-se então a nova função desempenho $G_{(U^*)}$ com as equações (10) e (11).

$$U^* = -\alpha * \beta \quad (10)$$

$$G_{(U^*)} = \beta + \sum_{i=1}^n \alpha_i u_i^* \quad (11)$$

²⁹ Utilizado para gerar amostras de variáveis aleatórias correlacionadas, o modelo utiliza diversas ferramentas estatísticas, como matriz jacobiana, médias e desvios-padrão para calculá-las.

Onde:

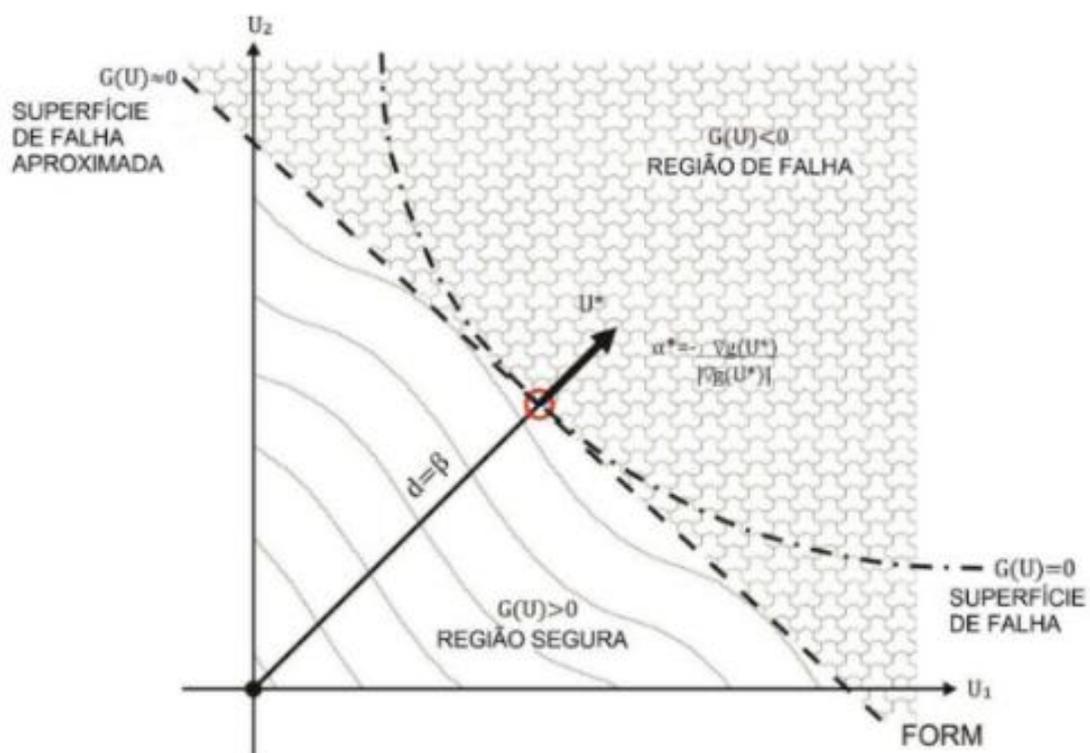
U^* : Ponto de Projeto;

β : índice de confiabilidade;

α : vetor normal à superfície de falha do projeto.

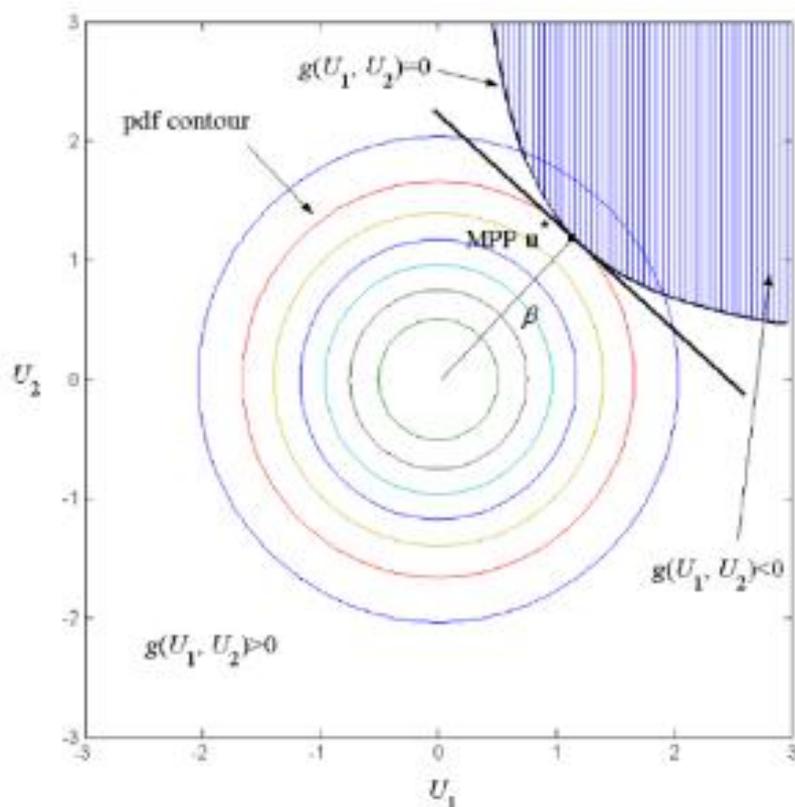
A Figura 24 apresenta a integral de uma função de densidade de probabilidades após a transformação de variáveis aleatórias no espaço X agora normalizados no espaço U , mostrando também o Ponto de Projeto (U^*), a função densidade de probabilidade conjunta e os pontos em que os requisitos mínimos não são atendidos que estão destacados de azul. Vale destacar que outra informação relevante produto deste método é o fator de importância das variáveis, que indica a contribuição de cada uma delas na probabilidade de falha do sistema.

Figura 23: Representação gráfica do método FORM.



Fonte: Pantoja (2012).

Figura 24: Integral da função densidade de probabilidades após a transformação.



Fonte: Du (2005).

4.2 Métodos para Avaliação de Integridade via Inspeção Sensorial Especializada

Entende-se por durabilidade como a capacidade de um edifício ou de partes de um edifício de desempenhar a sua função durante um determinado intervalo de tempo, sob determinadas condições de serviço. Ou seja, não basta apenas a edificação ser estável, ela também deve atender às demandas do seu estado limite de serviço no que tange à diversos fatores como deformações, vibrações, fissurações etc, o que está intimamente relacionado com o comportamento dos materiais, sua interação com o ambiente e com os mecanismos de degradação presentes.

A inspeção predial é um processo que tem por objetivo avaliar as condições técnicas de uma edificação permitindo um acompanhamento sistêmico ao longo da sua vida útil, que está intimamente relacionada à durabilidade.

A NBR 16747 (ABNT, 2020) chega para padronizar uma atividade que há muito vem sendo realizada sem o apoio de uma norma técnica, as inspeções prediais fundamentalmente baseada numa avaliação sensorial. Ela será abordada e, em seguida, metodologias já existentes de inspeções prediais, que visam quantificar o grau de dano ou integridade de uma edificação, serão apresentadas.

4.2.1 NBR 16747/2020 – Inspeção Predial – Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento

A Norma Brasileira 16747 fornece diretrizes, conceitos e procedimentos relacionados ao tema *inspeção predial*, ao estabelecer métodos e etapas mínimas de atividades a serem seguidas, com o objetivo de uniformizar a metodologia (ABNT, 2020). Todo tipo de edificação, composta de qualquer tipologia, pública ou privadas, está enquadrada na norma.

A presente norma pode ser considerada um marco no ramo da construção civil brasileira, pois preenche uma lacuna existente nas legislações técnicas que tornaram as inspeções periódicas nas edificações obrigatórias. Seu objetivo é padronizar o passo-a-passo básico a ser seguido pelos profissionais. Essa padronização é vantajosa não somente para os gestores da edificação, pois contribui para o entendimento do relatório técnico e para a mitigação de riscos associados à perda de desempenho, como também para os profissionais do ramo, que terão a assimilação de inspeções prévias realizadas até mesmo por outro especialista facilitada.

Outro destaque da norma é a oficialização do termo *avaliação sensorial*, definida como “avaliação dos atributos de um produto pelos órgãos dos sentidos para evocar, medir, analisar e interpretar reações às características dos materiais como são percebidos pelos cinco sentidos: visão, olfação, gustação, tato e audição” (ABNT, 2020). Através dos cinco sentidos, objetiva-se realizar uma avaliação global, não aprofundada, da edificação.

Fazendo uma analogia com a medicina, essa avaliação tem a mesma função de um “clínico geral” e, baseado nessa análise, pode ser recomendada uma inspeção mais aprofundada por profissionais especializados. Os resultados encontrados e disponibilizados em relatórios técnicos são referentes à data da inspeção e se relacionam às manifestações patológicas que já tenham sintomas ou sinais aparentes. Anomalias não captados pelos sentidos, que tenham necessidade

de ensaios técnicos para identificar, não são englobados na presente norma. Por ser uma inspeção global, é multidisciplinar e pode requerer profissionais de áreas diferentes.

A Norma define ainda que o objetivo de uma inspeção predial é “constatar o estado de conservação e de funcionamento da edificação, seus sistemas e subsistemas, de forma a permitir um acompanhamento sistêmico de comportamento em uso ao longo da vida útil, para que sejam mantidas as condições mínimas necessárias à segurança, habitabilidade e durabilidade da edificação” (ABNT, 2020). Desse modo a gestão do prédio terá dados suficientes para a correta tomada de decisão e manutenção.

A inspeção predial é baseada na avaliação das condições técnicas de uso, operação e manutenção e funcionalidade da edificação de forma sistêmica e predominantemente sensorial, considerando os requisitos dos usuários. Assim a situação da edificação é constatada quanto à sua capacidade de cumprir seu desempenho mínimo. A abrangência da avaliação de desempenho na inspeção predial deve considerar no mínimo os seguintes critérios:

- Segurança: segurança estrutural; segurança contra incêndio; segurança no uso e na operação;
- Habitabilidade: estanqueidade; saúde, higiene e qualidade do ar; funcionalidade e acessibilidade;
- Sustentabilidade: durabilidade e manutenibilidade.

As etapas da metodologia da inspeção predial são as descritas resumidamente a seguir:

- 1) Levantamento de dados e documentação;
- 2) Análise dos dados e documentação;
- 3) Anamnese para a identificação de características construtivas da edificação, como idade, histórico de manutenção, intervenções, reformas e alterações de uso ocorridas;
- 4) Vistoria da edificação de forma sistêmica, considerando a complexidade das instalações existentes;
- 5) Classificação das irregularidades constatadas;

- 6) Recomendação das ações necessárias para restaurar ou preservar o desempenho dos sistemas, subsistemas e elementos construtivos da edificação afetados por falhas;
- 7) Organização das prioridades, em patamares de urgência, tendo em conta as recomendações apresentadas pelo inspetor predial;
- 8) Avaliação da manutenção, conforme a ABNT NBR 5674;
- 9) Avaliação do uso;
- 10) Redação e emissão do laudo técnico de inspeção.

A seguir serão apresentadas metodologias também baseadas em avaliação sensorial para a avaliação estrutural com foco no segurança estrutural e segurança no uso e operação dos sistemas.

4.2.2 Metodologia GDE – (ENC/UnB)

A Metodologia GDE – Grau de Deterioração do Elemento - foi criada pelo Departamento de Engenharia Civil (ENC) da Universidade de Brasília (UnB) em 1994 por Castro com o objetivo de propor uma metodologia de manutenção estrutural das edificações usuais em concreto armado. Já conhecida e utilizada, principalmente na América do Sul, ela procura estabelecer critérios para quantificar o nível de degradação dos elementos isolados e da estrutura globalmente e foi o *start* para que outros pesquisadores se interessassem por essa área de avaliação estrutural.

Inspirada na metodologia de Klein et al. (1991), que é destinada à avaliação de obras de artes, Castro utilizou o modelo de Tuutti (1982), explicada no tópico 5.2, para quantificar a deterioração da estrutura ocasionada pela corrosão de armaduras. Em resumo, para pôr em prática essa metodologia, em vistoria *in loco*, para cada patologia encontrada em cada elemento atribui-se um Fator de Ponderação (F_p), que busca quantificar a relevância de uma determinada anomalia naquele determinado elemento, e um Fator de Intensidade (F_i), definido pela autora como “nível de gravidade e a evolução de uma manifestação de dano em um determinado elemento”.

Em 1998, Lopes aprimorou a metodologia GDE para avaliar grandes estoques de edifícios aplicando-a com o objetivo de avaliar o sistema de manutenção predial utilizado desde 1989 pelo

Banco do Brasil. Viu-se a necessidade de algumas alterações como por exemplo de alterar a nomenclatura das famílias, de acrescentar danos e de novas definições para os Fatores de Ponderação (F_p). Ele propôs também uma alteração no cálculo do Grau de Deterioração do Elemento, pois assim usa-se apenas uma equação em vez de duas, além de oferecer uma resposta menos abrupta da sua evolução.

Em 2002, Boldo propôs ainda alterações na metodologia, a começar pela mudança do nome do *Caderno de Inspeção*, usado como guia do profissional na vistoria *in loco*, para *Roteiro de Inspeção para Estruturas de Concreto*, buscando salientar a importância do seu cumprimento, além das alterações nos danos e nos fatores de ponderação. Visando facilitar o cálculo do grau de deterioração da família, ele propõe ainda a reformulação da equação de cálculo do grau de deterioração da família, deixando-a mais fiel à realidade.

Por fim, com o objetivo de avaliar o Instituto Central de Ciências (ICC) da UnB, em 2007, Fonseca propõe uma reformulação da forma de conceituar os danos. Diversos conceitos como carbonatação, contaminação por cloretos, cobrimento deficiente, esfoliação, fissuração inaceitável, entre outros foram renovados ou reformulados. Houve mudanças também na conceituação e na formulação de Fatores usados para quantificar a intensidade de alguns danos. Ele propõe ainda uma reformulação na escala do Fator de Ponderação (F_p) que, até o momento, variava de 0 a 10. Como a maioria desses fatores encontram-se acima de 5, para Fonseca não se justifica utilizar uma escala tão grande e propõe a sua diminuição de modo que varie de 1 a 5. Para que essa modificação seja efetiva foi necessário alterar também a formulação do Grau de Dano (D) de um elemento, agora representados pelas equações (12) e (13).

$$S \quad F_i \leq 2,0 \rightarrow D = 0,8 F_i \cdot F_p \quad (12)$$

$$S \quad F_i > 2,0 \rightarrow D = (12 F_i - 28) F_p \quad (13)$$

4.2.3 Metodologia GDE Adaptada às Estruturas Mistas (FAU / UnB)

Uma estrutura é considerada mista quando é composta, total ou parcialmente, por elementos formados por, no mínimo, dois materiais distintos, sendo o mais comum a mescla entre estruturas

metálicas e concreto armado. Primeiramente utilizada apenas em edificações em concreto armado, pesquisadores da pós-graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU) da UnB adaptaram a metodologia GDE para estruturas mistas.

4.2.3.1 Azambuja (2012)

O trabalho de Azambuja analisou a Torre de TV (Figura 25), obra concebida e projetada por Lucio Costa na década de 1960 localizada em Brasília (DF), na qual previu-se inicialmente ser composta por uma base em concreto armado com 25m de altura e 192 m de uma estrutura metálica que se apoia nela, totalizando 217 m. Na época era quarta torre mais alta do mundo, sendo uma obra arrojada e significativa.

Figura 25: Torre de Tv de Brasília (DF).



Fonte: Secretaria do Turismo³⁰.

O autor aborda sobre os autores do projeto, envolvendo um estudo da obra de Lucio Costa. Trata ainda da construção do aspecto histórico, da sua concepção e construção. Avaliou também aspectos técnicos da sua forma estrutural e um levantamento das principais manifestações

³⁰ Disponível em <<<http://www.turismo.df.gov.br/torre-de-tv/>>>. Acesso em maio de 2019.

patológicas que surgiram. A forma estrutural é analisada visando desvendar a intuição do arquiteto. Através de vistorias, as patologias foram avaliadas e dados foram levantados para quantificar o grau de deterioração da estrutura. A estrutura em concreto armado usou as adaptações de Fonseca (2007), enquanto para a estrutura metálica Azambuja propôs modificações.

As propriedades mecânicas do aço são bem diferentes das do concreto armado, o que leva a sistemas construtivos diferentes e a manifestações patológicas distintas, sendo a corrosão a mais comum e conhecida, pois o aço tende a voltar a ser minério de ferro. Portanto, com o objetivo de adaptar a Metodologia GDE/UnB para estruturas metálicas, os itens relacionados com a avaliação dos elementos estruturais em aço foram separados em duas famílias: banzos e diagonais/montantes, adotando-se Fatores de Ponderação (F_p) e de Intensidade (F_i) com os critérios específicos pra aço, permitindo o cálculo do Dano (D).

4.2.4 Metodologia GDE com Modelo de Dano Cúbico – Marques *et al.* (2016)

Visando aplicar a metodologia GDE em estruturas mistas, Marques *et al.* (2016) propuseram uma adaptação na metodologia. Sabe-se que, por ser baseada no modelo de Tuutti, tal metodologia é representada por duas etapas lineares. Sabendo disso buscou-se adequar a metodologia GDE a um modelo de dano mais próximo da realidade, sendo uma curva de degradação em função do tempo. Várias curvas então foram testadas numericamente até que, mediante a utilização de seis pares de pontos, chegou-se por regressão polinomial à parábola cúbica apresentada na (14).

$$D = a_1 + b_1 F_i - c_1 F_i^2 + d_1 F_i^3 \quad (14)$$

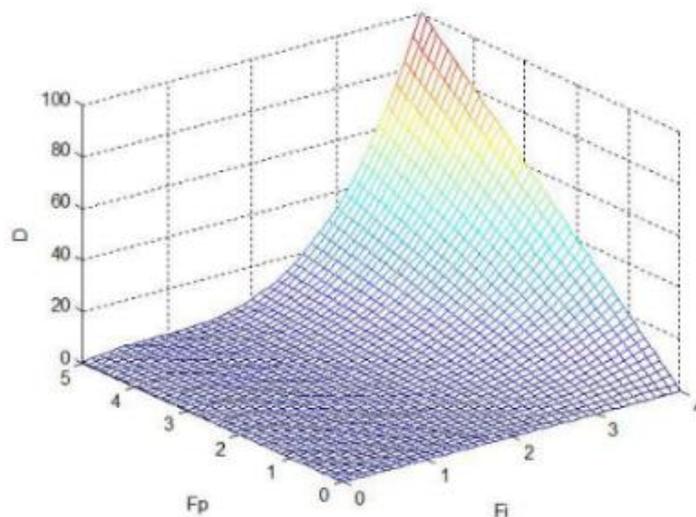
O melhor resultado obtido foi $a_1 = 0,3703$; $b_1 = 6,9523$; $c_1 = 7,9962$ e $d_1 = 3,1368$, para quando o Fator de Ponderação é o maior possível, $F_p = 5$, tal qual equação (15). Nela o coeficiente de determinação r^2 foi de 0,9883, ou seja, 98,83% das variações de D são explicadas pelo Fator de Intensidade através dessa equação, revelando um excelente grau de ajuste. Para os danos em que $F_p < 5$ o grau de dano é obtido multiplicando a equação (15) pela razão $\frac{F_p}{5}$, resultando na equação (16).

$$S \quad F_p = 5 \rightarrow D = 0,3703 + 6,9523 F_i - 7,9962 F_i^2 + 3,1368 F_i^3 \quad (15)$$

$$S \quad F_p < 5 \rightarrow D = (0,0741 + 1,3905F_i - 1,599 F_i^2 + 0,6274F_i^3) \cdot F_p \quad (16)$$

Dessa maneira a superfície do Grau de Dano (D) é representada graficamente em função de F_i e F_p conforme Gráfico 4.

Gráfico 4: Superfície de Dano - Metodologia GDE Parametrizada.



Fonte: Marques et. Al. (2016).

Essa metodologia foi então aplicada em uma passarela mista (metálica e concreto armado) para uso exclusivo de pedestres situada em Brasília (DF), formada por quatro vãos inclinados e dois vãos horizontais (centrais) em estrutura metálica. A ligação entre os vãos é dada por estruturas circulares, denominadas cogumelos. Tais ligações são sustentadas por pilares circulares de concreto armado com um capitel em sua extremidade superior, conforme mostra a Figura 26.

A atribuição de valor aos Fatores de Intensidade ocorreu de acordo com o tipo de dano que a estrutura sofreu e o tipo de manutenção necessária. Como resultado o Grau de Dano encontrado pela presente metodologia foi de 70,46. Os autores compararam ainda o resultado com a formulação de Fonseca (2007) e o resultado obtido foi de 75,86, sendo em ambas as metodologias classificadas com um grau de deterioração alto, devendo sofrer intervenções a médio prazo, no máximo 1 ano. Portanto a metodologia GDE com dano cúbico mostrou-se eficiente e com

resultados mais próximos da realidade, além de facilitar a programação da metodologia, uma vez que utiliza apenas uma equação para encontrar o Grau de Dano D.

Figura 26: Passarela de estrutura mista avaliada.



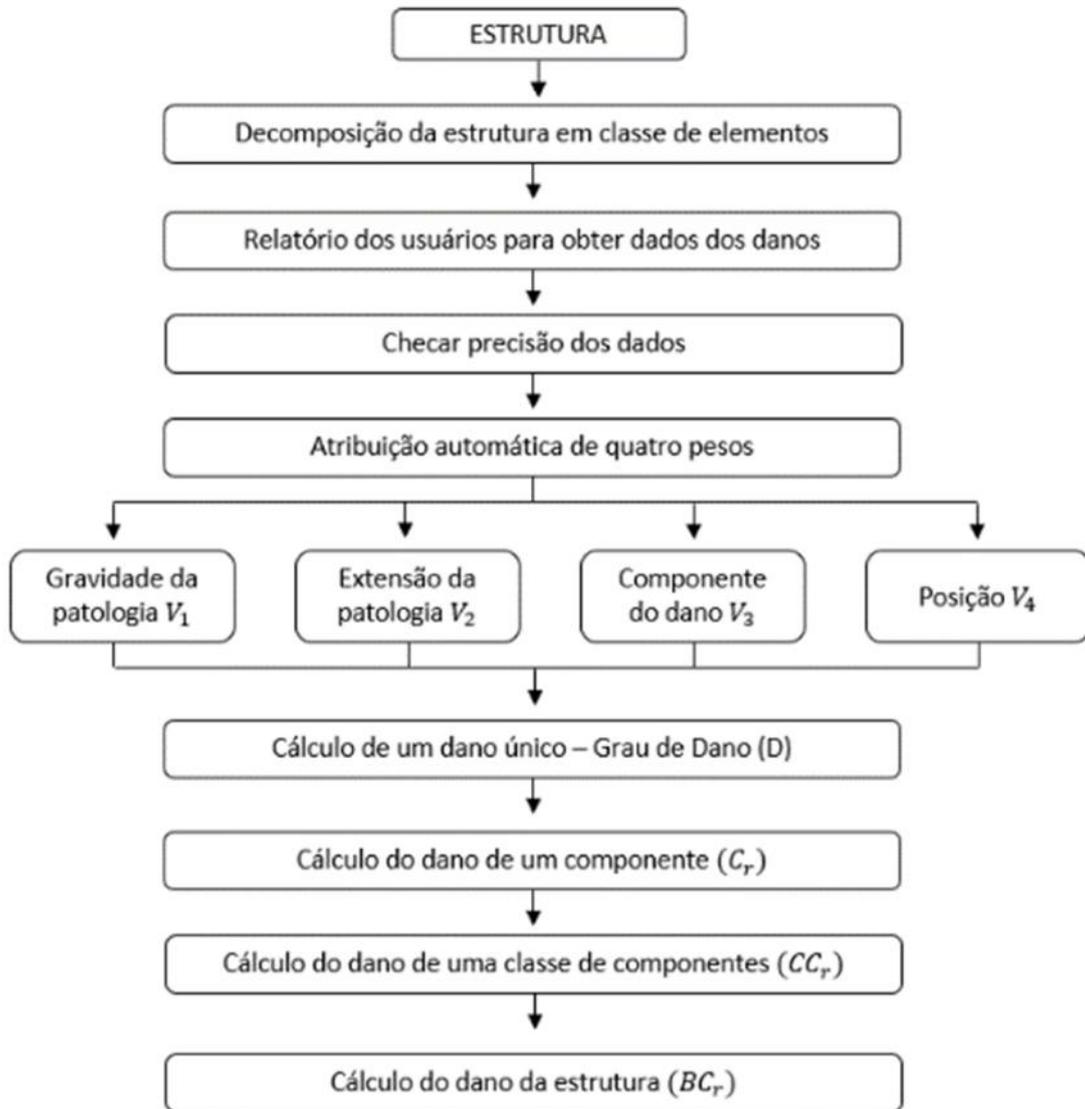
Fonte: Marques et. al. (2016).

4.2.5 Metodologia Alert-Degradation (Alert-D) – Sangiorgio et al. (2018)

Uma parceria entre pesquisadores brasileiros, italianos e portugueses adaptaram uma metodologia italiana chamada *Alert-Degradation*. Também conhecida como *Alert-D*, visa formular e criar passos para quantificar a degradação de edifícios na qual avalia-se a estrutura com a integração de modernas ferramentas de inteligência artificial (dispositivos inteligentes) e tecnologias de informação em um Sistema de Suporte à Decisões (SSD). Um SSD é uma classe de Sistemas de Informação na qual há um modelo genérico de tomada de decisão que, envolvendo pessoas, *softwares*, procedimentos e um banco de dados, analisa um grande número de variáveis para que o posicionamento mais adequado seja tomado para aquela determinada situação. A Figura 27 apresenta o fluxograma deste método.

A metodologia se inicia com a divisão da estrutura em um conjunto $F = \{f = 1, \dots, N_f\}$ de classes de componentes (parede, pilar, viga, etc.) e em um conjunto $E = \{e = 1, \dots, N_E\}$ de possíveis componentes. Ou seja, cada classe de componente inclui um subconjunto de componentes (a classe de pilar inclui os componentes pilar 1, pilar 2, pilar 3, etc.).

Figura 27: Fluxograma Metodologia Alert-D.



Fonte: Sangiorgio et al. (2018) adaptado pela autora.

Então, através de uma inspeção *in loco* e análises visuais, um relatório é gerado para cada patologia presente na estrutura. Esse relatório é composto por um levantamento fotográfico e por outras informações adicionais, organizados de acordo com sua gravidade, extensão, componente e posição do dano na estrutura. De acordo com esses critérios quatro pesos são automaticamente atribuídos a cada dano, conforme Tabela 1.

Para cada alternativa atribuída é dado um peso, que segue a Tabela 2. Nota-se que cada peso está relacionado à apenas um critério ou alternativa, consequentemente cada peso pode ser atribuído automaticamente quando o conjunto de alternativas é conhecido. A principal vantagem dessa metodologia é a automatização.

Tabela 1: Patologias a serem atribuídas.

OBJETIVO	DEGRAGAÇÃO DO EDIFÍCIO			
CRITÉRIO	Severidade da patologia (,)	Extensão da patologia (,)	Componente Danificado (,)	Posição (,)
ALTERNATIVAS	Fissuras causadas por oxidação do aço	100%	Fundação	Primeiro ou segundo andar
	Desplacamento	90%	Parede de cisalhamento	Terceiro ou quarto andar
	Forte expulsão da cobertura de concreto	80%	Pilar	Outro
	Rachaduras finas	70%	Viga	
	Rachaduras médias	60%	Armação apoiada	
	Grandes ou ativas rachaduras	50%	Piso	
	Defeitos nas juntas	40%	Teto	
	Destacamento de elementos	30%	Escadas	
	Queda de tijolos	20%	Passarela	
	Deformação de componente	10%	Piso térreo	
	Deflexão excessiva, deformações		Varanda ou sacada	
	Paredes ou elementos inclinando-se fora da vertical		Cortina	
	Recalque em grau leve		Parede externa de concreto armado	
	Recalque em grau médio		Parede externa de alvenaria	
	Recalque em grau alto		Parapeito	
	Degradação do concreto (áreas molhadas, esfoliação)		Parede interna	
	Fissuras em gesso ou placa de concreto		Forro	
	Destacamento de gesso ou placa de concreto		Clarabóia	
	Corrosão ou oxidação de elemento metálico		Portas	
	Produção		Abraçadeira de janela	
Corrosão ou oxidação com redução de seção transversal		Junta entre elementos		
*Mofo ou marcescência		Elevador		
*Ataque de insetos (biológico)				
*Mofo ou marcescência com redução da seção transversal				
*Ataque de insetos (biológico) com redução da seção transversal			*Patologias de estruturas de madeira.	

Fonte: Sangiorgio et. al. (2018) adaptado pela autora.

Conforme Oliveira (2020), considerando uma componente genérica e e o dano relacionado Δ , o índice associado com o dano único S_d com $d = 1, \dots, \Delta$ é obtido pela equação (17), em que para cada i há apenas um j associado.

$$S_d = \sum_{i=1}^m v_i \cdot w_i \quad (17)$$

Onde:

v_i : Peso do critério;

w_i : Peso das alternativas.

Em posse do grau de dano de cada patologia, faz-se cálculo do grau de dano de cada componente (C_e) utilizando a equação (18).

$$C_e = S_m \left(1 + \frac{\sum_{d=1}^{\Delta} S_d - S_m}{2 * \sum_{d=1}^{\Delta} S_d} \right) \quad (18)$$

Onde:

S_m : máximo valor obtido por S_d , com $d = 1, \dots, \Delta$.

Encontra-se o grau de dano global da estrutura (C_f) através da equação (19).

$$C_f = \frac{\sum_e C_e}{\gamma_k * S_{t_i}} \quad (19)$$

Onde:

S_{t_i} : área construída total;

γ_k : avaliação aproximada do número de componentes considerados por m².

Por fim, calcula-se o grau de deterioração geral da estrutura conforme equação (20).

$$B_f = \frac{\sum_{e=1}^{N_E} C_e}{\gamma_b \cdot S_{t_i}} \quad (20)$$

Onde,

S_{t_i} : área construída total;

γ_b : avaliação aproximada do número de componentes considerados por metro quadrado avaliado para a tipologia específico da edificação em concreto armado.

Tabela 2: Pesos das patologias.

Critério ou Alternativas Gerais	Critério ou Alternativa	Peso	Critério ou Alternativas Gerais	Critério ou Alternativa	Peso
v_i	v_1	0,44	$w_{2,j}$	$w_{2,1}$	10,0
	v_2	0,43		$w_{2,2}$	9,0
	v_3	0,10		$w_{2,3}$	8,0
	v_4	0,03		$w_{2,4}$	7,0
$w_{1,j}$	$w_{1,1}$	3,0		$w_{2,5}$	6,0
	$w_{1,2}$	3,9		$w_{2,6}$	5,0
	$w_{1,3}$	8,8		$w_{2,7}$	4,0
	$w_{1,4}$	3,0		$w_{2,8}$	3,0
	$w_{1,5}$	4,4		$w_{2,9}$	2,0
	$w_{1,6}$	9,5		$w_{2,10}$	1,0
	$w_{1,7}$	3,0	$w_{3,j}$	$w_{3,1}$	10,0
	$w_{1,8}$	3,9		$w_{3,2}$	9,1
	$w_{1,9}$	3,9		$w_{3,3}$	7,9
	$w_{1,10}$	3,5		$w_{3,4}$	6,1
	$w_{1,11}$	9,0		$w_{3,5}$	6,1
	$w_{1,12}$	9,5		$w_{3,6}$	6,1
	$w_{1,13}$	5,1		$w_{3,7}$	6,1
	$w_{1,14}$	5,1		$w_{3,8}$	6,1
	$w_{1,15}$	10,0		$w_{3,9}$	6,1
	$w_{1,16}$	2,0		$w_{3,10}$	6,1
	$w_{1,17}$	3,0		$w_{3,11}$	5,5
	$w_{1,18}$	3,9		$w_{3,12}$	2,4
	$w_{1,19}$	1,0		$w_{3,13}$	2,2
	$w_{1,20}$	4,9		$w_{3,14}$	2,2
	$w_{1,21}$	4,9	$w_{3,15}$	1,7	
	$w_{1,22}$	1,0	$w_{3,16}$	1,7	
	$w_{1,23}$	1,0	$w_{3,17}$	1,7	
	$w_{1,24}$	4,9	$w_{3,18}$	1,0	
	$w_{1,25}$	4,9	$w_{3,19}$	1,0	
		$w_{3,20}$	1,0		
		$w_{3,21}$	1,0		
		$w_{3,22}$	1,0		
		$w_{4,j}$	$w_{4,1}$	10,0	
			$w_{4,2}$	6,2	
			$w_{4,3}$	1,1	

Fonte: Sangiorgio et. al. (2018) adaptado pela autora.

4.3 Métodos Acoplados com Análise Probabilística

Um desafio das metodologias para avaliar estruturas já edificadas é combinar a sua avaliação com as incertezas presentes nesse processo. Neste tópico será apresentado um método proposto em Portugal em 2018 que os conecta, a metodologia GDE parametrizada.

4.3.1 Metodologia GDE Parametrizada - Pantoja et. al. (2018)

A presente metodologia é um procedimento probabilístico que acopla uma análise de confiabilidade à avaliação do grau de degradação da estrutura. Desenvolvida por Pantoja *et al.* em 2018, busca encontrar a probabilidade de falha da estrutura. O trabalho pautou-se na metodologia GDE/UnB devido à sua facilidade de aplicação e à possibilidade de acoplamento a softwares estruturais existentes. Na metodologia GDE parametrizada, após escolher com clareza a estrutura a ser estudada e dividi-la em família e elementos, aplica-se os Fatores de Ponderação (F_p) e Fatores de Intensidade (F_i) a cada uma das patologias de cada elemento. Entretanto, o diferencial dessa metodologia é que as escalas dos F_p e F_i variam de 0 a 1, de modo a parametriza-los para acoplar a probabilidade. As escalas de valores propostas pelo trabalho original de Fonseca (2007) foram mantidas.

Com a mudança da escala, fez-se necessário adaptar também a formulação do do modelo de dano e, por consequência, as equações de dano. Essas são as (26 e (27, utilizadas também no Método MAIS, apresentadas no tópico 5.2.

Transforma-se então o Dano (D) de cada elemento em Fator de Integridade do Elemento através da equação (21).

$$I_i = [1 - D(F_i, F_p)] \quad (21)$$

Onde:

I_i : Fator de integridade do dano;

D : Dano de cada patologia do elemento.

Para determinar o fator de integridade de cada elemento, faz-se a média de todos os danos presentes nele levando em consideração apenas os Danos maiores que 0,2, o que difere do modelo original. Tal fato procura evitar o mascaramento de valores altos devido à presença desses valores baixos.

$$P \quad D > 0,2 \rightarrow F_{i1} = \mu F_i \quad (22)$$

Onde:

μ : média;

F_{ij} : Fator de integridade do elemento;

F_{ij} : Fator de integridade do dano.

Calcula-se então a média dos fatores de integridade dos elementos de uma família, sendo ele a média do fator de integridade de cada um dos elementos, conforme equação (23).

$$F_{ij} = \mu F_{ij} \quad (23)$$

Onde:

F_{ij} : Fator de integridade da família;

F_{ij} : Fator de integridade do elemento;

Em seguida, para cada família, aplica-se um peso relacionado com o grau de relevância estrutural dela, valores estes tabelados que também variam de 0 a 1 e sua soma deve ser 1. Faz-se então o acoplamento do nível de segurança da estrutura através do Índice de Confiabilidade (β). Levantando a hipótese que a variação do índice de confiabilidade dos elementos, famílias e estrutura seguem a mesma lei de comportamento que o fator integridade, é permitido de forma simplificada o acoplamento do nível de segurança da estrutura. Assim torna-se possível encontrar a Probabilidade de Falha (P_f) condicionada através da equação (24).

$$P(F/I) = \frac{P(F \cap I)}{P(I)} \quad (24)$$

Associar a integridade e a segurança é vantajoso em um modelo de avaliação de uma estrutura pois são mais fiéis por considerarem as incertezas no momento dos *inputs*. À vista disso a Metodologia GDE Parametrizada faz parte do início do nascimento do Método MAIS, proposta que a presente tese faz, com um modelo mais completo para determinar prioridades em um sistema e a probabilidade de falha dele. Tal método que também acopla uma análise probabilística será exposto no item 5.

5. MÉTODO MAIS: MÉTODO ACOPLADO INTEGRIDADE E SEGURANÇA

5.1 Introdução

O processo de avaliar uma edificação é bem diferente do de projetar novas estruturas. Ao construir uma edificação do zero o fluxo de forças atuantes segue a escolha do sistema estrutural e dos materiais utilizados. Já avaliar uma estrutura já edificada apresenta mais variáveis e incertezas, uma vez que o comportamento da estrutura durante seu tempo de uso depende de diversos fatores, como o desgaste natural, as condições meteorológicas e o modo que os usuários trataram a edificação, e a maioria destes fatores não podem ser controlados.

As diversas fontes de incerteza indicam que avaliar uma estrutura apresenta um caráter não determinístico. Os parâmetros a serem considerados dependem da escolha do profissional que avalia a edificação e nem sempre estão disponíveis, além do que, a complexidade dos fenômenos de degradação e como eles interagem com a estrutura dificultam a formulação de métodos em que os processos químicos, físicos e mecânicos estejam diretamente correlacionados.

A crescente onda de sustentabilidade junto com o fato de que, principalmente nas grandes cidades, os espaços disponíveis para novas obras estão escassos fazem com que a manutenção e boa conservação dos edifícios já edificados ganhem maior destaque e atenção da sociedade civil e dos profissionais da área. Isso posto, surge também a necessidade de sistematizar e impor diretrizes mínimas que uniformizem metodologias. A NBR 16747 – Inspeção Predial: Diretrizes, conceitos, terminologias e procedimento - (ABNT, 2020) é uma evidência dessa constatação.

Modelos refinados foram propostos nos últimos anos, entretanto sua complexidade dificulta seu emprego na prática. Desse modo apresenta-se aqui o Método Acoplado Integridade e Segurança - Método MAIS - que busca quantificar a integridade da edificação via identificação da patologia e se destaca devido à fácil aplicabilidade, por considerar as incertezas nos dados, por ter os *inputs* parametrizados, o que facilita a coleta das variáveis de entrada e dá velocidade à inspeção e ao processo, além de fazer com que as duas abordagens (os fenômenos de degradação e de avaliação de resistência da estrutura) interajam, no qual o uso da probabilidade oferece um resultado mais assertivo. Ensaios não são essenciais, sendo usados apenas para refinar o método. Um3a outra

vantagem é que também pode ser aplicado com o uso de modelagens. Os métodos de avaliação estrutural em concreto armado previamente apresentados foram referências essenciais para a criação do Método MAIS.

O Método MAIS pode ser aplicado de duas maneiras: o Modo 1 e o Modo 2.

O Modo 1 é através do levantamento de dados via inspeção *in loco*, no qual matrizes de desempenho são montadas e, através de formulações matemáticas simples, programáveis em um sistema computacional de pequeno porte, determina-se o fator de integridade de cada elemento, de cada classe e global, além do risco da estrutura, levando em consideração as incertezas através do acoplamento do índice de confiabilidade.

Já no Modo 2 uma modelagem em algum *software* especializado deve ser realizada. Também ocorre a fase de levantamento de dados via inspeção sensorial *in loco*. O diferencial é que essa inspeção é aplicada somente aos elementos. Então, ao introduzir os dados no *software*, antes de rodar a estrutura, os módulos de elasticidade (E) e Inércia (I) são alterados de modo que reflitam a deterioração levantada daquele elemento, alterando os esforços, deslocamentos e rotações da estrutura, ou seja, alterando a sua resposta. Deprecia-se aquele *input* de modo que o resultado seja mais assertivo. Mais sobre esses modos de aplicação será explicado no item 5.7.

Dois pontos fundamentais para o sucesso da metodologia são o modelo de integridade e a escala utilizada para parametrizar os Fatores de *inputs*, uma vez que eles determinam as formulações utilizadas e, conseqüentemente, sua assertividade. Por terem tamanha relevância, esses serão os primeiros tópicos abordados a seguir.

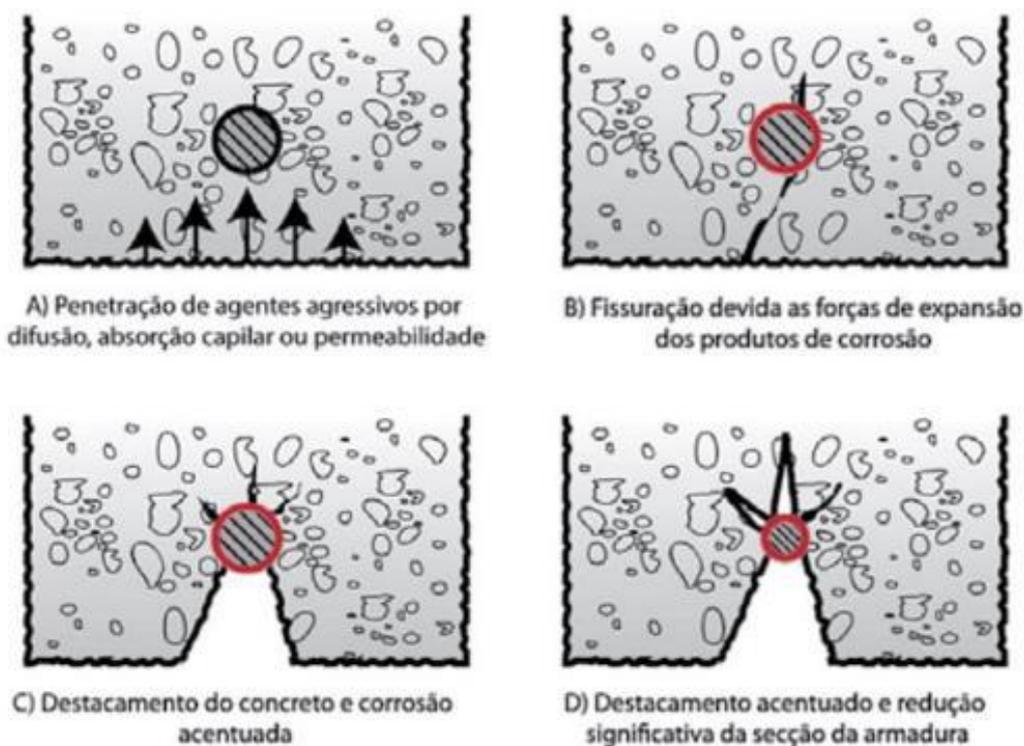
5.2 Modelos de Integridade

Durante o desenvolvimento do Método MAIS um dos desafios foi encontrar o modelo de integridade mais adequado, pois é a partir dele que se partem as formulações a serem utilizadas na programação. Partindo da premissa que o Modelo de Integridade das patologias é o complementar do Modelo de Dano, ele apresenta o comportamento invertido e é representado pela equação (25).

$$I_1 = 1 - D \quad (25)$$

O primeiro modelo de integridade testado é o de Tuutti (1982) que é fundamentado no fenômeno de corrosão de armaduras, por isso é relevante entender esse processo, explicado na Figura 28.

Figura 28: Evolução esquemática do fenômeno de corrosão da armadura.



Fonte: Helene (1986).

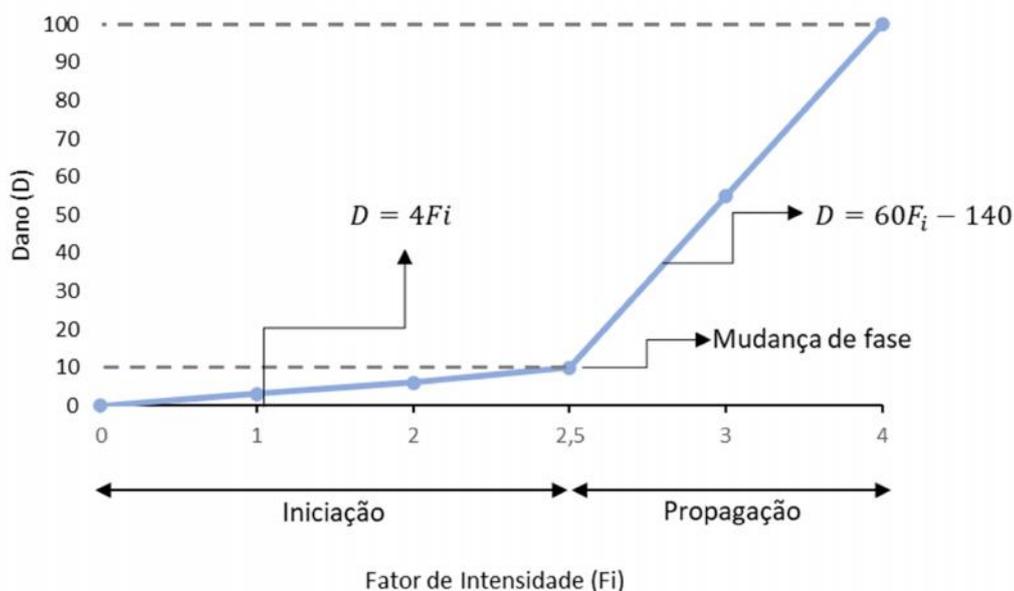
A primeira fase, a iniciação, representada pela Etapa A da Figura 28, envolve a lenta penetração de substâncias deletérias (carbonatação e/ou penetração de cloretos) na microestrutura do concreto até que atinjam um determinado nível limite, quando se iniciam os danos. Nessa fase a anomalia é praticamente imperceptível e dificilmente detectável em inspeções visuais, não representando disfunções na estrutura.

A segunda é a fase de propagação, representada pelas Etapas B, C e D da Figura 28, período no qual há um aumento na velocidade do processo de degradação. Nesse ponto as patologias passam a ser visíveis e detectáveis através de inspeção sensorial *in loco*, pois há corrosão ativa da ferragem

após a despассивação das armaduras até chegarem a níveis inaceitáveis de deterioração. Quando o pH do concreto desce a valores inferiores a 9-10, ou o teor de cloretos ultrapassa o valor crítico, inicia-se o processo de corrosão.

O Gráfico 5 mostra esse modelo em conformidade com as observações de Castro (1994) - item 4.2.2. O processo de iniciação leva 60% do tempo do processo e diminui em apenas 10% a integridade da estrutura. A segunda fase, a propagação, é a altura que a estrutura perde de 90% da integridade e leva 40% do processo. Essa segunda fase é a que interessa ao Método MAIS, por ser quando as manifestações patológicas se revelam e quando a estrutura efetivamente deteriora-se.

Gráfico 5: Modelo de Tuutti segundo observações de Castro (1994) quando $F_p = 1$.



Fonte: Castro (1994) adaptado pela autora.

O segundo modelo testado pauta-se na curva de Heidecke, utilizada em modelos de depreciação para avaliações e perícias em engenharia, que utiliza o estado de conservação do patrimônio como parâmetro na análise. Ele definiu os valores apresentados na Tabela 3 para classificar o estado de conservação da edificação.

Tabela 3: Valores do Estado de Conservação do Imóvel segundo Heidecke.

ESTADO DA EDIFICAÇÃO	DEPRECIACÃO (%)
Nova	0,00
Entre nova e regular	0,32
Regular	2,52
Entre regular e reparos simples	8,09
Reparos simples	18,10
Reparos Simples e Importantes	33,20
Reparos lportantes	52,60
Reparos importantes e edificação sem valor	75,20
Edificação sem valor	100,00

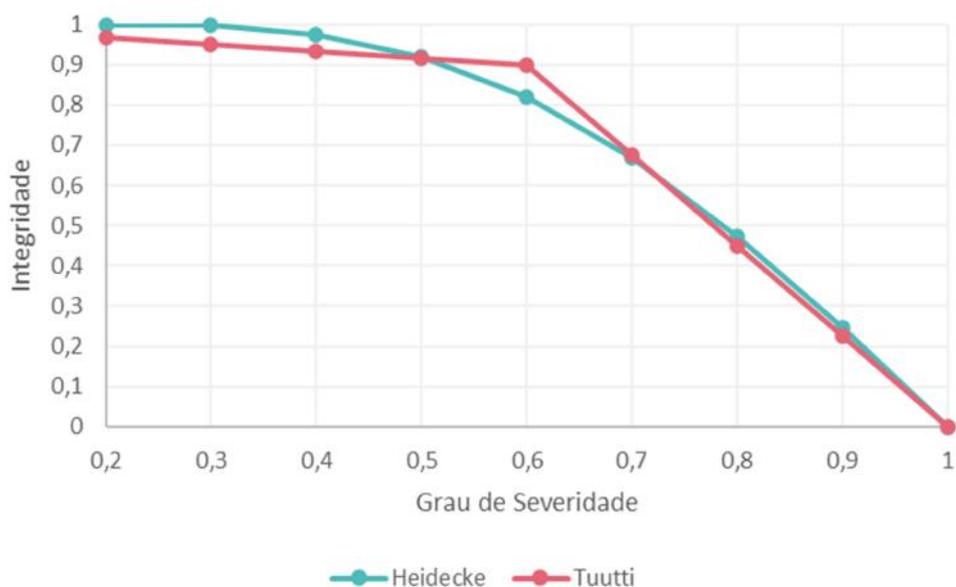
Estado da Edificação:

0,2 - Novo	0,7 - Entre reparos simples e importante
0,4 - Regular	0,8 - Reparos importantes
0,5 - Entre regular e reparos simples	0,9 - Entre reparos importantes e sem valor
0,6 - Reparos simples	1,0 - Sem valor

Fonte: Lúcio (2017), adaptado pela autora.

Sabendo que o modelo de integridade é o inverso do Modelo de Dano, uma comparação entre os modelos de integridade e Heidecke e Tuutti pode ser visualizada no Gráfico 6.

Gráfico 6: Modelos de Integridade de Heidecke e Tuutti para $F_p = F_d = 1$.



Com esses comportamentos definidos, as formulações de Dano (D) retiradas dos modelos são as equações (26) e (27), fundamentadas nas duas fases de Tuutti, e a equação (28) fundamentada em Heidecke.

$$S \quad F_i \leq 0,6 \rightarrow D = 0,166 * F_i * F_d \quad (26)$$

$$S \quad F_i > 0,6 \rightarrow \leq D = (2,25F_i - 2,25) * F_d \quad (27)$$

ou

$$D = (1,9738 F_i^2 - 1,1187 F_i + 0,1513) * F_d \quad (28)$$

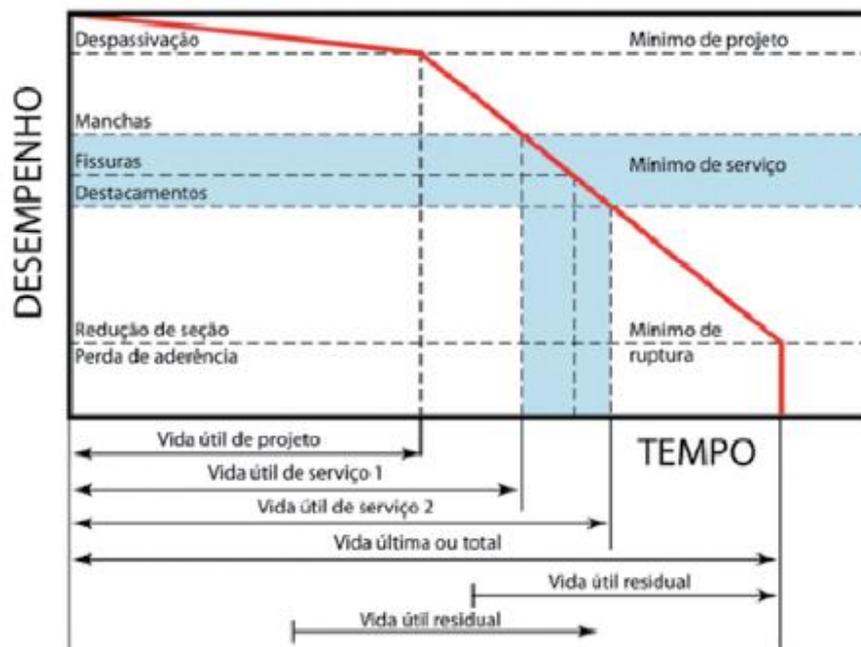
5.3 Escalas

Outro grande incentivo da pesquisa foi encontrar a escala mais apropriada para os *inputs*, no caso, os Fatores de Dano, de Intensidade e de Extensão. Este último fator foi incluído no Modelo de Tuutti adaptado por Castro (1994). Através de testes das calibrações, foi constatado que a escala tem grande peso no sucesso do método e adequá-la era necessário. Então julgou-se necessário um estudo mais completo. Conforme dito no tópico anterior, no modelo de Tuutti, 10% da degradação ocorre na fase de iniciação (correspondente a 60% do processo), enquanto na fase de propagação ocorre 90% do processo de degradação (corresponde a 40% do processo). Essas observações estão de acordo também com a conceituação do fenômeno de corrosão da armadura de acordo com Helene (1986), conforme Figura 29.

Ele divide esse processo em três fases: vida útil de projeto, vida útil de serviço e vida última. A vida útil de projeto corresponde à fase de iniciação no modelo de Tuutti, sendo o período de tempo que vai até a despassivação da armadura, e esse é o período que deve ser adotado em projetos, a favor da segurança. A vida útil de serviço já está dentro da fase de propagação de Tuutti e vai até o momento em que as primeiras manchas e fissuras aparecem. A vida última equivale ao período de tempo levado até a ruptura ou colapso da estrutura. A Figura 29 confirma que a fase de propagação do modelo de Tuutti é a que efetivamente interessa aos profissionais da avaliação

estrutural, devido à velocidade do avanço da degradação e também por ser quando as patologias são efetivamente visíveis, reafirmando a necessidade de adequação da escala.

Figura 29: Fenômeno de corrosão de armaduras.



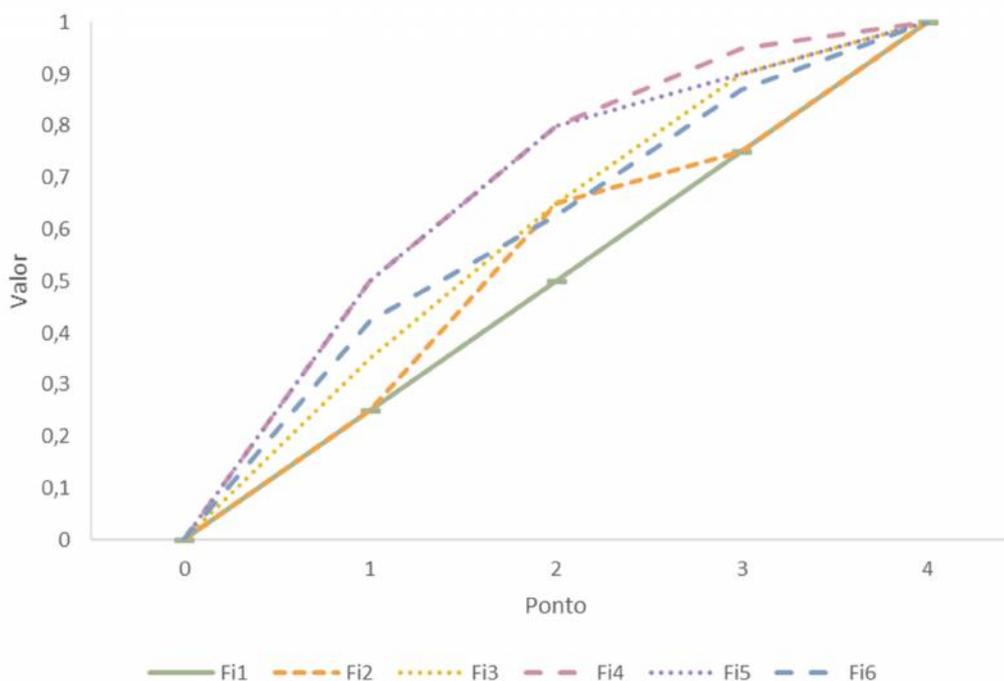
Fonte: Helene, 1986.

Via utilização do *software* MatLab (2018), seis escalas compostas por cinco pontos, uma vez que são cinco os pesos possíveis a serem atribuídos ao Fator de Intensidade (F_i), foram testados. São as representadas pelas matrizes F_{i1} a F_{i6} na Figura 30. O Gráfico 7 representa graficamente o comportamento dessas escalas, revelando seus comportamentos.

Figura 30: Matrizes utilizadas em teste de escala para o Fator de Intensidade (F_i).

$$F_{i1} := \begin{pmatrix} 0 \\ 0.25 \\ 0.5 \\ 0.75 \\ 1 \end{pmatrix} \quad F_{i2} := \begin{pmatrix} 0 \\ 0.25 \\ 0.65 \\ 0.75 \\ 1 \end{pmatrix} \quad F_{i3} := \begin{pmatrix} 0 \\ 0.35 \\ 0.65 \\ 0.90 \\ 1 \end{pmatrix} \quad F_{i4} := \begin{pmatrix} 0 \\ 0.5 \\ 0.8 \\ 0.95 \\ 1 \end{pmatrix} \quad F_{i5} := \begin{pmatrix} 0 \\ 0.5 \\ 0.8 \\ 0.9 \\ 1 \end{pmatrix} \quad F_{i6} := \begin{pmatrix} 0 \\ 0.4226 \\ 0.6265 \\ 0.87 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Gráfico 7: Comportamento das Escalas de Fator de Integridade (F_i).



Para o Fator de Dano (F_d) do método MAIS, foram testadas cinco escalas de seis pontos, mostradas nas matrizes F_{d1} a F_{d5} da Figura 31, cujos comportamentos são apresentados no Gráfico 8.

Figura 31: Matrizes utilizadas em teste de escala para o Fator de Dano (F_d).

$$F_{d1} := (0 \quad 0.2 \quad 0.4 \quad 0.6 \quad 0.8 \quad 1)$$

$$F_{d2} := (0 \quad 0.2 \quad 0.45 \quad 0.7 \quad 0.9 \quad 1)$$

$$F_{d3} := (0 \quad 0.3 \quad 0.6 \quad 0.8 \quad 0.9 \quad 1)$$

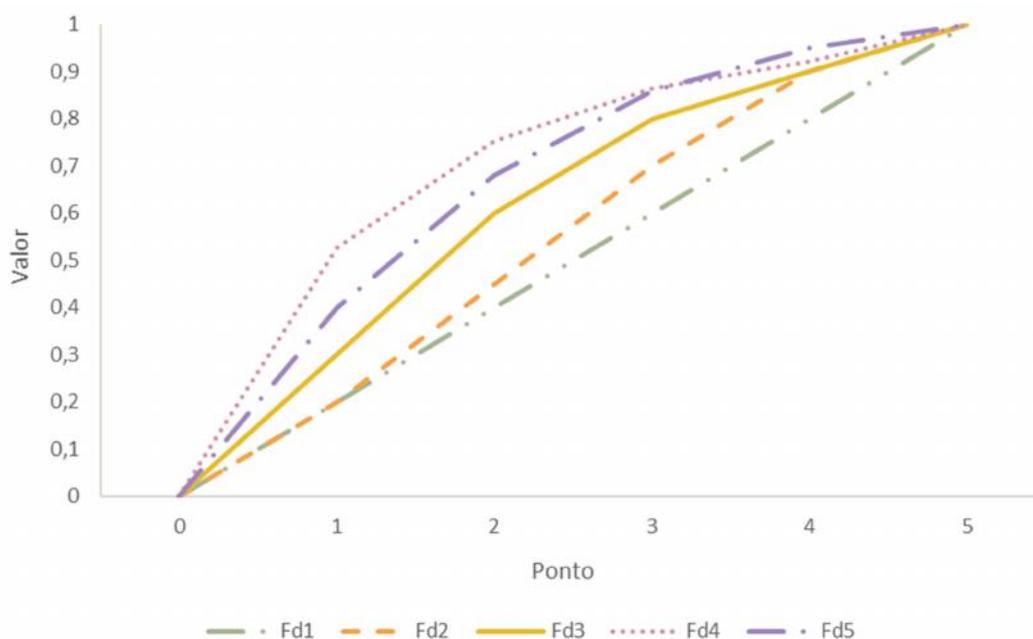
$$F_{d4} := (0.0032 \quad 0.526 \quad 0.752 \quad 0.865 \quad 0.9215 \quad 1)$$

$$F_{d5} := (0 \quad 0.4 \quad 0.68 \quad 0.85 \quad 0.95 \quad 1)$$

As matrizes F_{i1} a F_{i5} e F_{d1} a F_{d3} são escalas que seguem aos fundamentos de Tuutti (1982) e as recomendações de Castro (1994). As escalas baseadas em uma única equação polinomial (F_{i6} ; F_{d4} e F_{d5}) tiveram seus pontos descobertos via interpolação polinomial da equação que obedece aos fundamentos de Heidecke. Essas matrizes F_i foram cruzadas com as matrizes F_d via

Equações (26), (27) e (28) para encontrar o Dano. A Figura 32 e Figura 33 mostram os resultados encontrados nas matrizes D_1 a D_5 .

Gráfico 8: Comportamento das escalas de Fator de Dano (F_d).



A fase de propagação é a que interessa para a avaliação estrutural, por isso é favorável que ao menos 30% dos resultados encontrem-se no grupo w_1 : valores da matriz acima ou igual a 0,4. As matrizes D_1 , D_2 e D_3 se destacaram nesse sentido com 30% de seus valores dentro desse grupo. Baseado em todo esse estudo, após muitos testes e calibrações, duas escalas foram escolhidas para os Fatores usados no Método MAIS: os Fatores de Dano, Intensidade e Extensão (melhores explicados nos itens 5.5.2, 5.5.3 e 5.5.4). A Tabela 4 apresenta essas duas escalas: uma linear (fundamentada em Tuutti) e uma cúbica (fundamentada em Heidecke); além do atributo que representa esses valores.

Figura 32: Matrizes de estudo da escala para Método MAIS.

$F_{i1} \times F_{d1}$ $D_1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 8.3 \times 10^{-3} & 0.017 & 0.025 & 0.033 & 0.042 \\ 0 & 0.017 & 0.033 & 0.05 & 0.066 & 0.083 \\ 0 & 0.088 & 0.175 & 0.263 & 0.35 & 0.438 \\ 0 & 0.2 & 0.4 & 0.6 & 0.8 & 1 \end{pmatrix}$ $w_1 = \frac{5}{30} = 0,167 \quad ww_1 = \frac{25}{30} = 0,833$	$F_{i1} \times F_{d2}$ $D_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 8.3 \times 10^{-3} & 0.019 & 0.029 & 0.037 & 0.042 \\ 0 & 0.017 & 0.037 & 0.058 & 0.075 & 0.083 \\ 0 & 0.088 & 0.197 & 0.306 & 0.394 & 0.438 \\ 0 & 0.2 & 0.45 & 0.7 & 0.9 & 1 \end{pmatrix}$ $w_2 = \frac{5}{30} = 0,167 \quad ww_2 = \frac{25}{30} = 0,833$
$F_{i1} \times F_{d3}$ $D_3 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.012 & 0.025 & 0.033 & 0.037 & 0.042 \\ 0 & 0.025 & 0.05 & 0.066 & 0.075 & 0.083 \\ 0 & 0.131 & 0.263 & 0.35 & 0.394 & 0.438 \\ 0 & 0.3 & 0.6 & 0.8 & 0.9 & 1 \end{pmatrix}$ $w_3 = \frac{5}{30} = 0,167 \quad ww_3 = \frac{25}{30} = 0,833$	$F_{i2} \times F_{d1}$ $D_4 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 8.3 \times 10^{-3} & 0.017 & 0.025 & 0.033 & 0.042 \\ 0 & 0.043 & 0.085 & 0.128 & 0.17 & 0.213 \\ 0 & 0.132 & 0.265 & 0.397 & 0.53 & 0.662 \\ 0 & 0.2 & 0.4 & 0.6 & 0.8 & 1 \end{pmatrix}$ $w_4 = \frac{6}{30} = 0,2 \quad ww_4 = \frac{24}{30} = 0,8$
$F_{i2} \times F_{d2}$ $D_5 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 8.3 \times 10^{-3} & 0.019 & 0.029 & 0.037 & 0.042 \\ 0 & 0.043 & 0.096 & 0.149 & 0.191 & 0.213 \\ 0 & 0.132 & 0.298 & 0.464 & 0.596 & 0.662 \\ 0 & 0.2 & 0.45 & 0.7 & 0.9 & 1 \end{pmatrix}$ $w_5 = \frac{7}{30} = 0,233 \quad ww_5 = \frac{23}{30} = 0,767$	$F_{i2} \times F_{d3}$ $D_6 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.012 & 0.025 & 0.033 & 0.037 & 0.042 \\ 0 & 0.064 & 0.128 & 0.17 & 0.191 & 0.213 \\ 0 & 0.131 & 0.263 & 0.35 & 0.394 & 0.438 \\ 0 & 0.3 & 0.6 & 0.8 & 0.9 & 1 \end{pmatrix}$ $w_6 = \frac{7}{30} = 0,233 \quad ww_6 = \frac{23}{30} = 0,767$
$F_{i3} \times F_{d1}$ $D_7 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.012 & 0.023 & 0.035 & 0.046 & 0.058 \\ 0 & 0.043 & 0.085 & 0.128 & 0.17 & 0.213 \\ 0 & 0.155 & 0.31 & 0.465 & 0.62 & 0.775 \\ 0 & 0.2 & 0.4 & 0.6 & 0.8 & 1 \end{pmatrix}$ $w_5 = \frac{7}{30} = 0,233 \quad ww_5 = \frac{23}{30} = 0,767$	$F_{i3} \times F_{d2}$ $D_8 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.012 & 0.026 & 0.041 & 0.052 & 0.058 \\ 0 & 0.043 & 0.096 & 0.149 & 0.191 & 0.213 \\ 0 & 0.155 & 0.349 & 0.542 & 0.697 & 0.775 \\ 0 & 0.2 & 0.45 & 0.7 & 0.9 & 1 \end{pmatrix}$ $w_8 = \frac{8}{30} = 0,233 \quad ww_8 = \frac{22}{30} = 0,767$

Figura 33: Matrizes de estudo da escala para Método MAIS - Continuação.

$F_{i3} \times F_{d3}$ $D_9 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.017 & 0.035 & 0.046 & 0.052 & 0.058 \\ 0 & 0.064 & 0.128 & 0.17 & 0.191 & 0.213 \\ 0 & 0.232 & 0.462 & 0.62 & 0.697 & 0.775 \\ 0 & 0.3 & 0.6 & 0.8 & 0.9 & 1 \end{pmatrix}$ $w_9 = \frac{11}{30} = 0,367 \quad ww_9 = \frac{19}{30} = 0,633$	$F_{i3} \times F_{d2}$ $D_{10} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.012 & 0.026 & 0.041 & 0.052 & 0.058 \\ 0 & 0.043 & 0.096 & 0.149 & 0.191 & 0.213 \\ 0 & 0.155 & 0.349 & 0.542 & 0.697 & 0.775 \\ 0 & 0.2 & 0.45 & 0.7 & 0.9 & 1 \end{pmatrix}$ $w_8 = \frac{8}{30} = 0,233 \quad ww_8 = \frac{22}{30} = 0,767$
$F_{i4} \times F_{d1}$ $D_{11} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.017 & 0.033 & 0.05 & 0.066 & 0.083 \\ 0 & 0.11 & 0.22 & 0.33 & 0.44 & 0.55 \\ 0 & 0.177 & 0.355 & 0.532 & 0.71 & 0.87 \\ 0 & 0.2 & 0.4 & 0.6 & 0.8 & 1 \end{pmatrix}$ $w_{10} = \frac{9}{30} = 0,3 \quad ww_{10} = \frac{21}{30} = 0,7$	$F_{i4} \times F_{d2}$ $D_{12} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.017 & 0.037 & 0.058 & 0.075 & 0.083 \\ 0 & 0.11 & 0.248 & 0.385 & 0.495 & 0.55 \\ 0 & 0.177 & 0.399 & 0.621 & 0.799 & 0.887 \\ 0 & 0.2 & 0.45 & 0.7 & 0.9 & 1 \end{pmatrix}$ $w_{11} = \frac{9}{30} = 0,3 \quad ww_{11} = \frac{21}{30} = 0,7$
$F_{i4} \times F_{d3}$ $D_{13} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.025 & 0.05 & 0.066 & 0.075 & 0.083 \\ 0 & 0.0165 & 0.33 & 0.44 & 0.495 & 0.55 \\ 0 & 0.266 & 0.532 & 0.71 & 0.799 & 0.887 \\ 0 & 0.3 & 0.6 & 0.8 & 0.9 & 1 \end{pmatrix}$ $w_{12} = \frac{11}{30} = 0,367 \quad ww_{12} = \frac{19}{30} = 0,633$	$F_{i6} \times F_{d5}$ $D_{14} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.028 & 0.048 & 0.06 & 0.067 & 0.07 \\ 0 & 0.064 & 0.109 & 0.136 & 0.152 & 0.16 \\ 0 & 0.283 & 0.481 & 0.601 & 0.672 & 0.708 \\ 0 & 0.4 & 0.68 & 0.85 & 0.95 & 1 \end{pmatrix}$ $w_{13} = \frac{9}{30} = 0,3 \quad ww_{13} = \frac{21}{30} = 0,7$
$F_{i5} \times F_{d4}$ $D_{15} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2.656 \times 10^{-4} & 0.044 & 0.062 & 0.072 & 0.076 & 0.083 \\ 1.76 \times 10^{-3} & 0.289 & 0.414 & 0.476 & 0.507 & 0.55 \\ 2.48 \times 10^{-3} & 0.408 & 0.583 & 0.67 & 0.714 & 0.775 \\ 3.2 \times 10^{-3} & 0.526 & 0.752 & 0.865 & 0.921 & 1 \end{pmatrix}$ $w_5 = \frac{7}{30} = 0,233 \quad ww_5 = \frac{23}{30} = 0,767$	

Onde:

w_1 : Valores da matriz acima ou igual a 0,4 - porcentagem do dano;

w_{-1} : Valores da matriz abaixo de 0,4 - porcentagem do dano.

Tabela 4: Escala geral e atributos dos Fatores de Dano, Intensidade e Extensão.

	Escala de Importância	Atributo	Escala	
			Linear	Cúbica
Fator de Dano	---	---	0	0
	---	---	0,2	---
	Pouca	A	0,4	0,4226
	Intermediária	B	0,6	0,6265
	Importante	C	0,8	0,87
	Muito importante	D	1	1
	Lesões	Atributo	Escala	
			Linear	Cúbica
Fator de Intensidade	Sem lesões	---	0	0
	Lesões leves	A	0,25	0,4226
	Lesões toleráveis	B	0,50	0,6265
	Lesões graves	C	0,75	0,87
	Lesões críticas	D	1	1
		Extensão da patologia (%)	Atributo	Escala
Linear				Cúbica
Fator de Extensão	< 2	---	0	0
	02 - 10	A	0,25	0,4226
	10 - 30	B	0,50	0,6265
	30 - 70	C	0,75	0,87
	≥ 70	D	1	1

A escolha de usar um atributo foi feita para facilitar o entendimento da comparação entre as escalas e a programação, além de colaborar no caso de futuras alterações. Sabendo que essas duas escalas (linear e cúbica) podem ser utilizadas em dois diferentes modelos de integridade (Tuutti e Heidecke), quatro são as combinações possíveis e foram testadas nessa pesquisa. Essas quatro combinações foram nomeadas tal qual Tabela 5. Com a definição das escalas adotadas, a próxima etapa é verificar sua calibração, que será exposto no próximo item.

Tabela 5: Letreiros das combinações testadas.

Modelo de Dano	Escala	
	Linear	Cúbica
Tuutti	TL	TC
Heidecke	HL	HC

5.4 Calibração

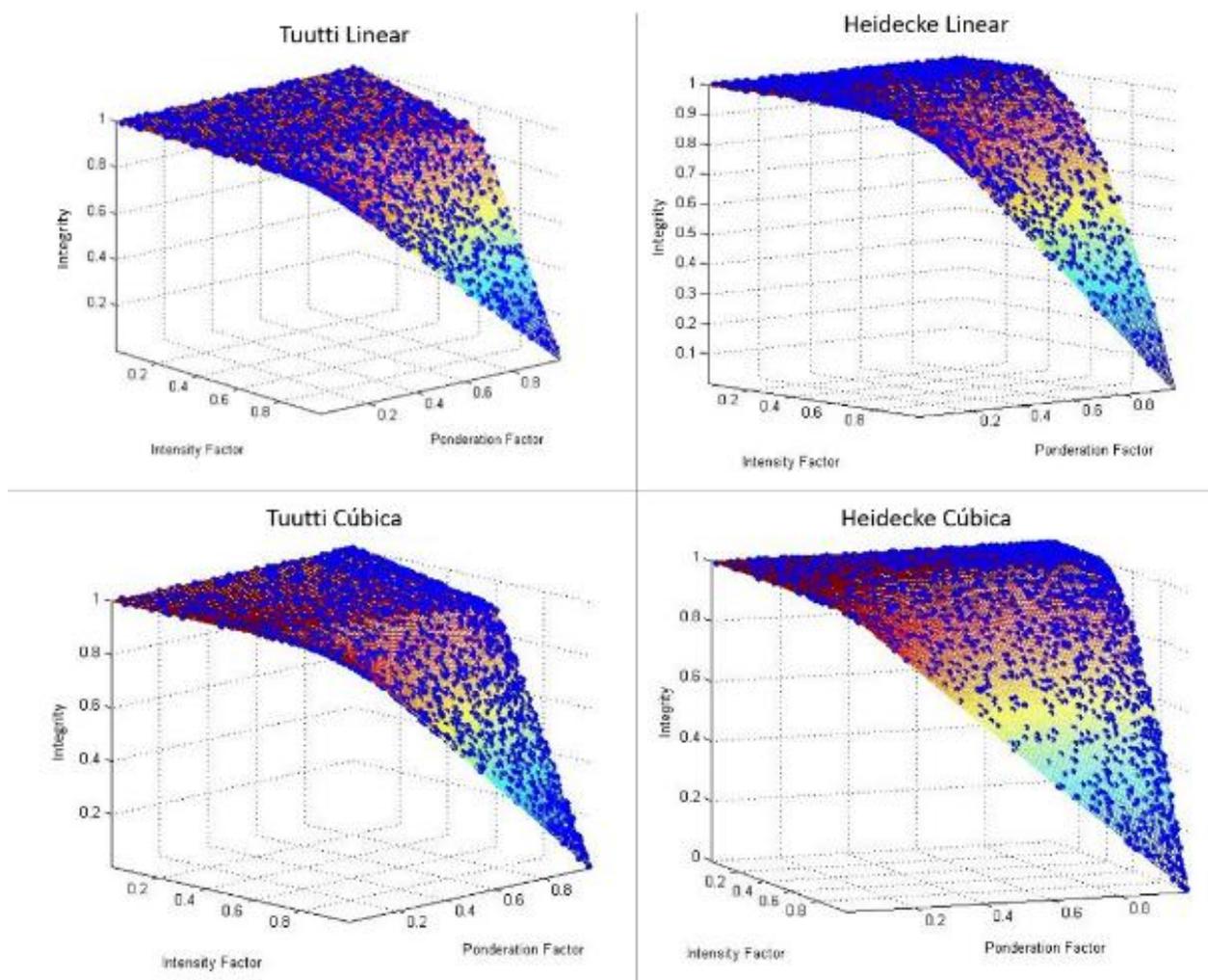
Em ordem de realizar uma reflexão mais profunda sobre o modelo de integridade e a escala mais adequados, uma calibração testando todos os valores possíveis entre 0 e 1 para os Fatores de Dano e de Integridade foi realizada. Para tal foram gerados, através do *software* MatLab (2018), as superfícies de integridade dessas quatro combinações (Tabela 5) em ordem de compará-las. A Figura 34 mostra a Integridade encontrada para cada Fator de Dano/Ponderação (Ponderation Factor) e Fator de intensidade (Intensity Factor) possíveis.

Assim sendo, nota-se que:

- Nas quatro combinações seus comportamentos são bastante similares e válidos;
- Ainda que sutil, na primeira fase, ou seja, quando $F \leq 0,6$, o modelo de Tuutti é mais cauteloso, resultando em danos maiores;
- Na segunda fase o modelo de Heidecke oferece uma curva mais brusca e com resultados menos espalhados. A superfície tende mais rapidamente ao fator de integridade zero. Ou seja, na segunda fase, o modelo de Heidecke é mais conservador;
- Em ambos os casos a escala cúbica apresenta resultados mais prudentes.

Em vista dos estudos sobre o modelo de integridade e escala adequados, etapas fundamentais para o desenvolvimento da metodologia, eles agora devem ser testados e comparados para determinar o mais adequado.

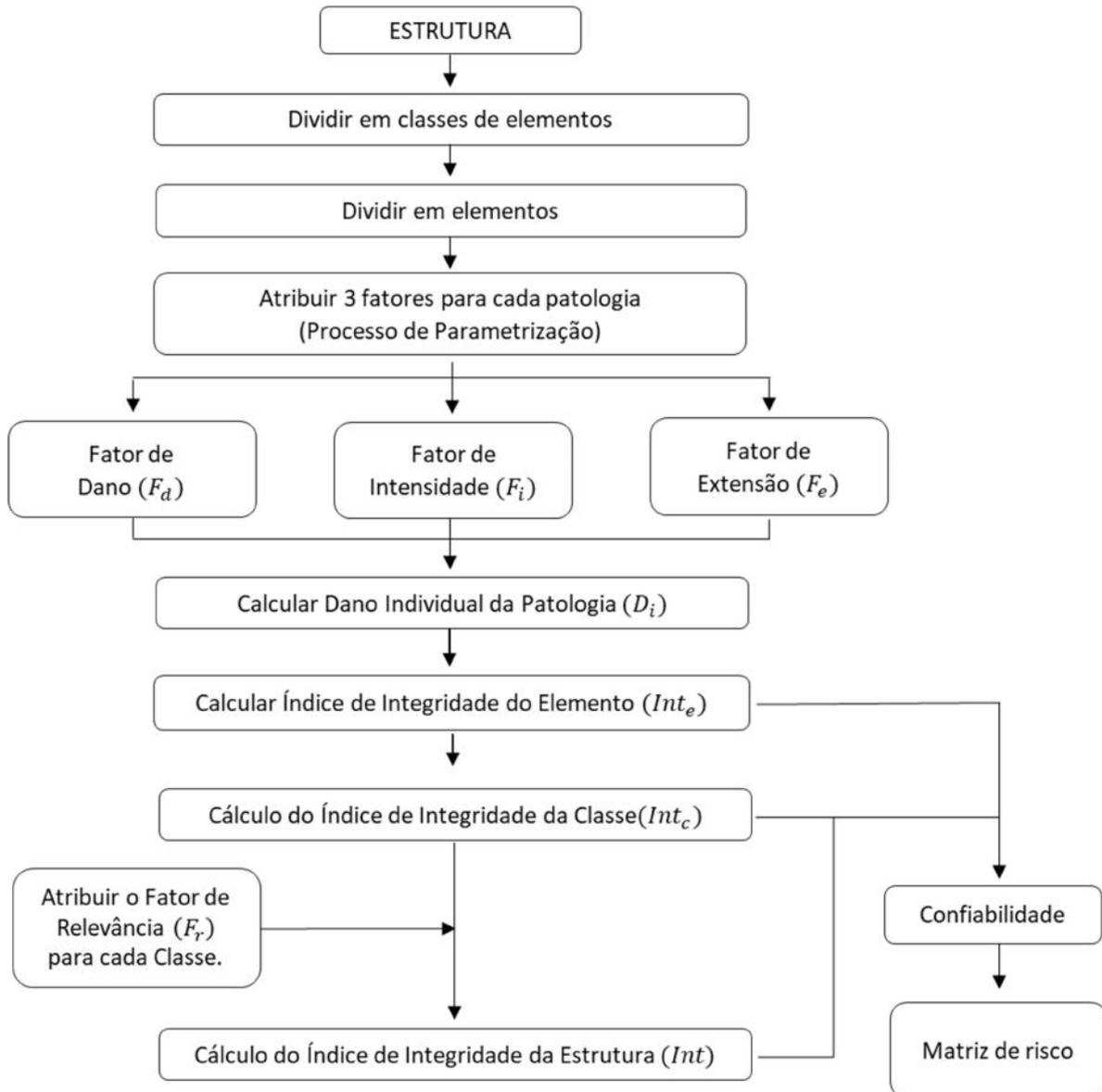
Figura 34: Superfícies de integridade de Tuutti e Heidecke com escalas linear e cúbica.



5.5 Descrição do Método MAIS – Modo 1

O fluxograma do Método MAIS (Figura 35) mostra o procedimento a ser seguido de forma sistematizada para encontrar o grau de integridade da estrutura e o seu risco. Deve-se seguir o Roteiro de Inspeção apresentado no Anexo A. Esse caderno apresenta as informações básicas para uma vistoria, além de matrizes de desempenho a serem preenchidas pelo profissional ou equipe especializada responsável que são necessárias para seguir o fluxograma.

Figura 35: Fluxograma Método MAIS.



O primeiro passo é saber com clareza o objetivo da avaliação, a edificação e qual sessão da estrutura será avaliada. Deve-se ter conhecimento satisfatório sobre o imóvel através de anamnese, estudo dos projetos e inspeções visuais com registro fotográfico. É importante obter o máximo de informações possível e investigar aspectos construtivos da obra como o período de início e de fim da construção, destinação original da edificação e utilização atual, materiais

utilizados, técnicas construtivas e fazer levantamento sobre as manutenções realizadas, caso existam, entre outros.

Decompõe-se então a estrutura em classes e cada classe é decomposta em componentes. Para o levantamento de dados realiza-se uma inspeção *in loco* com avaliação sensorial, em porte do *Roteiro de Inspeção* (Anexo A).

Recomenda-se que ocorram inspeções periódicas realizadas por profissionais habilitados da área, o que possibilita a verificação do desempenho dos elementos estruturais nos aspectos de segurança, funcionalidade e estética. Caso necessário, ensaios podem ser realizados para complementação de dados, não se fazendo essencial para um resultado satisfatório.

Em resumo, a metodologia consiste no levantamento de dados através de uma inspeção sensorial *in loco* na qual índices são atribuídos para os Fatores de Dano, Intensidade e Extensão de cada manifestação patológica presente. Com esses dados encontra-se a Integridade de cada elemento, da classe e da estrutura como um todo. Por fim, com o acoplamento de um Índice de Confiabilidade obtém-se o risco da estrutura. Tais valores são comparados a matrizes com valores limites pré-fixados que estabelecem o prazo em que a intervenção deve ser realizada e, assim, criar um plano de manutenção sistematizado e objetivo que interrompa ou diminua a evolução dos danos e diminua os custos de reparo. A seguir serão detalhadas etapas do processo.

5.5.1 Classificação das Classes de Elementos

Essa etapa é fundamental para o bom desenvolvimento da metodologia e consiste em categorizar em *classes* os elementos de uma edificação segundo suas características estruturais. Seguindo a mesma linha de raciocínio de Fonseca (2007), sugere-se dividir as classes em:

- Blocos de fundação;
- Cortinas (muro de arrimo);
- Elementos de composição arquitetônica;
- Escadas/Rampas;
- Juntas de dilatação;

- Lajes;
- Pilares;
- Reservatórios – superior e inferior;
- Vigas.

Os elementos de composição arquitetônica são de extremo valor para manter as características de uma construção, principalmente em se tratando de patrimônios nos quais os acabamentos são peça fundamental da caracterização e identificação de uma obra e de seu povo. Se necessário tais classes devem ser adaptadas ou subdivididas – por exemplo, subclassificar a classe de vigas em vigas principais e vigas secundárias – a critério da equipe responsável pela avaliação. A seguir serão apresentados os fatores a serem levantados para cada patologia na inspeção sensorial *in loco*.

5.5.2 Fator de Dano

O *Fator de Dano* (F_d) visa atribuir àquela patologia a importância relativa de um determinado dano em sua funcionalidade, estética e segurança naquele determinado componente. Tal valor varia a depender da classe avaliada, afinal, uma anomalia num pilar, principal responsável pela transmissão de carga, pode ser mais danoso para a estrutura globalmente que a mesma anomalia em uma laje, por exemplo.

Os valores de F_d específicos, de acordo com cada classe e manifestação patológica, são tabelados e são apresentados na Tabela 6 e na Tabela 7, que segue os atributos e a lógica geral da Tabela 4. Esse *input* varia entretanto no caso específico de fissuras, que a depender da sua causa e de quantas camadas da estrutura penetra pode afetar mais ou menos um componente. De todo modo esses valores continuam pré-fixados conforme mostra a Tabela 8, para fissuras derivadas do estado plástico do concreto, a Tabela 9, para as que surgem no estado endurecido e, por fim, Tabela 10 para fissuras de erros de projeto ou execução, ou cargas excessivas.

Tabela 6: Fatores de dano (F_d) por classe de elemento.

Vigas		Escadas / Rampas	
Dano	Fd	Danos	Fd
Carbonatação	B	Carbonatação	B
Cobrimento deficiente	B	Cobrimento deficiente	B
Contaminação por cloretos	C	Contaminação por cloretos	C
Corrosão de armaduras	D	Corrosão de armaduras	D
Desagregação	B	Desagregação	B
Desplacamento	B	Desplacamento	B
Eflorescência	A	Eflorescência	A
Falhas de concretagem	A	Falhas de concretagem	A
Fissuras	A a D*	Fissuras	A a D*
Flechas	D	Flechas	D
Manchas	B	Manchas	B
Sinais de esmagamento	C	Sinais de esmagamento	C
Umidade	B	Umidade	B

Elementos de Composição Arquitetônica		Fundação	
Dano	Fd	Dano	Fd
Carbonatação	B	Carbonatação	B
Cobrimento deficiente	B	Cobrimento deficiente	B
Contaminação por cloretos	C	Contaminação por cloretos	C
Corrosão de armaduras	D	Corrosão de armaduras	D
Desagregação	B	Desagregação	B
Desplacamento	B	Desplacamento	B
Eflorescência	A	Eflorescência	A
Falhas de concretagem	A	Falhas de concretagem	B
Fissuras	A a D*	Fissuras	A a D*
Manchas	B	Recalque	D
Sinais de esmagamento	D	Sinais de esmagamento	D
Umidade	B	Umidade na base	B

Reservatórios (Superior e Inferior)		Laje	
Danos	Fd	Dano	Fd
Carbonatação	B	Carbonatação	B
Cobrimento deficiente	B	Cobrimento deficiente	B
Contaminação por cloretos	C	Contaminação por cloretos	B
Corrosão de armaduras	D	Corrosão de armaduras	D
Desagregação	B	Desagregação	B
Desplacamento	D	Desplacamento	B
Eflorescência	A	Eflorescência	A
Falhas de concretagem	B	Falhas de concretagem	A
Fissuras	A a D*	Fissuras	A a D*
Impermeabilização deficiente	C	Flechas	D
Vazamento	D	Manchas	B
		Umidade	B

* Conforme Tabelas 8 e 9.

Fonte: autora, adaptado de Fonseca (2007).

Tabela 7: Fatores de dano (F_d) por classe de elemento (Continuação).

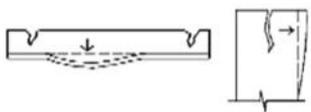
Pilares		Cortinas - Muro de Arrimo	
Danos	Letreiro	Danos	Fd
Carbonatação	B	Carbonatação	B
Cobrimento deficiente	B	Cobrimento deficiente	B
Contaminação por cloretos	C	Contaminação por cloretos	C
Corrosão de armaduras	D	Corrosão de armaduras	D
Desagregação	B	Desagregação	B
Desplacamento	B	Deslocamento por empuxo horizontal	D
Desvio de geometria	C	Desplacamento	B
Eflorescência	A	Desvio de geometria	B
Falhas de concretagem	B	Eflorescência	A
Fissuras	A a D*	Falhas de concretagem	A
Manchas	B	Fissuras	A a D*
Recalque	D	Manchas	B
Sinais de esmagamento	D	Sinais de esmagamento	D
Umidade na base	B	Umidade	B

Juntas de Dilatação	
Dano	Fd
Obstrução de junta	D
Umidade	D

* Conforme Tabelas 8 e 9.

Autora, adaptado de Fonseca (2007).

Tabela 8: F_d para diferentes tipologias de fissuras em estruturas de concreto armado no estado plástico.

	FISSURA	DESCRIÇÃO	CROQUI	ATRIBUTO
ESTADO PLÁSTICO	De retração plástica do concreto	- comuns em lajes e paredes - paralelas, superficiais e afastadas, de 0,3 m a 1 m		A
	De assentamento do concreto	- acompanham as armaduras - em pilares, ficam abaixo dos estribos; - interagem com armaduras vizinhas		B
	De movimentação de fôrmas	- indicam mau posicionamento, má fixação ou resistência insuficiente de fôrmas e escoramentos		B

Autora, adaptado de Fonseca (2007).

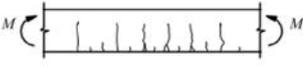
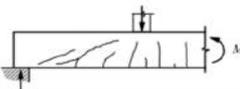
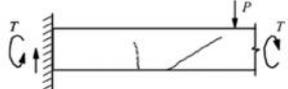
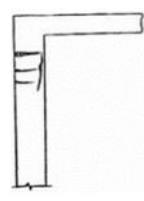
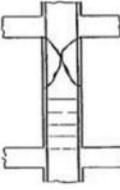
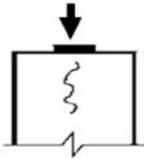
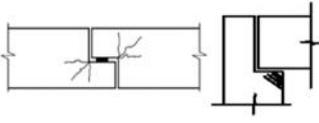
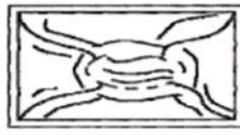
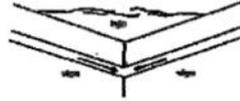
Tabela 9: F_d para diferentes tipologias de fissuras em estruturas de concreto armado no estado endurecido.

	FISSURA	DESCRIÇÃO	CROQUI	ATRIBUTO
ESTADO ENDURECIDO	De retração do concreto por secagem	<ul style="list-style-type: none"> - vigas podem ocasionar fissuras nos pilares e vice-versa, por diferenças de rigidez (a) - aspecto de mosaico em lajes e paredes, podendo aparecer em ambas as faces (b) - indicam restrição de movimentos - profundidade reduzida - aberturas de 0,1 mm a 0,2 mm 	<p>(a) (b)</p>	B
	Mapeadas	<ul style="list-style-type: none"> - mais visíveis em superfícies lisas de lajes e paredes - abertura e extensão reduzidas - indicam desempenho excessivo. - danos apenas estéticos, em geral 		A
	De variações de temperatura	<ul style="list-style-type: none"> - em geral, normais ao eixo de elementos lineares - indicam restrição de movimento por mau funcionamento de juntas de dilatação e/ou sua inexistência 	<p>Fissuras Quente/Frio Fissura</p>	B

Autora, adaptado de Fonseca (2007).

Lembrando que, no estado fresco, as principais propriedades desejadas são consistência, plasticidade, poder de retenção da água e trabalhabilidade. O concreto é considerado fresco até o momento em que sua pega tem início. Após o fim desse processo de pega o concreto é considerado endurecido e a propriedade mais desejada é a resistência à compressão. O endurecimento do concreto pode durar até dois anos, mas ao fim de 28 dias ele já possui de 75% a 90% de sua capacidade total.

Tabela 10: Fd para diferentes tipologias de fissuras em estruturas de concreto armado – Projeto, execução ou cargas excessivas.

	FISSURA	DESCRIÇÃO	CROQUI	ATRIBUTO
PROJETO / EXECUÇÃO OU CARGAS EXCESSIVAS	De flexão em vigas	- normais ao eixo, em trechos de momento fletor elevado e com boa aderência aço-concreto		C
	De força cortante flexão em vigas	- inclinadas nas duas faces - podem entrar na zona de compressão e se dirigir aos apoios		C
	De cortante, momentos de torção e flexão em vigas	- inclinadas em uma face - na face oposta: menor abertura e inclinação		C
	De 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		D
	De compressão	- paralelas ao eixo e convergindo para o centro nas proximidades de ruptura - indicam espaçamento excessivo ou deslocamento de estribos		D
	De carga concentrada em área reduzida	- Comuns em apoios de pontes, estruturas pré-moldadas e apoios indiretos - Indicam armaduras deficientes de fretagem e mau detalhamento		B
	Em apoios do tipo gerber (vigas e pilares)	- comuns em pontes e estruturas pré-moldadas - indicam armadura deficiente de aparelhos de apoio e/ou detalhamento inadequado		B
	De 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 bordos e com continuidade		C
	De momentos volventes	- em cantos de lajes extremas, podendo abrir nas duas faces - influenciadas por variações de temperatura e retração		B
De punção	- traçado circular e/ou radial em torno do pilar		D	

Autora, adaptado de Fonseca (2007).

5.5.3 Fator de Intensidade

O *Fator de intensidade* (F_i) busca quantificar o grau de severidade daquele determinado dano e depende apenas da patologia em si, não importando o elemento em que ele está presente ou a sua extensão. Tal atribuição é realizada *in loco* por um profissional do ramo, uma vez que fazer essa classificação não é tão simples, pois há a necessidade de observar não apenas a patologia, mas também o ambiente e contexto em que está inserida.

Uma classificação mais detalhada F_i é sugerida conforme Tabela 11, cujos letreros associam-se à Tabela 4.

Tabela 11: Classificação do Fator de intensidade e função dos danos.

DANO	ATRIBUTO	MANIFESTAÇÃO
Carbonatação	B	Sem atingir a armadura
	C	Atingindo a armadura, em ambiente seco
	D	Atingindo a armadura, em ambiente úmido
Cobrimento Deficiente	B	Menores que os previstos em norma sem, no entanto, permitir a localização da armadura
	C	Menor que o previsto em norma, permitindo a localização visual da armadura
	D	Deficiente, com armaduras expostas
Contaminação por Cloretos	B	Em elementos no interior sem umidade
	C	Em elementos no exterior sem umidade
	D	Em ambientes úmidos
Corrosão de armaduras	B	Manifestações leves
	C	Manchas e/ou fissuras de corrosão
	D	Corrosão acentuada na armadura principal, com perda relevante da seção
Desagregação	B	Início da manifestação
	C	Manifestações leves, início de estofamento do concreto
	D	Por perda acentuada de seção e esfarelamento do concreto
Deslocamento por empuxo	C	Deslocamento lateral da cortina no sentido horizontal, estável
	D	Deslocamento lateral da cortina no sentido horizontal, instável
Desplacamento	B	Lascamento sem exposição da armadura
	C	Lascamento com exposição da armadura
	D	Lascamento acentuado com perda relevante de seção

Autora, adaptado de Fonseca (2007).

Tabela 12: Classificação do Fator de intensidade e função dos danos (Continuação).

DANO	ATRIBUTO	MANIFESTAÇÃO
Desvios de geometria	B	Pilares e cortinas com excentricidade $\leq h/100$ (h = altura);
	C	Pilares e cortinas com excentricidades $h/100 \leq e < h/50$
	D	Pilares e cortinas com excentricidades $\geq h/50$
Eflorescência	B	Início de manifestações
	C	Presença de manchas
	D	Formações de crostas de carbonato de cálcio (estalactites).
Falha de concretagem	A	Superficial e pouco significativa em relação às dimensões da peça;
	B	Significante em relação às dimensões da peça;
	C	Profunda em relação às dimensões da peça, com ampla exposição da armadura
	D	Perda relevante da seção da peça
Fissuras	A	Abertura menores do que as máximas previstas em norma
	B	Estabilizadas, com abertura até 40% acima dos limites de norma;
	C	Aberturas excessivas; estabilizadas
	D	Aberturas excessivas; não estabilizadas.
Flechas	A	Não perceptíveis a olho nu
	B	Perceptíveis a olho nu, dentro dos limites previstos na norma;
	C	Superiores em até 40% às previstas na norma
	D	Excessivas
Impermeabilização Deficiente	B	Danos na camada protetora e/ou perda de elasticidade do material da impermeabilização
	C	Descontinuada, degradada em alguns pontos (manchas / pontos de infiltração)
	D	Degradação acentuada, com perda relevante da estanqueidade.
Manchas	C	Manchas escuras devido à presença de fungos, mofo, etc.
Obstrução de juntas de dilatação	B	Perda de elasticidade do material da junta; início de fissuras paralelas às juntas nas lajes adjacentes;
	C	Presença de material não compressível na junta; grande incidência de fissuras paralelas às juntas nas lajes adjacentes
	D	Fissuras em lajes adjacentes às juntas, com prolongamento em vigas e/ou pilares de suporte
Recalques	B	Indícios de recalque pelas características das trincas na alvenaria;
	C	Recalque estabilizado com fissuras em peças estruturais;
	D	Recalque não estabilizado com fissuras em peças estruturais.

Autora, adaptado de Fonseca (2007).

Tabela 13: Classificação do Fator de intensidade e função dos danos (Continuação).

DANO	ATRIBUTO	MANIFESTAÇÃO
Recalques	B	Indícios de recalque pelas características das trincas na alvenaria;
	C	Recalque estabilizado com fissuras em peças estruturais;
	D	Recalque não estabilizado com fissuras em peças estruturais.
Sinais de esmagamento do concreto	C	Desintegração do concreto na extremidade superior do pilar, causada por sobrecarga ou movimentação da estrutura; fissuras diagonais isoladas
	D	Fissuras de cisalhamento bidiagonais, com intenso lascamento e/ou esmagamento do concreto devido ao cisalhamento e a compressão, com perda substancial de material; deformação residual aparente; exposição e início de flambagem de barras da armadura.
Umidade	C	Indícios de umidade
	D	Presença de manchas
Umidade na base	C	Indícios de vazamentos em tubulações enterradas que podem comprometer as fundações
	D	Vazamentos em tubulações enterradas causando erosão aparente junto às fundações

Autora, adaptado de Fonseca (2007).

5.5.4 Fator de Extensão

Por fim, para calcular o *Dano*, julgou-se importante acrescentar mais um fator: o de Extensão, que classifica o nível de espalhamento da patologia no elemento, afinal, uma avaria em uma porção pequena do elemento representa um desgaste menor que uma avaria presente em grande parte do elemento. Pensando nisso, o Método MAIS acrescentou mais um fator de ponderação, o Fator de extensão (F_e), que segue a classificação apresentada na Tabela 4. Tal pontuação foi baseada na Norma Holandesa de avaliação de edificações (Ad Straub, 2009).

5.5.5 Índice de Integridade Individual da Manifestação Patológica

Cada manifestação patológica tem um comportamento e evolução diferente, que varia de acordo com diversos fatores como técnicas construtivas, utilização, manutenção, ambiente em que se encontra, materiais utilizados, entre outros. Parametrizar corretamente o grau de Dano Individual (D_i) de cada manifestação patológica, que busca traduzir em número o grau de deterioração que aquela anomalia causa naquele elemento é um grande desafio de pesquisadores da área, visto

que os modelos de dano conhecidos e usados são baseados apenas da corrosão, que foi adaptado à outras manifestações patológicas.

Como mostrado no item 5.2, são testados os modelos de dano de Tuutti e de Heidecke e duas escalas diferentes (linear e cúbica) a ver qual melhor se adapta ao caso. As formulações são regressões polinomiais dos gráficos e correspondem às (26, (27 e (28, adaptadas e agora também dependendo do Fator de Extensão. Referente ao modelo de Tuutti, as formulações são representadas pela equação (29) para a primeira fase (iniciação) e a equação (30) (propagação) para a segunda.

Formulação Tuutti Parametrizado:

$$S \quad F_i \leq 0,6 \rightarrow D_i = 0,166 * F_i * F_d * F_e \quad (29)$$

$$S \quad F_i > 0,6 \rightarrow \leq D_i = (2,25 F_i - 1,25) * F_d * F_e \quad (30)$$

Já fundamentado no modelo de Heidecke, utiliza-se a equação (31).

$$D_i = (1,9738 F_i^2 - 1,1187 F_i + 0,1513) F_d * F_e \quad (31)$$

Sabendo que o Índice de Integridade Individual de cada patologia é o complementar do seu Dano, ele é encontrado via equação (32).

$$I_{i \quad i} = 1 - D_i \quad (32)$$

Onde:

D_i : Dano individual da manifestação patológica;

F_i : Fator de intensidade;

F_d : Fator de dano;

F_e : Fator de extensão;

$I_{i \quad i}$: Índice de integridade individual da manifestação patológica

5.5.6 Índice de Integridade do Elemento

Em porte dos Danos Individuais de cada patologia (D_i) presente no elemento, pode-se encontrar o Dano do Elemento (D_e) como um todo, conforme (33).

Em resumo, na primeira parte da formulação, sobre o maior dano existente será acrescido uma média ponderada que representa as outras patologias presentes, tal qual Fonseca (2007). Já a segunda parte da equação ($m/2m - 1$) visa comparar esse valor da primeira parte com o maior valor de *Dano* possível para aquelas anomalias presentes, ou seja, o valor do *Dano* caso todos os seus fatores das manifestações patológicas presentes naquele elemento fossem iguais a 1, para parametrizar o resultado. Assim o D_e estima a porcentagem do elemento que está danificada.

Sabendo da premissa adotada na qual o a Integridade é o complementar do Dano, calcula-se o Índice de Integridade do Elemento (I_{I_e}), que estima a sua porcentagem que se encontra em boas condições através da (33) e (34).

$$D_e = D_{i_{\acute{a}x}} \left(1 + \frac{\sum_{i=1}^m D_i - D_{i_{\acute{a}x}}}{\sum_{i=1}^m D_i} \right) \times \frac{m}{2m - 1} \quad (33)$$

$$I_{I_e} = 1 - D_e \quad (34)$$

Onde:

D_e Dano do elemento;

D_i Dano individual da manifestação patológica;

$D_{i_{\acute{a}x}}$ Maior dano individual da manifestação patológica presente;

m Nº de manifestações patológicas presentes no elemento;

I_{I_e} Índice de integridade do elemento.

Vale ressaltar que até esse momento o método aplicado é o mesmo tanto para o Modo 1 quanto para o Modo 2 do Método MAIS. A partir do próximo item, a descrição refere-se apenas ao Modo 2.

5.5.7 Índice de Integridade da Classe

A obtenção do Índice de Integridade dos Elementos permite agora o cálculo do Índice de Integridade da Classe (I_{I_c}). Tal informação é relevante pois quantifica qual família de elementos encontra-se em melhor estado e, conseqüentemente, qual deve ser tratada primeiro. Primeiramente deve-se seguir a equação (35), proposta por Fonseca (2007) para encontrar o Dano da Classe (D_c) em que ao maior Dano do Elemento existente acrescenta-se uma média ponderada dos outros danos do elemento daquela mesma classe.

$$D_c = \frac{D_{e_{\text{áx}}} \left[\sqrt{1 + \frac{\sum_{i=1}^m D_{e(i)} - D_{e_{\text{áx}}}}{\sum_{i=1}^m D_{e(i)}}} \right]}{\sqrt{1 + \frac{n-1}{n}}} \quad (35)$$

Seguindo o mesmo raciocínio adotado nos tópicos anteriores, o Índice de Integridade da Classe é apresentado na equação (36).

$$I_{I_c} = 1 - D_c \quad (36)$$

onde:

D_c Dano da Classe;

$D_{e_{\text{áx}}}$ Dano do elemento máximo pertencente àquela classe;

n número de elementos que compõem a classe;

I_{I_c} Índice de integridade da classe.

5.5.8 Fator de Relevância

O Fator de Relevância (F_r) busca traduzir a importância relativa das classes que compõem a estrutura no seu bom comportamento e desempenho. O somatório do F_r deve ser igual a 1 e a sua definição não é fixa, conforme Tabela 14.

Tabela 14: Fator de Relevância

Fator de Relevância - Fr	
Classe 1	0,35
Classe 2	0,10
Classe 3	0,15
...	...
Classe N	0,20
$\Sigma = 1$	

Recomenda-se que as classes que recebem maior carga, que são os pilares, fundações e possíveis paredes estruturais, equivalham a 70% do Fator de Relevância; as vigas e lajes a 20% e as demais classes 10%, conforme Tabela 15. Esse fator não é fixo e é definido pela equipe especialista responsável a depender da tipologia da estrutura e de em quantas famílias ela foi decomposta.

Tabela 15: Sugestão de Fator de Relevância.

Classe	Σ Fr
Pilares	0,7
Fundações	
Parede estrutural	
Vigas	0,2
Lajes	
Reservatório	0,1
Escadas / rampas	
Cortinas	
Juntas de dilatação	
Componentes arquitetônicos	
$\Sigma = 1$	

5.5.9 Integridade da Estrutura

Um componente estrutural é considerado íntegro quando atende às funções para a qual foi projetado, cujos carregamentos máximos de trabalho são suportados de modo confiável, previsível e repetitivo, por tantos ciclos que forem necessários durante sua vida em serviço. Desse modo, encontra-se a Integridade da Estrutura (I_n), que estima a sua porcentagem que se encontra em bom estado analisando-a globalmente com relação a solicitação do projeto e é a soma do Índice de Integridade de cada Classe (I_c) ponderada pelo seu respectivo F_r , conforme equação (37).

$$I_1 = \sum I_{1c} \times F_r \quad (37)$$

Onde:

I_1 Índice de integridade da estrutura global;

I_{1c} Índice de integridade da classe;

F_r Fator de relevância.

Sabendo desse valor, que deve ser sempre entre 0 e 1, a Tabela 16 mostra a sua classificação e as ações a serem adotadas. Tabela 16: Classificação da Integridade e ações a serem adotadas.

Tabela 16: Classificação da Integridade e ações a serem adotadas.

CLASSIFICAÇÃO	INTEGRIDADE		
Alta	0,81	a	1,00
Média	0,51	a	0,80
Baixa	0,36	a	0,50
Sofrível	0,21	a	0,35
Crítica	0	a	0,20

5.5.10 Índice de Confiabilidade

Esse é o momento em que as incertezas entram na metodologia. O acoplamento do índice de confiabilidade é feito de forma simples, levando em consideração a premissa que a variação do Índice de Confiabilidade dos elementos, classes e estrutura segue a mesma lei de comportamento do Fator de Integridade, sendo representado através da equação (38).

$$\beta \approx I_1 (F_i, F_d, F_e, F_r) \cdot \varphi \quad (38)$$

Onde:

β Índice de Confiabilidade;

φ Nível de confiabilidade.

Os valores mínimos e máximos de φ devem seguir os valores de referência para estruturas existentes conforme Tabela 17 e variam, portanto, de 0,8 a 4,3. No presente trabalho esse valor é fixado em $\varphi = 4$

Tabela 17: Índices de confiabilidade referência.

Classe de consequência	Período mínimo de referência	β Nova		β Reparada		β Existente	
		WN	WD	WN	WD	WN	WD
		CCO	1 ano	3.3	2.3	2.8	1.8
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*

(1) Classes de 0 a 1 (CC0 e CC1) - aplicadas apenas em situações onde não houver dano à vida humana envolvido

(2) WN - Forças devido ao vento não são dominantes

(3) WD - Forças devido ao vento são dominantes

* Neste caso o índice do estado de confiabilidade (β) representa o nível mínimo para a segurança humana para as classes de circunstâncias e consequências sendo consideradas.

** Classificado com base nas provisões do Anexo C do EM 1990 (CEN (2002))

Fonte: fib Bulletin 62 (2010).

5.6 Matriz de Risco

A matriz de risco é uma ferramenta de gerenciamento que, conforme explicado no tópico 3.5.1., por usar cores, facilita a identificação dos riscos mais e menos graves. Julgou-se que essa ferramenta seria de grande contribuição ao Método MAIS, então ela foi incorporada. Pautada nos índices de confiabilidade referência (Tabela 17) criou-se a Matriz de risco MAIS (Figura 36), permitindo que através da confiabilidade (β) do elemento, classe ou estrutura possa identificar a sua probabilidade de falha e a sua consequência.

Figura 36: Matriz de risco Método MAIS.

Matriz de Risco		Consequência			
		Baixa	Média	Alta	Muito alta
Probabilidade de falha	Muito alta	0,84	0,52	0,25	0,00
	Alta	1,28	0,84	0,52	0,25
	Média-alta	2,32	1,28	0,84	0,52
	Média	3,09	2,32	1,28	0,84
	Baixa	3,72	3,09	2,32	1,28
	Muito baixa	4,00	3,72	3,09	2,32

A Tabela 18 apresenta a classificação desse risco encontrado de acordo com o Índice de Confiabilidade encontrada e as ações a serem tomadas.

Tabela 18: Classificação do Risco da estrutura e ações a serem tomadas.

Risco	Confiabilidade		Ações a serem tomadas
Extremamente Alto	0	a 0,24	Inspeção especial emergencial. Intervenção imediata.
Alto	0,25	a 0,68	Inspeção especial detalhada emergencial. Planejar intervenção em curto prazo (máx. 2 meses).
Médio-alto	0,69	a 1,8	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em curto prazo (máx. 6 meses).
Médio	1,81	a 3,41	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em médio prazo (máx. 1 ano).
Baixo	3,42	a 3,72	Definir prazo/natureza para nova inspeção (máx. 1 ano).
Extremamente Baixo	3,73	a 4	Estado aceitável. Manutenção preventiva.

5.7 Descrição do Método MAIS: Modo 2

No modo 2 do Método MAIS, a integridade da estrutura é analisada via *software* especializado de análise estrutural. Essa é uma outra maneira de detectar os elementos que estão com maior deterioração e sofrendo maiores deslocamentos, localizando os que são inaceitáveis. O levantamento de dados é feito também via inspeção *in loco* e, assim como no Modo 1, os mesmos passos devem ser seguidos até encontrar o Índice de Integridade de cada elemento (item 5.5.6).

Sabendo disso, passa-se a estrutura para o *software* modelando-a normalmente. O diferencial é que no momento do *input* de cada elemento, a sua integridade é considerada alterando a sua rigidez (E) através do módulo de elasticidade (E) e/ou inércia (I), espelhando a deterioração daquele componente. Ou seja, uma nova rigidez é encontrada através da equação (39).

$$(E)_m = (E)_o * I_e \quad (39)$$

Em seguida roda o software normalmente. Recomenda-se também rodar a estrutura em seu estado completo, ou seja, com integridade de 100%. O Modo 2 é interessante pois permite visualizar graficamente os deslocamentos das estruturas.

Com ciência de todas essas informações e formulações, resta testar o Modo 2 do Método MAIS nos estudos de caso, e é isso que o próximo capítulo apresenta. O Método MAIS foi aplicado em três patrimônios de valor para a sociedade: um localizado na cidade do Porto – Portugal - e dois em Brasília.

6. ESTUDOS DE CASO

Neste capítulo serão apresentados os estudos de caso escolhidos para aplicação do Método MAIS, voltado para patrimônios em concreto armado. Para tal, inspeções sensoriais *in loco* foram realizadas para levantamento de dados. Os patrimônios escolhidos foram a Residência Universitária Campo Alegre I – RUCA I - localizado na cidade do Porto (PT), o mezanino presente na entrada intermediária norte do Instituto Central de Ciências (ICC) e um imóvel localizado na Asa Sul, ambos em Brasília (BR).

6.1 Patrimônio Cultural da Humanidade: Porto – Portugal

A belíssima cidade do Porto é um lugar de muita história e cultura, com estonteantes paisagens naturais e obras feitas pelo homem também, que a tornam o destino de muitos turistas, motivo pela qual foi considerada melhor destino europeu por três anos, em 2012, 2014 e 2017. Sua privilegiada localização que une a foz do Rio Douro ao mar do oceano Atlântico uniu em um só lugar interesses comerciais, militares, de agricultura e demográficos.

A cidade do Porto é a mais antiga de Portugal e teve um papel decisivo na biografia do país e da Europa. Construída sobre as colinas na foz do rio Douro, possui uma beleza ímpar com mais de 2000 anos de história. Sua história é extremamente rica. Segundo a UNESCO (2019), escavações arqueológicas revelaram a presença humana na região desde o Século XIII a.C., quando o local era um estabelecimento de trocas e comércios dos fenícios.

A cidade de “Cale”, nome que recebia na altura, era uma pequena aldeia celta que, a partir do Século I a.C., foi centro de ocupação romana, o que acelerou o desenvolvimento da região. Chamada de “Portus Cale” pelos romanos, essa foi a origem do topônimo Portugal.

No Século V a cidade já era um importante centro administrativo e comercial. Com a queda do império romano, nos séculos seguintes a zona foi região de ataques a saques por diversos grupos, como os árabes, visigodos, normandos e mouros. No começo do Século XI, entretanto, a região foi firmemente estabelecida como parte do reino Castelhana. A sua expansão veio no século XIV,

com a construção massiva de muros em pedra para proteger seus dois núcleos urbanos: a cidade medieval original e a área do porto, até então extramuros.

Figura 37: Cidade do Porto - Portugal.



Fonte: Câmara Municipal do Porto³¹.

O Centro Histórico do Porto é a região mais antiga das cidades do Porto e de Vila Nova de Gaia. Localizado à beira do Rio d'Ouro no norte de Portugal. Foi classificado como patrimônio cultural da humanidade em 1996. De acordo com a UNESCO Portugal (2019), o ponto de partida da cidade foi o morro da Sé, há cerca de 2000 anos. Por estar na beira do rio, sua localização privilegiada favorecia transportes e transações comerciais, dando a movimentação necessária na região para que seu desenvolvimento se desse há milênios.

³¹ Disponível em << <https://www.cm-porto.pt/historia-da-cidade> >>. Acesso em dezembro de 2020.

Por ser uma cidade tão antiga, a cidade do Porto possui técnicas construtivas muito diferentes das de Brasília, exigindo também medidas preventivas e de conservação diferentes. Enquanto na capital brasileira predomina o concreto armado, no Porto imperam as edificações em alvenaria pedra. Entretanto o concreto armado também está presente com o Palácio de Cristal, por exemplo, que é um monumento de grande importância para a cidade. Inaugurado em 1952, até hoje é conhecido como Palácio de Cristal por ser o nome da edificação presente antes desta. Sua cobertura abobadada já abrigou campeonatos de hóquei, voleibol, ginástica e outros desportos.

Figura 38: Pavilhão Rosa Mota localizada no Porto (PT).



Fonte: Visitporto ³².

Outra edificação em concreto armado que compõe a cidade é o Residencial Campo Alegre I, construído para abrigar estudantes da Universidade do Porto, localizado na região central do Porto e, portanto, um patrimônio da cidade, era o ideal para aplicar e testar o Método MAIS.

³² Disponível em << <http://www.visitporto.travel/visitar/paginas/viagem/DetalhesPOI.aspx?POI=1031> >>. Acesso em novembro de 2018.

6.1.1 Residência Universitário Campo Alegre I

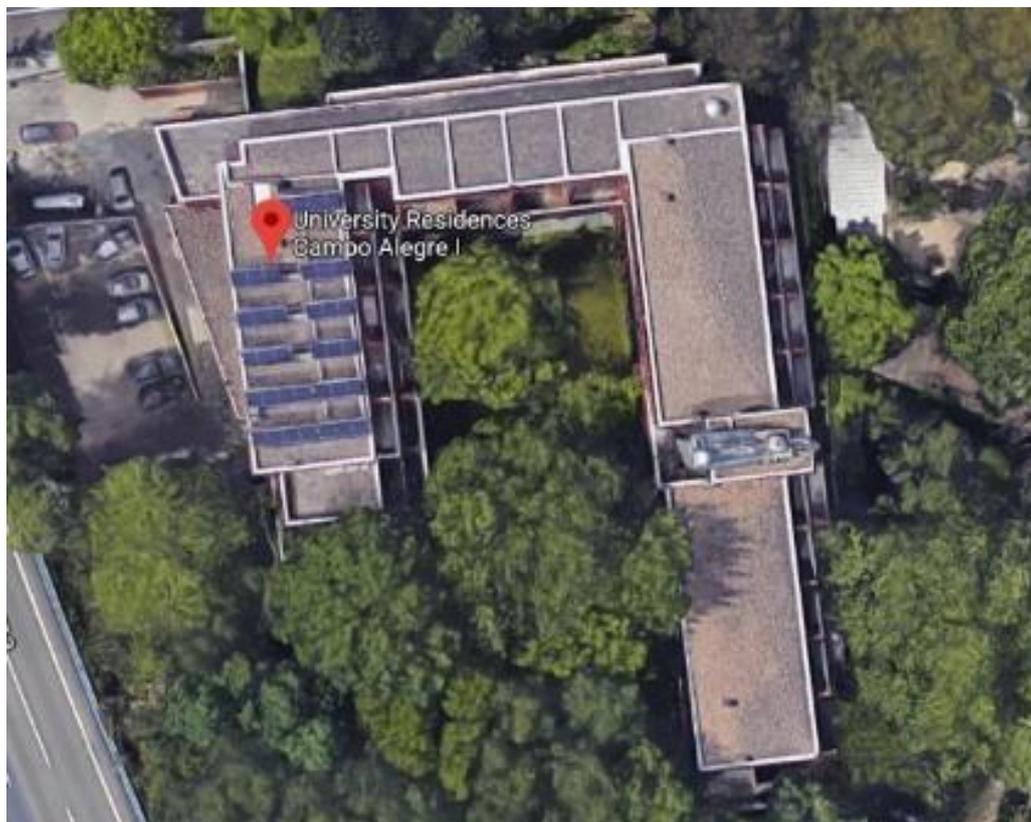
A primeira etapa da metodologia consiste em obter o máximo possível de conhecimento sobre a edificação a ser estudada. Localizado no centro da cidade do Porto, Portugal, o Residencial Campo Alegre I (RUCA I) aloja 156 estudantes em quartos individuais, com banheiros, cozinhas e áreas de convivência compartilhados, além de um vasto jardim. Possui estrutura em concreto armado e acabamento em tijolo, conforme Figura 39.

Figura 39: Residencial Universitário Campo Alegre I.



Sua estrutura forma um “U”, que foi construído em três etapas, conforme a vista aérea na Figura 40.

Figura 40: Vista aérea RUCA I



Fonte: Google Maps, acesso em janeiro de 2019.

Como é comum nessas situações, os responsáveis pela manutenção do residencial não possuíam muitas informações sobre o procedimento construtivo da edificação. Para o presente trabalho a edificação foi separada em quatro módulos, conforme mostra Figura 41, separados pelas juntas de dilatação. Os Módulos A e B foram os primeiros a serem construídos. Posteriormente, em duas etapas, os outros módulos foram construídos, sendo o C na primeira etapa e o D na segunda, concluídos em 1994. Foram analisados os elementos que estavam expostos já que não havia autorização para fazer remoções para um estudo mais aprofundado. São os pilares e vigas da sacada do primeiro pavimento dos módulos C e D, mostrados em planta na Figura 42, os guarda-corpos da varanda do primeiro pavimento dos módulos A e B, além da escada localizada na saída do primeiro pavimento do módulo D, conforme Figura 43.

Figura 41: Módulos RUCA I.

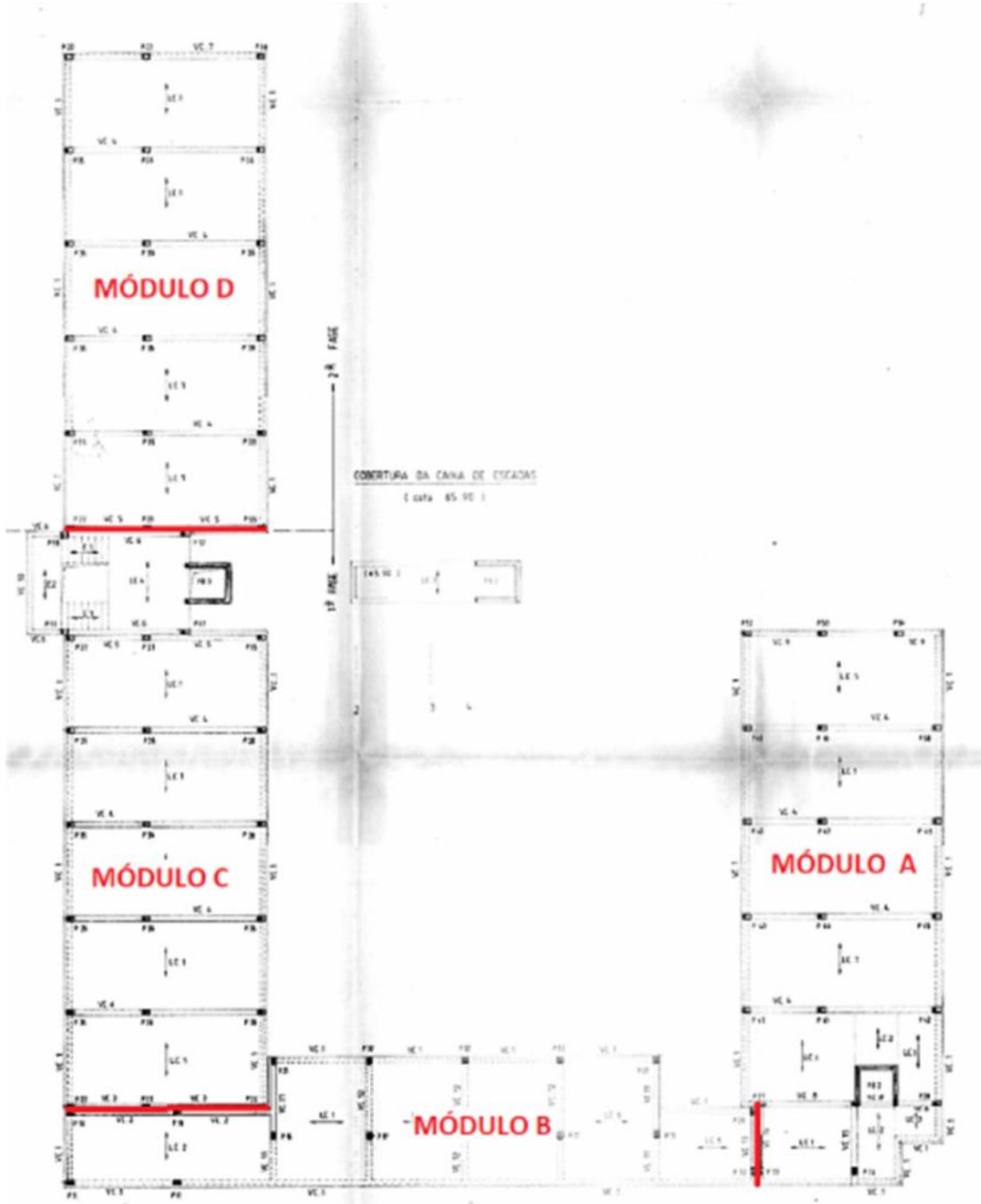


Figura 42: Vigas e Pilares avaliados.

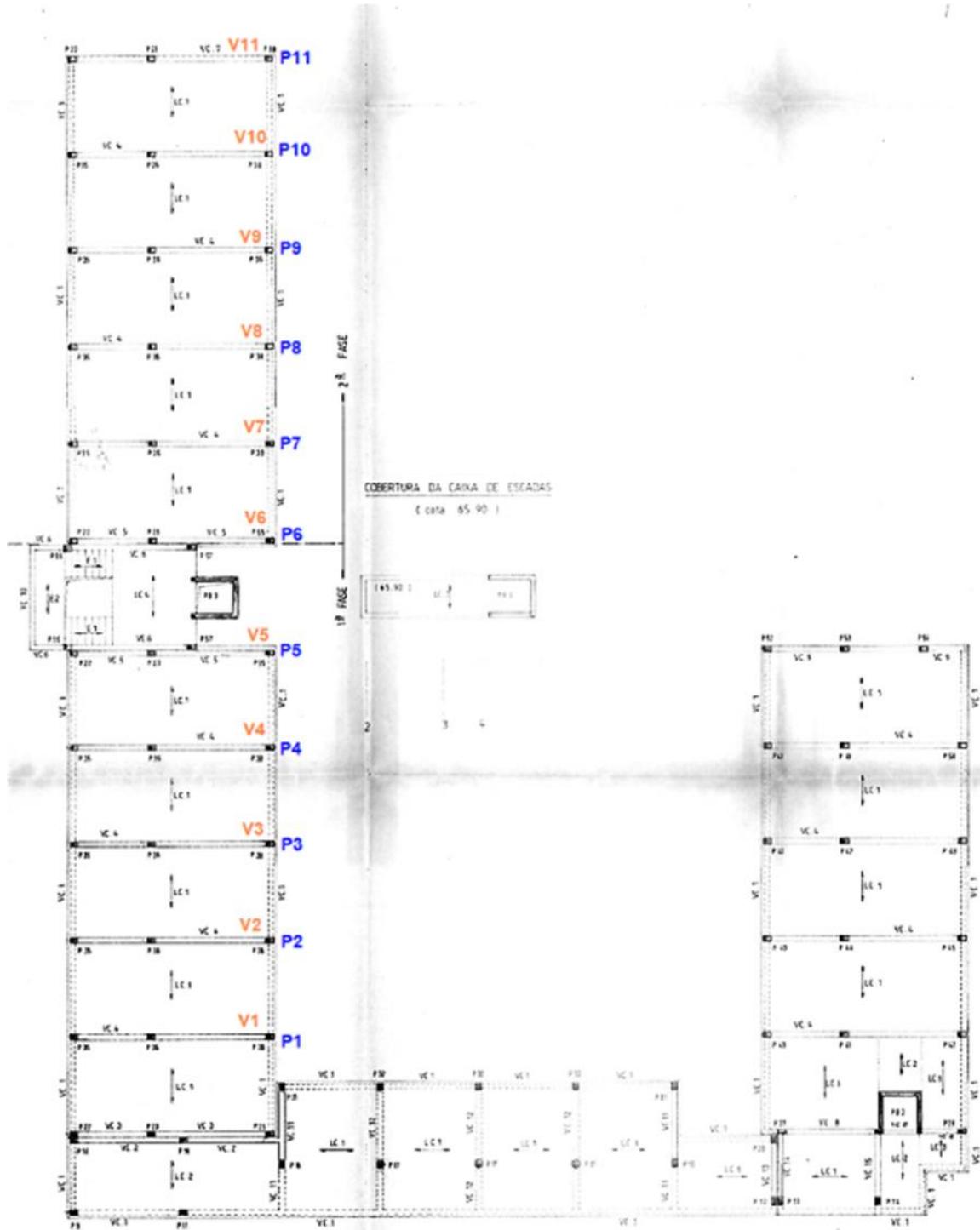
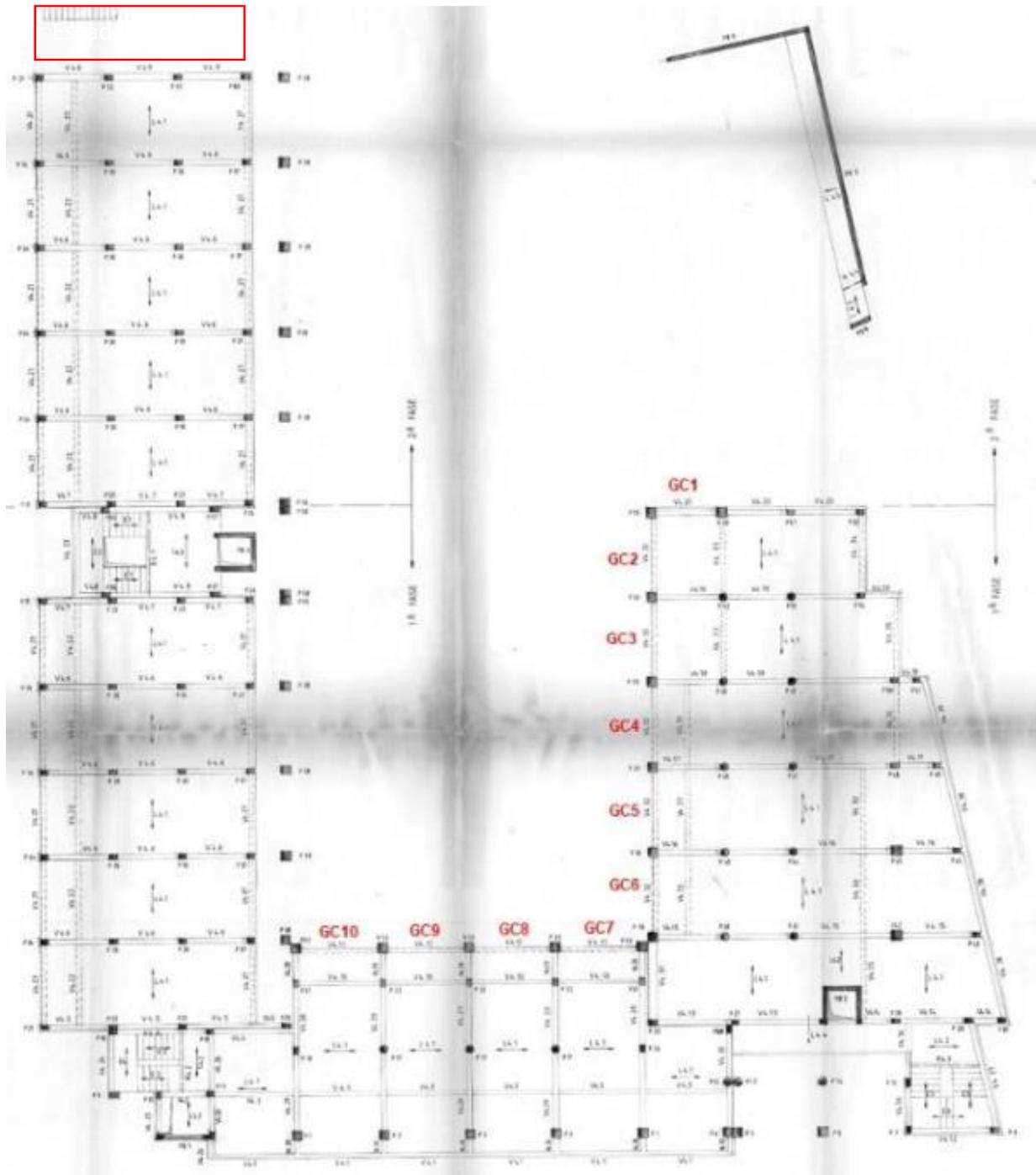


Figura 43: Guardas-corpo e escada avaliados.



Aqui, nesse estudo de caso, o objetivo é avaliar apenas alguns elementos, não a estrutura como um todo, e testar e analisar as combinações possíveis de escada e modelo de integridade (HC, HL,

TC e TL). Após a inspeção predial e o levantamento dos dados de cada elemento, por esse ser o estudo de caso piloto, alguns foram selecionados para a avaliação como mostra os itens a seguir.

6.1.1.1 Pilares

A Figura 44 apresenta uma imagem geral do corredor em que as vigas e pilares foram analisados. Ao final deste mesmo corredor, após uma porta, encontra-se a escada vistoriada (item 6.1.1.4).

Figura 44: Visão geral das vigas e pilares.



Onze pilares foram vistoriados e três selecionados para análise: os pilares 3, 4 e 10. De modo geral nos pilares havia manchas, eflorescência, cobertura deficiente, corrosão de armaduras, sendo a armadura visível em alguns pontos, desagregação e deslocamento. Sensorialmente estavam em médio grau de confiabilidade. Tais pilares são apresentados nas Figura 45, Figura 46 e Figura 47.

Figura 45: Pilar 3.



Figura 46: Pilar 4.



Figura 47: Pilar 10.



A Tabela 19 apresenta os dados levantados na vistoria.

Tabela 19: Avaliação dos pilares.

LOCAL:		Corredor 1º andar dos módulos C e D					
DATA:		02/2019					
ELEMENTOS:		P3		P4		P10	
DANOS	Fd	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe
Carbonatação	B						
Cobrimento deficiente	B	D	C	B	D	D	C
Contaminação por cloretos	C						
Corrosão de armaduras	D	C	C			C	C
Desagregação	B	C	B				
Desplacamento	B	C	C	B	C	C	C
Desvio de geometria	C						
Eflorescência	A	C	C	C	C	C	C
Falha de concretagem	B						
Fissuras	D	C	C	A	C		
Manchas	B	D	D	D	D	D	D
Recalque	D						
Sinais de esmagamento	D						
Umidade na base	B						

Os atributos conferidos a aos Fatores de Dano, Intensidade e Extensão seguem a Tabela 4: Escala geral e atributos dos Fatores de Dano, Intensidade e Extensão. O mesmo é válido para todos os outros levantamentos de dados doravante.

6.1.1.2 Vigas

O elemento viga não pode ser vistoriado por completo pois não havia acesso aos quartos, sendo possível alcançar apenas a parte localizada no corredor, conforme Figura 44. Entretanto, como a parte mais afetada das vigas seja a externa, por estar mais exposta às intempéries e adversidades, entende-se que tal fato não terá interferência significativa no resultado. Foram vistoriadas um total de onze vigas e três foram analisadas, são elas: vigas 2, 7 e 8. De modo geral as vigas encontravam-se em bom estado, entretanto notava-se o cobrimento deficiente, eflorescência, pequenas fissuras e manchas. A Figura 48, Figura 49 e Figura 50 apresentam essas vigas.

Figura 48: Viga 2.



Figura 49: Viga 7.

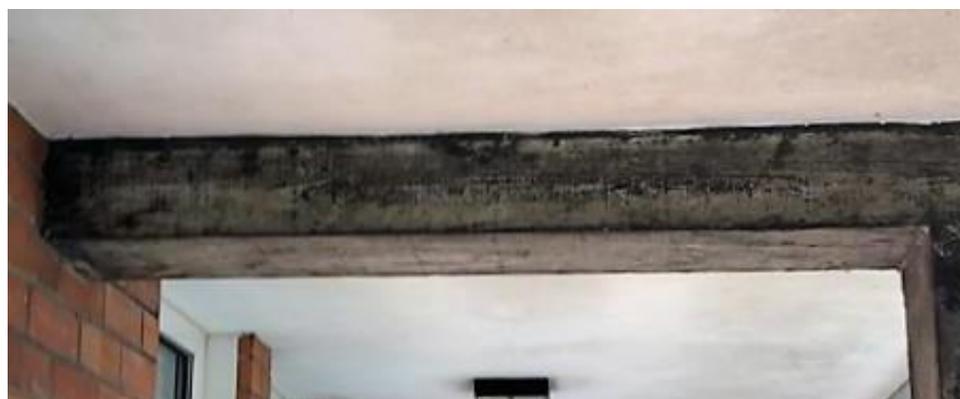


Figura 50: Viga 8.



A Tabela 20 apresenta os dados levantados em vistoria *in loco* no que se refere às vigas avaliadas.

Tabela 20: Avaliação das vigas.

LOCAL:		Corredor 1º andar dos módulos C e D					
DATA:		02/2019					
ELEMENTOS:		V2		V7		V8	
DANOS	Fd	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe
Carbonatação	B						
Cobrimento deficiente	B	C	D	C	D	B	D
Contaminação por cloretos	C						
Corrosão de armaduras	D						
Desagregação	B						
Desplacamento	B						
Eflorescência	A	C	D	C	D		
Falhas de concretagem	A						
Fissuras	C	A	B	A	B		
Flechas	D						
Manchas	B	D	C	D	C	D	C
Sinais de esmagamento	C						
Umidade	B						

6.1.1.3 Guarda-Corpos

Foram vistoriados os guarda-corpos dos módulos A e B da RUCA I, sendo dez no total. Dos dez, três foram selecionados para análise, os guarda-corpos 2, 3 e 10. A principal patologia encontrada foram manchas e eflorescência, algumas também com cobertura deficiente. A seguir serão mostradas fotos deles na Figura 51, Figura 52 e Figura 53.

Figura 51: Guarda-Corpo 2



Figura 52: Guarda-Corpo 3



Figura 53: Guarda-corpo 10



As fotos deixam claro que o Guarda-corpo 10 está em melhores condições que os 2 e 3. A Tabela 21 apresenta a avaliação realizada na vistoria *in loco*.

Tabela 21: Avaliação dos guarda-corpos.

LOCAL:		Módulos A e B					
DATA:		02/2019					
ELEMENTOS:		GC2		GC3		GC10	
DANOS	Fd	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe
Carbonatação	B						
Cobrimento deficiente	B	B	A	D	C		
Contaminação por cloretos	C						
Corrosão de armaduras	D	B	B	C	C		
Desagregação	B					B	B
Desplacamento	B	C	C	C	C		
Eflorescência	A	D	D	B	D		
Falhas de concretagem	A						
Fissuras	C	A	B	A	C	A	B
Manchas	B	D	D	D	D		
Sinais de esmagamento	D						
Umidade	B						

6.1.1.4 Escada

A escada analisada (Figura 54) liga o primeiro pavimento ao térreo e está localizada ao final do corredor mostrado na Figura 44. Por se tratar de um único elemento o Grau de Deterioração da Classe, neste caso, é o mesmo valor do Grau de Deterioração do Elemento. Assim completa-se a

apresentação de todos os elementos avaliados no RUCA I. A Tabela 22 apresenta a avaliação realizada *in loco*.

Figura 54: Escada.

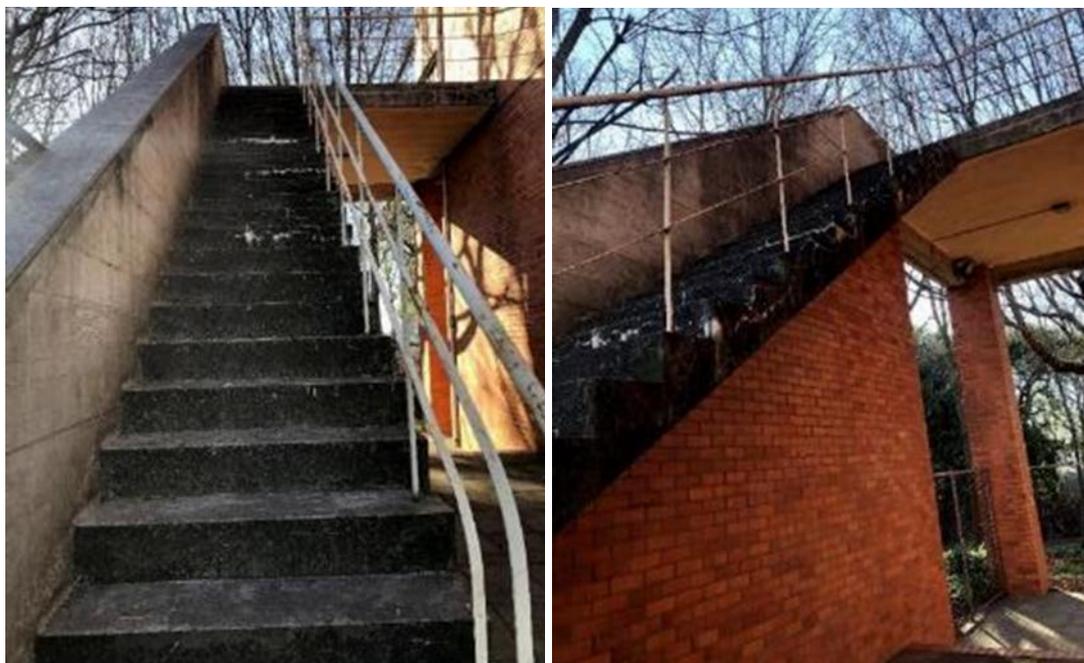


Tabela 22: Avaliação escada.

ELEMENTO:	ESCADA		
LOCAL:	Saída Módulo D		
DATA:	02/2019		
DANOS	Fd	Fi	Fe
Carbonatação	B		
Cobrimento deficiente	B		
Contaminação por cloretos	C	C	C
Corrosão de armaduras	D		
Desagregação	B		
Desplacamento	B		
Eflorescência	A	D	D
Falhas de concretagem	A		
Fissuras	D	B	D
Flechas	D		
Manchas	B		
Sinais de esmagamento	C		
Umidade	B		

6.1.1.5 Apresentação e Análise dos Resultados

Os resultados referentes ao imóvel RUCA I são apresentados a seguir. Vale lembrar que, nessa edificação, foram escolhidos três elementos de cada família, além da escada, para serem avaliados. Não é um objetivo fazer apuração global da edificação. As quatro combinações de modelos de dano e escalas foram testadas.

6.1.1.5.1 Pilares

A Tabela 23 apresenta a integridade e a sua classificação para cada elemento e para a classe. A Tabela 24 mostra a sua confiabilidade e o risco. Salienta-se que na Integridade a segurança ainda não foi acoplada ao método, o que deixa a confiabilidade um *output* mais interessante de ser analisado, e é a ele que maior atenção será dada na pesquisa.

Tabela 23: Integridade Pilares – RUCA I.

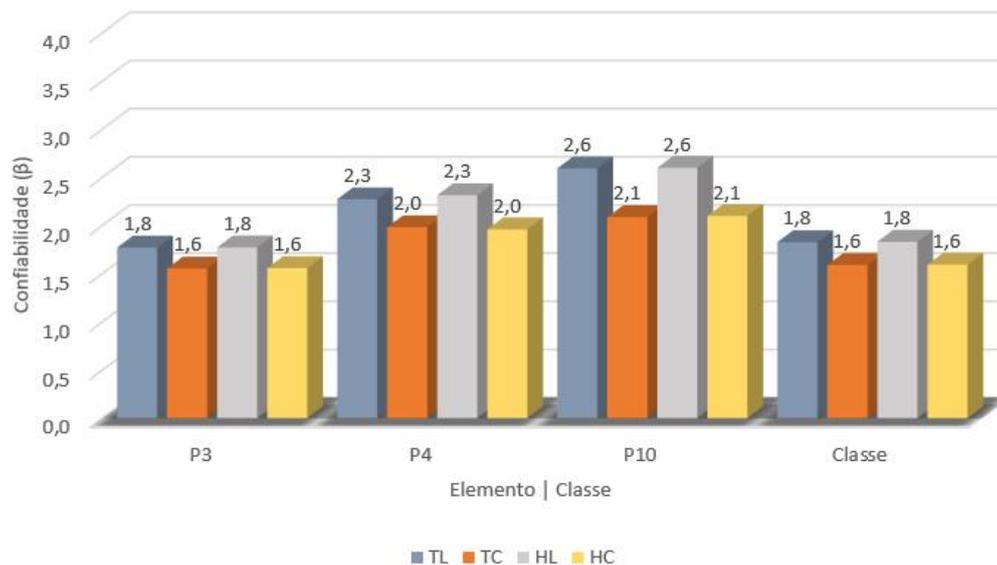
Elemento	Integridade				Classificação Integridade			
	TL	TC	HL	HC	TL	TC	HL	HC
P3	0,44	0,39	0,44	0,39	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
P4	0,57	0,50	0,58	0,49	Média	Baixa	Média	Baixa
P10	0,65	0,52	0,65	0,53	Média	Média	Média	Média
Classe	0,46	0,40	0,46	0,40	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa

Tabela 24: Confiabilidade e Risco Pilares - RUCA I.

Elemento	Confiabilidade (β)				Nível de Risco			
	TL	TC	HL	HC	TL	TC	HL	HC
P3	1,8	1,6	1,8	1,6	Médio-alto	Médio-alto	Médio-alto	Médio-alto
P4	2,3	2,0	2,3	2,0	Médio	Médio	Médio	Médio
P10	2,6	2,1	2,6	2,1	Médio	Médio	Médio	Médio
Classe	1,8	1,6	1,8	1,6	Médio	Médio-alto	Médio	Médio-alto

O Gráfico 9 exhibe visualmente a confiabilidade de cada um desses elementos e classe, de modo que seja fácil comparar os resultados para cada modelo de integridade e escala. A seguir estão as observações feita quanto aos Pilares:

Gráfico 9: Comparação da Confiabilidade (β) para os elementos e classe de Pilares.



- Como esperado, o P3 apresentou o nível de confiabilidade mais baixo e maior risco.
- Apenas o P3 foi classificado risco *médio-alto*, não importando a formulação. Já P4 e P10 apresentaram risco *médio*, com integridade variando entre *baixa* e *média*;
- Em todas as comparações, as formulações lineares apresentaram confiabilidade maior que as formulações cúbicas;
- Os resultados das formulações lineares foram sempre muito parecidos, quando não iguais. O mesmo ocorreu para as formulações cúbicas. Isso evidencia que a escala tem maior influência no resultado que o modelo de integridade em si;
- Quanto à classe, sua confiabilidade variou entre 1,6 (TL e HL) e 1,8 (TC e HC). Apesar de pequena, essa variação foi suficiente para que fossem classificadas com risco *médio* no primeiro caso, e *médio-alto* no segundo.

6.1.1.5.2 Vigas

A Tabela 25 apresenta os resultados da avaliação estrutural dos elementos e da classe vigas quanto à integridade e a Tabela 26 quando ao risco. O resultado da confiabilidade é representado graficamente no Gráfico 10.

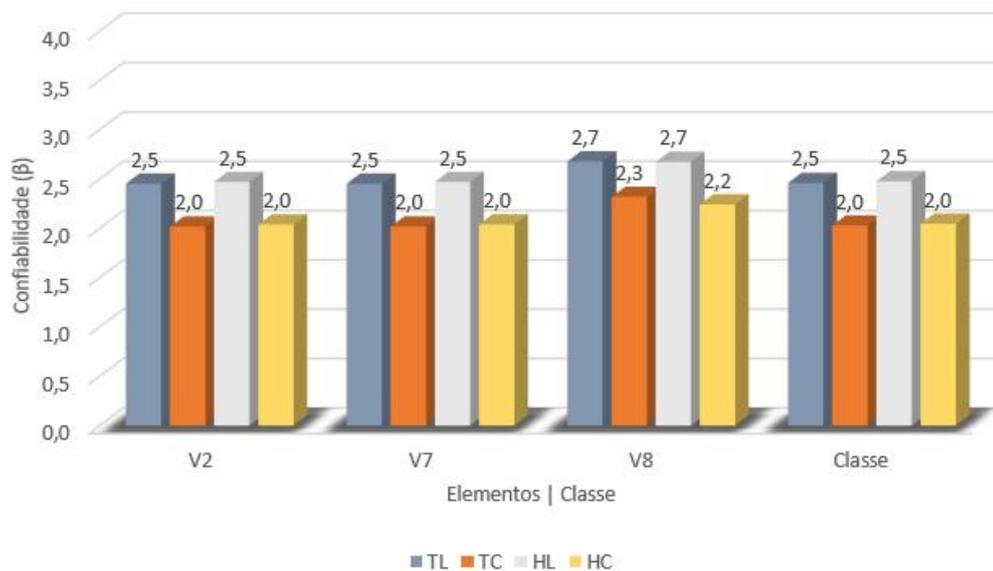
Tabela 25: Integridade vigas – RUCA I.

Elemento	Integridade				Classificação Integridade			
	TL	TC	HL	HC	TL	TC	HL	HC
V2	0,61	0,51	0,62	0,51	Média	Baixa	Média	Média
V7	0,61	0,51	0,62	0,51	Média	Baixa	Média	Média
V8	0,67	0,58	0,67	0,56	Média	Média	Média	Média
Classe	0,62	0,51	0,62	0,51	Média	Baixa	Média	Média

Tabela 26: Confiabilidade e risco vigas – RUCA I.

Elemento	Confiabilidade (β)				Nível de Risco			
	TL	TC	HL	HC	TL	TC	HL	HC
V2	2,5	2,0	2,5	2,0	Médio	Médio	Médio	Médio
V7	2,5	2,0	2,5	2,0	Médio	Médio	Médio	Médio
V8	2,7	2,3	2,7	2,2	Médio	Médio	Médio	Médio
Classe	2,5	2,0	2,5	2,0	Médio	Médio	Médio	Médio

Gráfico 10: Comparação das confiabilidades vigas.



Quanto à integridade, com escala linear, as vigas apresentam resultados que se encontram entre os 61% e 67%, valor que cai para a dezena dos 50% quando a escala é cúbica, em geral correspondente à Integridade *média*. Apenas a escala TC resultou numa integridade classificada como *baixa*.

Com essas integridades, em todas as situações o risco de todos os elementos viga é *médio*, o que não deve despertar preocupações a curto prazo, mas as intervenções devem começar a ser planejadas. Outra vez os resultados da escala lineares são muito próximos entre si, assim como as cúbicas.

6.1.1.5.3 Guarda-Corpos

Referente aos Guarda-corpos avaliados, as Tabela 27 e Tabela 28 mostram os resultados quanto a integridade e risco dos elementos, sendo a sua confiabilidade espelhada no Gráfico 11.

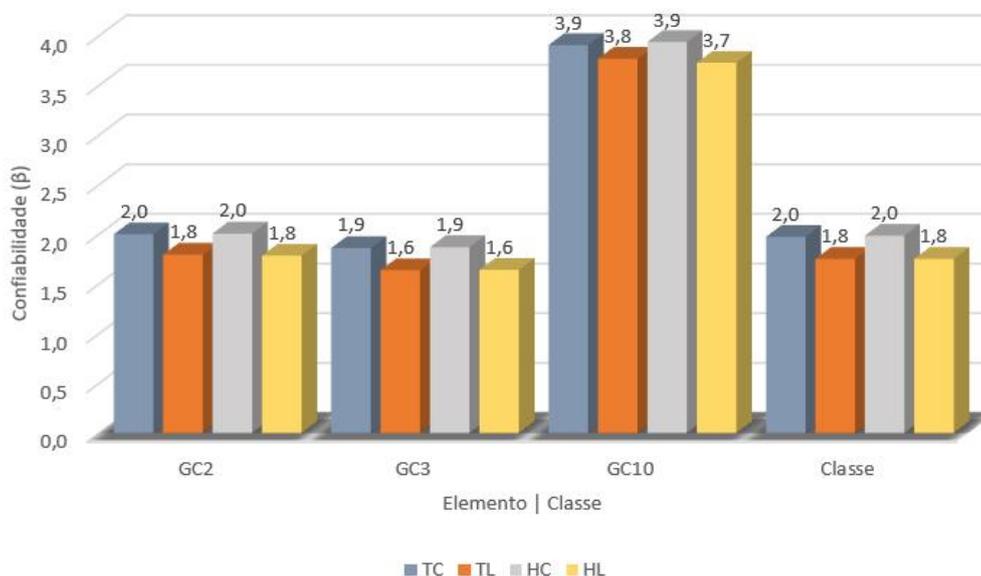
Tabela 27: Integridade guarda-corpo – RUCA I.

Elemento	Integridade				Classificação Integridade			
	TL	TC	HL	HC	TL	TC	HL	HC
GC2	0,50	0,45	0,50	0,45	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
GC3	0,47	0,41	0,47	0,41	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
GC10	0,98	0,94	0,98	0,93	Alta	Alta	Alta	Alta
Classe	0,49	0,44	0,50	0,44	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa

Tabela 28: Confiabilidade e risco guarda-corpo – RUCA I.

Elemento	Confiabilidade (β)				Nível de Risco			
	TL	TC	HL	HC	TL	TC	HL	HC
GC2	2,0	1,8	2,0	1,8	Médio	Médio-alto	Médio	Médio-alto
GC3	1,9	1,6	1,9	1,6	Médio	Médio-alto	Médio	Médio-alto
GC10	3,9	3,8	3,9	3,7	Extremamente Baixo	Extremamente Baixo	Extremamente Baixo	Baixo
Classe	2,0	1,8	2,0	1,8	Médio	Médio-alto	Médio	Médio-alto

Gráfico 11: Comparação das confiabilidades para guarda-corpo.



Esse exemplo é significativo pois pela primeira vez um elemento encontra-se com alto grau de confiabilidade, o Guarda-corpo 10, que apresenta risco baixo ou extremamente baixo, o que está em conformidade com as suas boas condições encontradas na inspeção. Quanto ao elemento 2, a diferença de resultados entre a escala linear e cúbica é de apenas 0,2, mas o suficiente para classificá-lo com confiabilidade média no primeiro caso e baixa no segundo.

Composta por um elemento com risco baixo e por outros dois com risco variando entre médio e médio-alto, a classe de guarda-corpo também manteve seu risco como intermediário, o que é adequado e mostra segurança na formulação. De modo geral os resultados foram bem similares quando se comparam os modelos de integridade/escalas.

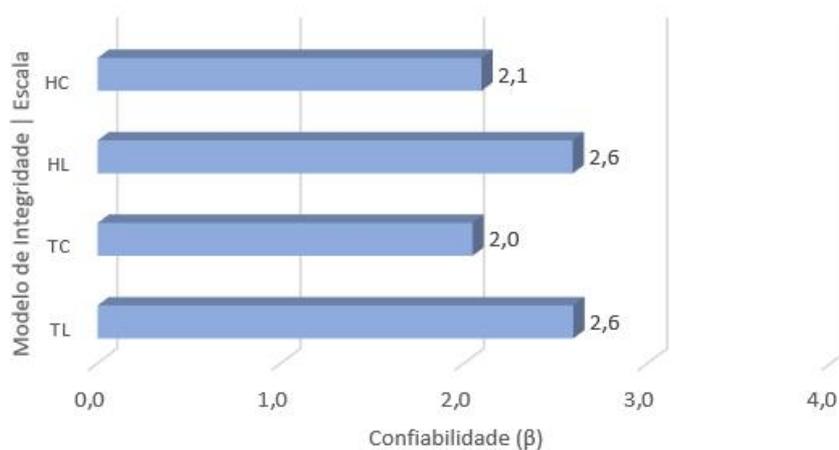
6.1.1.5.4 Escada

Por ser composta por um único elemento, nesse caso a integridade e confiabilidade da classe é a mesma da desse componente. A Tabela 29 mostra a sua integridade, confiabilidade e nível de risco. Ambas classificadas como médio em todos os casos. O Gráfico 12 mostra as confiabilidades TL, TC, HL e HC.

Tabela 29: Integridade, confiabilidade e risco do elemento escada – RUCA I.

Escada	Modelo de Integridade Escala			
	TL	TC	HL	HC
Integridade	0,65	0,51	0,65	0,52
Classificação Integridade	Média	Média	Média	Média
Confiabilidade	2,6	2,0	2,6	2,1
Nível de risco	Médio	Médio	Médio	Médio

Gráfico 12: Confiabilidade da Escada – RUCA I.



Em todos os casos o risco encontrado da escada é classificado como médio, variando entre 2,0 e 2,6, sendo os modelos lineares menos conservadores.

6.1.1.5.5 Conclusões

A Tabela 30 apresenta todos os resultados de confiabilidade e risco encontrados dos elementos e classes. Com essa vista global observa-se que, de modo geral, a estrutura encontra-se em grau médio de risco, não apresentando nenhum componente que represente uma ameaça no curto prazo, o que está totalmente de acordo com o visto *in loco*. Entretanto deve-se planejar nova inspeção em no máximo um ano e pensar na intervenção.

Tabela 30: Resumo Confiabilidade e Nível de Risco.

Elemento	Confiabilidade (β)				Nível de Risco			
	TL	TC	HL	HC	TL	TC	HL	HC
P3	1,8	1,6	1,8	1,6	Médio-alto	Médio-alto	Médio-alto	Médio-alto
P4	2,3	2,0	2,3	2,0	Médio	Médio	Médio	Médio
P10	2,6	2,1	2,6	2,1	Médio	Médio	Médio	Médio
Classe	1,8	1,6	1,8	1,6	Médio	Médio-alto	Médio	Médio-alto
V2	2,5	2,0	2,5	2,0	Médio	Médio	Médio	Médio
V7	2,5	2,0	2,5	2,0	Médio	Médio	Médio	Médio
V8	2,7	2,3	2,7	2,2	Médio	Médio	Médio	Médio
Classe	2,5	2,0	2,5	2,0	Médio	Médio	Médio	Médio
GC2	2,0	1,8	2,0	1,8	Médio	Médio-alto	Médio	Médio-alto
GC3	1,9	1,6	1,9	1,6	Médio	Médio-alto	Médio	Médio-alto
GC10	3,9	3,8	3,9	3,7	Extremamente Baixo	Extremamente Baixo	Extremamente Baixo	Baixo
Classe	2,0	1,8	2,0	1,8	Médio	Médio-alto	Médio	Médio-alto
Escada	2,6	2,0	2,6	2,1	Médio	Médio	Médio	Médio

6.2 Patrimônio da Humanidade: Plano Piloto de Brasília

Não é novidade que até pouco tempo atrás a capital brasileira era o Rio de Janeiro e partilhar, ainda que brevemente, a história dessa mudança é enriquecedor para o trabalho. Brasília tornou-se a capital do Brasil em 21 de abril de 1960. Entretanto há registros que a idealização dessa transferência da capital já ocorria no período de transição do Império para a República. A 1ª Constituição Brasileira, em 1891, estipulou uma área de 14.400 km² destinados à construção da nova capital, o que acarretou a instituição de uma comissão científica, denominada Comissão Exploradora do Planalto Central do Brasil, com a finalidade de demarcar o território do Distrito Federal (DF). Então, em 1893, nessa zona central de baixa densidade populacional, onde predominava a pecuária extensiva e era rota de passagem do comércio bovino, a passagem do astrônomo Luis Cruls demarcou esse território. (LEITE E GARCIA-FILICE, 2015).

Enfim, décadas mais tarde, sob a presidência de Juscelino Kubitschek, construiu-se a cidade planejada de Brasília, a nova capital do Brasil, denominada Brasília, conforme o sonho de Dom Bosco, desenhada por Oscar Niemeyer e pelo urbanista Lúcio Costa. Ainda no governo de Café Filho, a cruz de madeira fincada no ponto mais alto da área demarcada, hoje a Praça do Cruzeiro, foi o marco inicial da cidade, local onde em maio de 1957 foi rezada a primeira missa. Vale salientar que tal mudança de capital resultou também em diversos efeitos socioeconômicos negativos,

dentre os quais encontra-se a injustiça para com os já habitantes daquela região. Entretanto tal temática não será abordada no presente trabalho, que foca na beleza e no marco arquitetônico e, conseqüentemente, social que a nova capital trouxe aos brasileiros e também ao mundo.

Sua juventude permitiu-a ter uma arquitetura única e modernista, com grande predominância do concreto armado. Toda a sua região central, chamada de Plano Piloto (Figura 55) foi tombada pela UNESCO como patrimônio cultural em 1987 por ser considerada um marco na história do planejamento urbano.

Figura 55: Vista aérea diurna do Plano piloto de Brasília.



Fonte: Quora ³³.

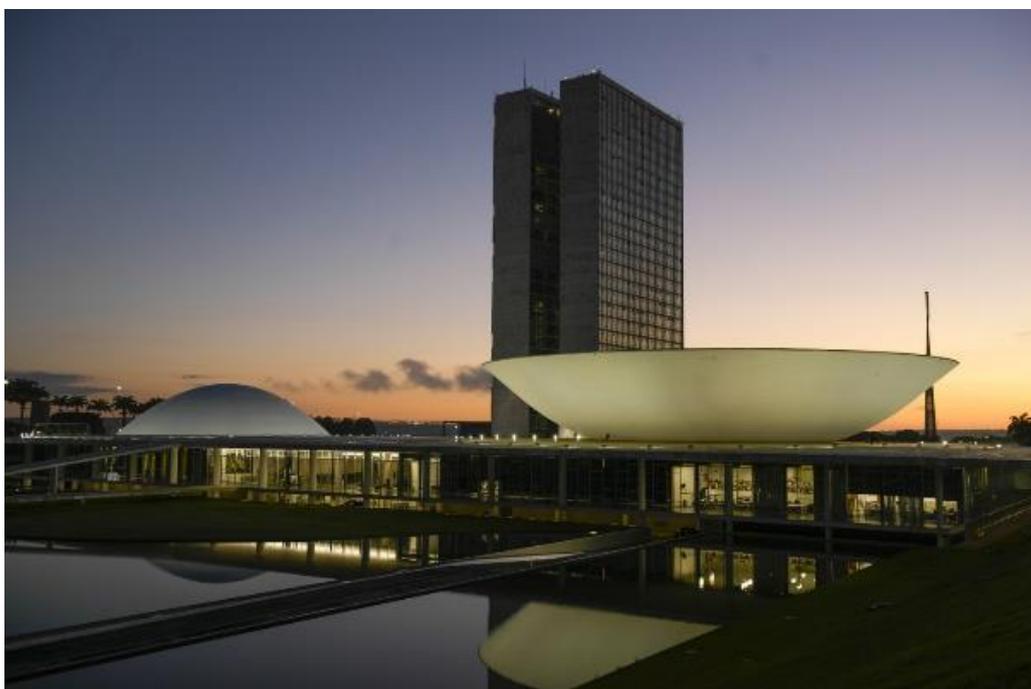
Ainda durante o governo Café Filho, é fincada a cruz de madeira no ponto mais alto da área demarcada, hoje Praça do Cruzeiro, marco da fundação da cidade, local onde mais tarde, em maio de 1957, foi rezada a primeira missa. Dentre as várias estórias que os moradores já escutaram referentes à sua ideia original, formato de borboleta a um formato de cruz, teoria mais aceita, o

³³ Disponível em << <https://pt.quora.com/Por-que-Bras%C3%ADlia-tem-formato-de-avi%C3%A3o> >> Acesso em maio de 2021.

fato é que a decisão final foi que Brasília teria o formato de um avião e, pessoalmente, a leve curva de suas asas trouxe o feminino para a cidade, apenas contribuindo para a sua beleza.

Como patrimônio cultural tombado, seus monumentos que representam valor para aquela sociedade devem ser cuidados e preservados. Um belo exemplo desses monumentos é o Congresso Nacional, local de trabalho do legislativo brasileiro (Figura 56). Sua sobriedade mostra uma forte influência de Le Corbusier (1887 – 1965), arquiteto suíço, um dos pioneiros da arquitetura modernista.

Figura 56: Congresso Nacional em Brasília.



Fonte: Wallpaperup³⁴

Há também em Brasília um grupo de pesquisa na Universidade de Brasília que desde a década de 1990 vem atuando no estudo para conservação de edificações e patrimônios. Na faculdade de arquitetura e urbanismo, o estudo teve início com André Sanchez e outros profissionais como Azambuja (2012), Galimi (2016), Oliveira (2016) e João Pantoja (2018). Na Construção Civil (PECC) do departamento de engenharia civil, professores renomados como Elton Bauer, Eliane Castro,

³⁴ https://www.wallpaperup.com/1310023/Congresso_Nacional_Brasilia_Brazil.html. Acesso em agosto de 2021.

Alberto Nepomuceno e João Carlos Teatine publicaram e/ou orientaram trabalhos que foram de grande contribuição para o tema. Já é essencial que este estudo continue em andamento para proteger os patrimônios brasileiros e mundiais, que incluem o Plano de Piloto de Brasília (Figura 57).

Figura 57: Plano Piloto de Brasília.



Fonte: Wikipedia³⁵.

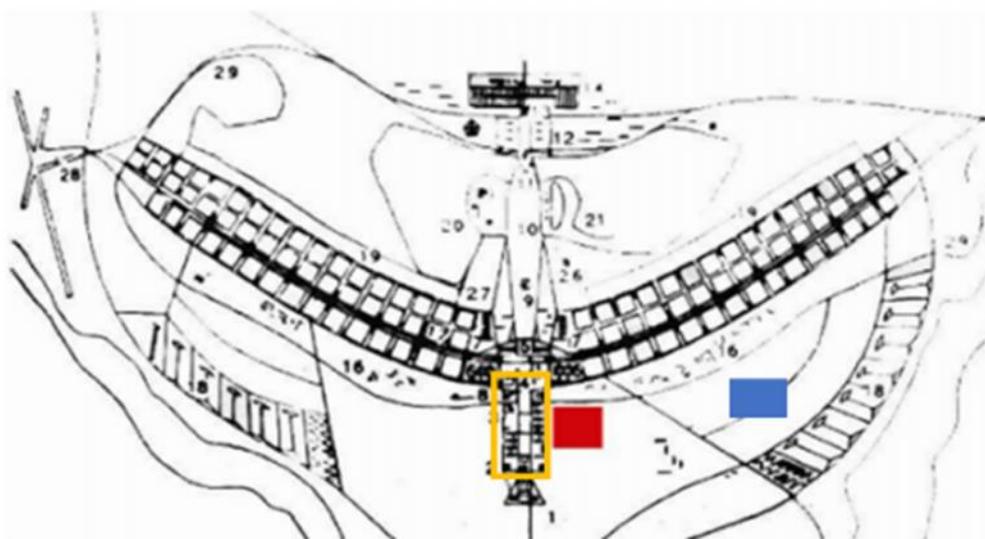
6.2.1 Mezanino do ICC - Entrada Central Norte ICC

Oficialmente inaugurada no dia 21 de abril 1962, a Universidade de Brasília é um marco na história da jovem capital brasileira. Localizada no bairro da Asa Norte, possui cerca de 257 hectares. Inicialmente prevista para local bem próximo ao centro de Brasília, próximo à Esplanada dos Ministérios, conforme Figura 58, sua localização final foi modificada devido ao aumento da cidade para o leste que, com a criação das quadras 400 e das grandes áreas, reduziu o espaço disponível

³⁵ https://pt.m.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Brasilia_aerea_eixo_monumental.jpg. Acesso em janeiro de 2019.

para a UnB. Ademais a preocupação da existência de movimentos estudantis e a proximidade do local com o centro governamental preocupou o Governo. Por fim, a UnB ficou localizada mais ao norte, conforme destacado em azul.

Figura 58: Localização prevista da Universidade de Brasília.



Legenda:

- Esplanada dos ministérios
- Universidade de Brasília – localização inicialmente prevista
- Universidade de Brasília – localização efetiva

Fonte: IPHAN, 2006 modificado por Fonseca (2007) e autora.

A princípio Lucio Costa, urbanista responsável pela construção de Brasília, havia proposto oito unidades acadêmicas que foram substituídas por um único edifício principal: o Instituto Central de Brasília (ICC). Tal alteração almejava facilitar a interação e encontro entre os estudantes de diversas formações, além de simplificar o trânsito (Fonseca, 2007). Sua construção teve início em 1962 pela construtora Rabello S.A. e foi finalizada em 1975. É uma edificação que comporta vários departamentos, faculdades, laboratórios e anfiteatros, representando a interdisciplinaridade entre cursos.

O “minhocão”, como é chamado o ICC pelos estudantes, foi construído em concreto pré-moldado, o que já era um marco tecnológico para a época, diferencia-se também por ser um elemento estrutural arquitetônico (Figura 59 e Figura 60). Isso significa que a própria estrutura do patrimônio, o concreto armado aparente, também é a sua arquitetura, o que também era uma novidade.

Figura 59: Construção do ICC.



Fonte: Globo³⁶

Figura 60: Instalação de vigas pré-moldadas.

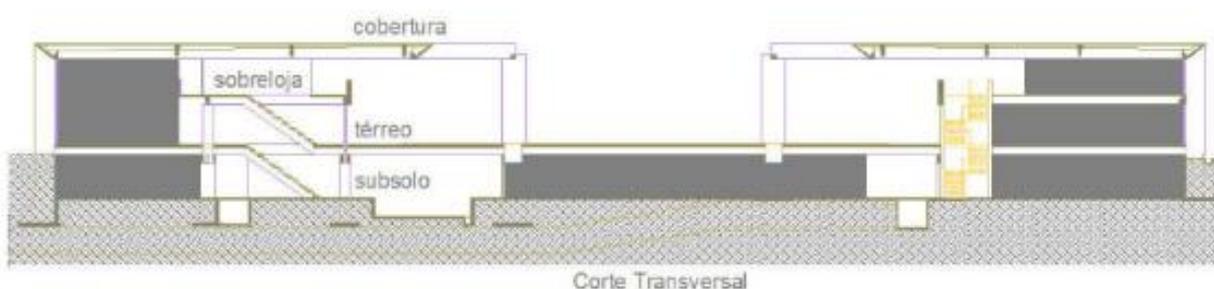


Fonte: CEDOC (2006) apud Fonseca (2007).

³⁶ Disponível em <<<http://g1.globo.com/distrito-federal/fotos/2012/04/veja-fotos-dos-50-anos-da-universidade-de-brasilia.html#F426958>>>. Acesso em junho de 2019.

Composto por subsolo, térreo e sobreloja, totalizando três pavimentos, a Figura 61 mostra um corte esquemático do minhocão.

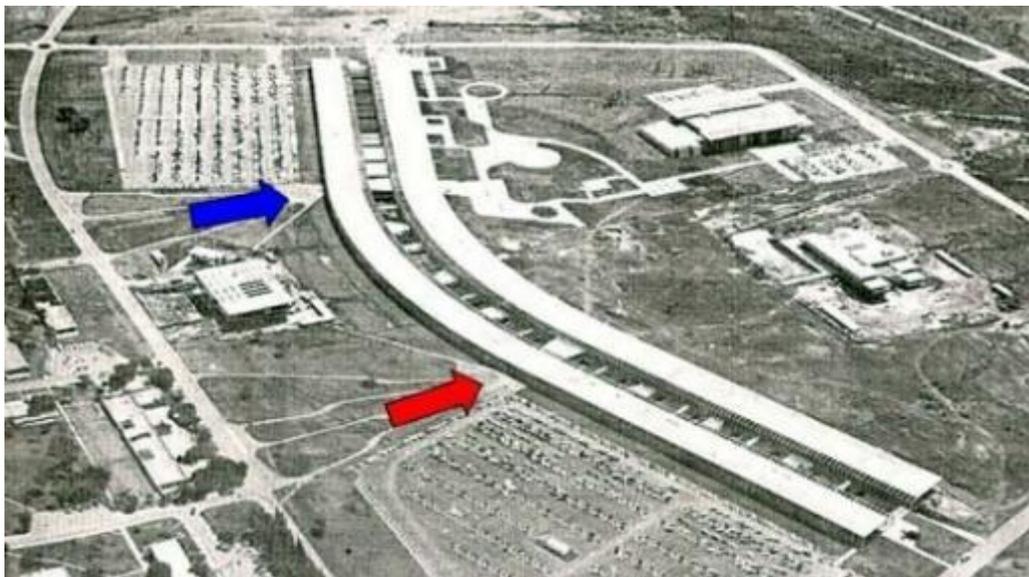
Figura 61: Corte Transversal do ICC.



Fonte: CEPLAN modificado por Fonseca (2007).

Com cerca de 720 m de extensão, a Figura 62 mostra uma vista aérea do ICC. Os trechos norte e sul possuem 150 m de comprimento, e o central 350 m, com acesso pelas extremidades. O prédio dispõe de dois acessos centrais principais, o norte e o sul. Nessas entradas há mezaninos em concreto protendido, que são objetos de estudo do presente trabalho.

Figura 62: Vista aérea. Entradas Norte e Sul



Fonte: CEDOC (2006) apud Fonseca (2007).

Legenda:

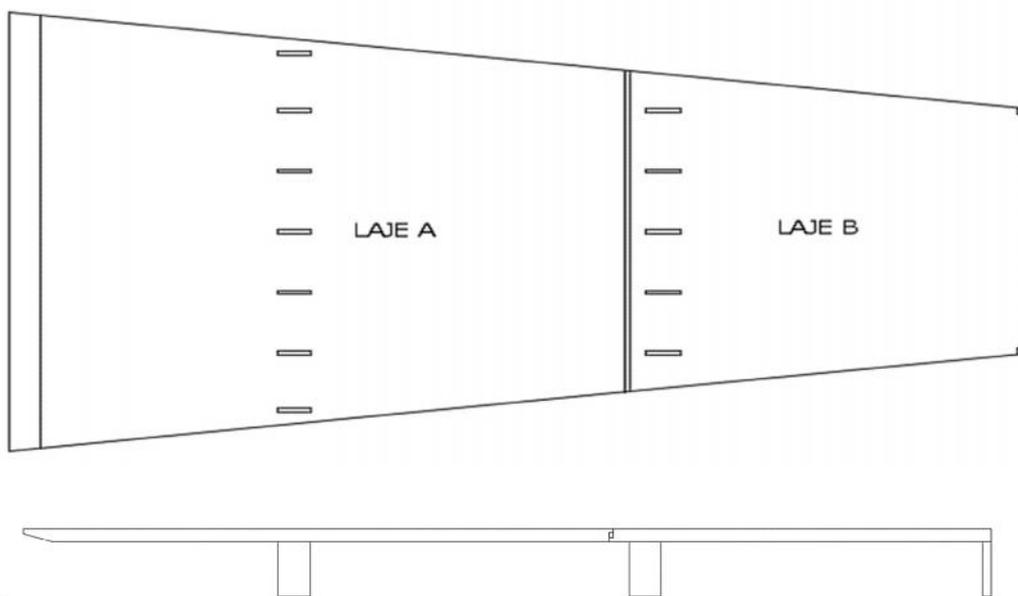
■ Entrada central sul

■ Entrada central norte

6.2.1.1 Sistema Construtivo

Assim como todo o ICC, as lajes dos mezaninos também são em concreto armado, entretanto neste caso ele não é pré-moldado, mas sim protendido. A laje é dupla com um caixão perdido de 60 cm de espessura com formato é trapezoidal. Através de um levantamento *in loco*, constatou-se que sua base menor é de 13,75 m e a base maior 24,60 m, totalizando 872,46 m² de área. Divida por uma junta de dilatação, a laje foi dividida em A e B. A Laje A possui um balanço de 12,85 m a contar do eixo do pilar, sendo que a outra extremidade da laje está apoiada na Laje B, formando um dente de Gerber. A Figura 63 apresenta a planta baixa e o corte desta laje.

Figura 63: Planta baixa e corte da laje do mezanino norte.



Ligada à extremidade da Laje A do mezanino há uma rampa com 2 m de largura e 12 m de comprimento em formato de ferradura, tal qual a Figura 64, que mostra também a laje em balanço.

Figura 64: Mezanino entrada sul.



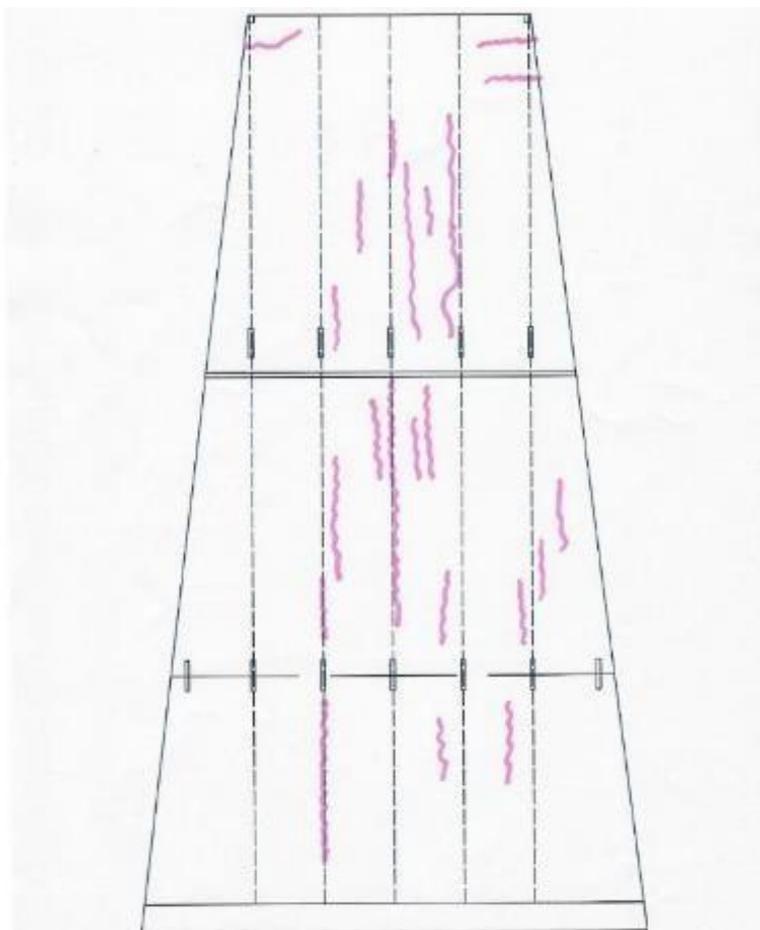
Fonte: Walter Vilhena (1992) apud FONSECA (2007).

Para melhor realizar a avaliação do grau de deterioração de uma estrutura, ensaios técnicos são positivos pois fornecem mais informações sobre ela, apesar de não serem imprescindíveis para o Método MAIS. Neste estudo de caso alguns ensaios foram realizados, sendo eles: mapeamento das fissuras, monitoramento das fissuras com placas de gesso e imagens termográficas. Mais sobre eles será exposto a seguir.

6.2.1.2 Mapeamento de Fissuras

Fazer o mapeamento de fissuras é uma ótima ferramenta para visualizar globalmente o estado da estrutura quando avaliada a olho nu por uma inspeção visual, e isto foi realizado em fevereiro de 2018, sendo apresentado na Figura 65. Nota-se a presença de várias fissuras na laje, principalmente em sua área central.

Figura 65: Mapeamento de fissuras - Entrada central Norte.



6.2.1.3 Monitoramento das Fissuras

A fissura é um sinal de que a estrutura se movimentou. É positivo para o corpo técnico saber se tais fissuras ainda estão ativas, ou seja, se ainda se movimentam, ou se estão inativas, mostrando que a estrutura se acomodou. Para tal faz-se um ensaio de monitoramento das fissuras na qual placas de gesso são aplicadas sobre elas, tal qual Figura 66. Caso estejam inativas, o gesso continuará contínuo e liso, caso estejam ativas o gesso mostrará claramente essa movimentação. Esse ensaio foi realizado em fevereiro de 2018 e o resultado é que as fissuras já se encontravam inativas, já que o gesso não apresentou nenhuma deformação.

Figura 66: Monitoramento fissuras com placas de gesso.

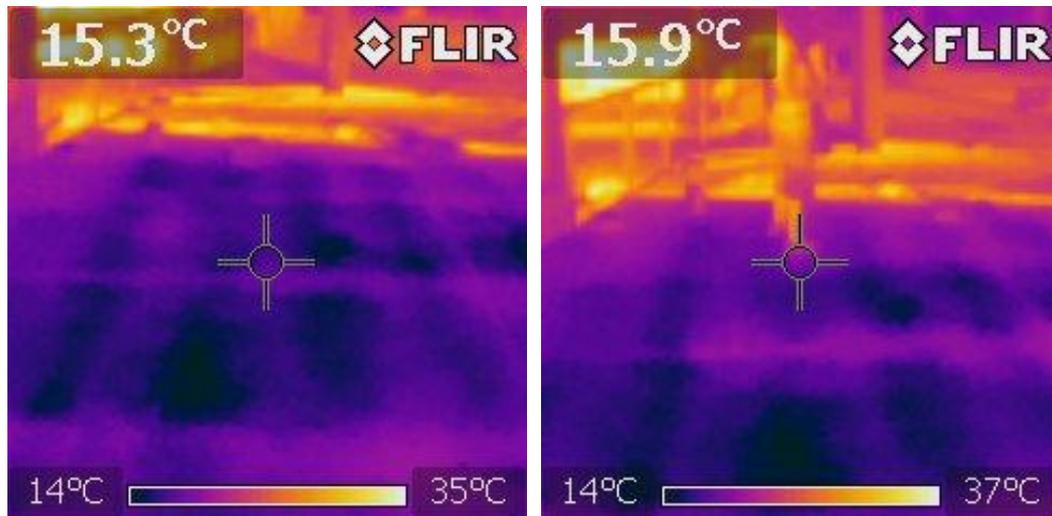


6.2.1.4 Imagens Termográficas

Um obstáculo dos profissionais da área da engenharia diagnóstica é a impossibilidade de ver e saber o que há dentro das estruturas, quais foram as técnicas construtivas, os materiais utilizados, entre outras informações. Como alternativa surge a termografia, ferramenta não destrutiva que, com o auxílio de uma câmera específica, capta as diferenças de temperatura de um corpo. Como diferentes materiais possuem diferentes índices de transmissão de calor, pode ser de grande utilidade para os profissionais da área.

Neste trabalho a termografia foi utilizada para esclarecer o esquema construtivo dessa laje e locar grosseiramente as vigotas presentes no caixão perdido, como mostra a Figura 67.

Figura 67: Imagens termográficas mezanino ICC.

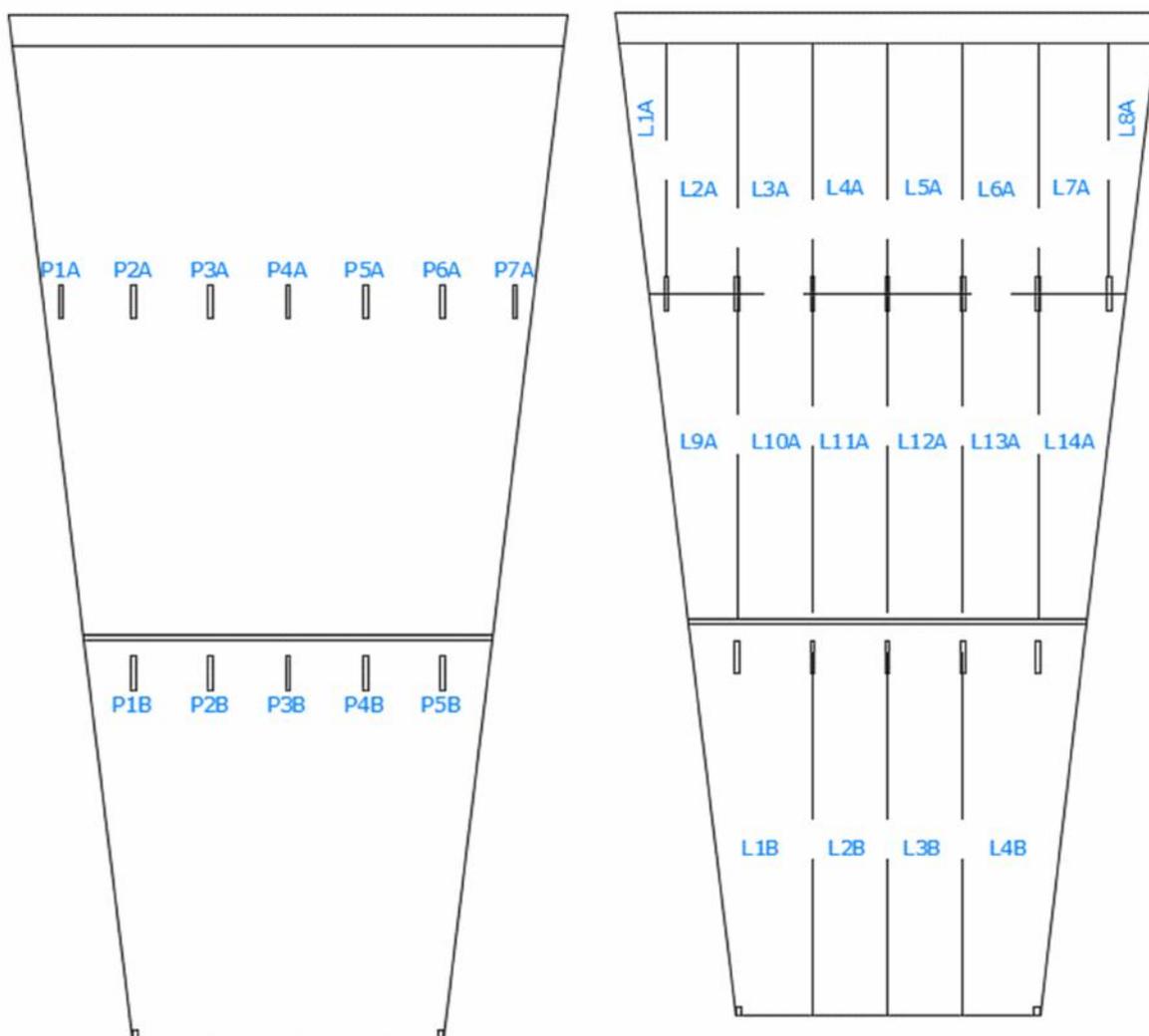


6.2.1.5 Inspeção Sensorial

Para aplicar a metodologia de avaliação da estrutura, uma vistoria *in loco* foi realizada e o levantamento das patologias. Para tanto a estrutura foi dividida em classes de elementos. A classe de pilares foi desmembrada em doze elementos e foram nomeados de acordo com a sua localização conforme qual junta ele se encontra. A mesma lógica foi seguida para a família de lajes, que foi dividida em dezoito elementos, como mostra a Figura 68.

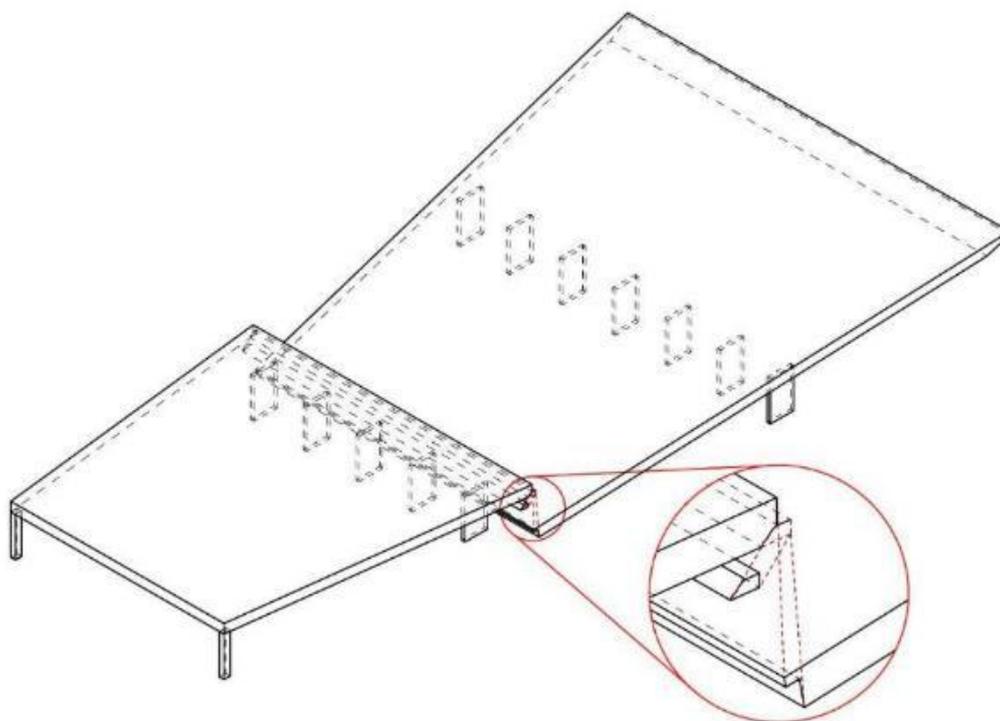
Com o auxílio do roteiro de inspeção cada um dos elementos foi vistoriado e os Fatores de Intensidade e Extensão levantados.

Figura 68: Elementos laje ICC Norte.



Essa visita técnica também foi relevante para constatar a queda na laje do Lado A, que possuía uma inclinação no sentido a junta de dilatação, conforme representa a Figura 69, manifestação patológica que demonstra a fragilidade da estrutura e que foi acrescentada na matriz de avaliação das lajes para esse estudo de caso em específico.

Figura 69: Queda da laje Mezanino ICC Norte.



6.2.1.5.1 Pilares

Os pilares encontravam-se em boas condições, sensorialmente atendendo ao mínimo requerido pela edificação. A Figura 70 apresenta foto de um dos pilares, que representa bem toda a classe, mostrando sua tipologia e algumas anomalias encontradas. As Tabela 31 e Tabela 32 mostram os dados coletados, ou seja, os Fatores usados como inputs para encontrar a Integridade local e global da estrutura, sendo os atributos relacionados à Tabela 4: Escala geral e atributos dos Fatores de Dano, Intensidade e Extensão. Deslocamento e falhas na concretagem eram as anomalias predominantes, mas também foram encontrados corrosão na armadura, eflorescência e fissura.

Figura 70: Pilares - Mezanino ICC Norte.



Tabela 31: Dados levantados via inspeção sensorial – Pilares A - ICC Norte.

LOCAL:		Mezanino ICC Norte									
DATA:		06/2019									
ELEMENTOS:		PA1		PA2		PA3		PA4		PA5	
DANOS	Fd	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe
Carbonatação	B										
Cobrimento deficiente	B										
Contaminação por cloretos	C										
Corrosão de armaduras	D					B	A				
Desagregação	B										
Desplacamento	B					B	A	A	A	B	C
Desvio de geometria	C										
Eflorescência	A			A	A					B	D
Falha de concretagem	B					A	A			A	D
Fissuras (0,4 a 1)*	C					B	A				
Manchas	B									B	C
Recalque	D										
Sinais de esmagamento	D										
Umidade na base	B										

Tabela 32: Dados levantados via inspeção sensorial – Pilares B - ICC Norte.

LOCAL:		Mezanino ICC Norte									
DATA:		07/2019									
ELEMENTOS:		PB1		PB2		PB3		PB4		PB5	
DANOS	Fd	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe
Carbonatação	B										
Cobrimento deficiente	B							C	A	A	B
Contaminação por cloretos	C										
Corrosão de armaduras	D							C	A		
Desagregação	B										
Desplacamento	B										
Desvio de geometria	C			A	A						
Eflorescência	A	A	A	A	A	A	A				
Falha de concretagem	B	A	A			A	A	A	A	A	A
Fissuras (0,4 a 1)*	C										
Manchas	B										
Recalque	D										
Sinais de esmagamento	D										
Umidade na base	B										

6.2.1.5.2 Lajes

A laje do Mezanino Norte possuía várias partes que se encontravam visualmente bastante deterioradas, como mostram as fotos da Figura 71. Basicamente havia anomalias em toda a laje, prevalecendo cobrimento deficiente, corrosão de armaduras, deslocamento, fortes eflorescências pontuais, além de fissuras e manchas, conforme a Tabela 33.

Figura 71: Laje Mezanino ICC Norte.



Tabela 33: Dados levantados via inspeção sensorial – Lajes A - ICC Norte.

LOCAL:		Mezanino ICC Norte													
DATA:		07/2019													
ELEMENTOS:		LA1		LA2		LA3		LA4		LA5		LA6		LA7	
DANOS	Fd	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe
Carbonatação	B														
Cobrimento deficiente	B	B	D	C	C	B	D	C	D	B	D	B	D	B	C
Contaminação por cloretos	B														
Corrosão de armaduras	D	C	B	B	B	B	D	B	D	B	C	B	C	C	B
Desagregação	B														
Desplacamento	B	C	A	C	A			B	A	B	A	D	B	D	A
Eflorescência	A	D	C	C	B	D	C	C	B	D	D	C	C	C	C
Falha de concretagem	A			A	B	A	A			A	B				
Fissuras	D					C	D	D	C			D	B		
Flechas	D														
Manchas	B	C	B	C	D	C	B	C	A	C	B	C	C	C	C
Sinais de esmagamento	D														
Umidade	C														
Desnível da Laje*	D	D	B	D	B	D	B	D	B	D	B	D	B	D	B

* Manifestação patológica acrescentada para a avaliação das lajes nesse estudo de caso.

Tabela 33: Dados levantados via inspeção sensorial –Lajes A - ICC Norte (Continuação).

LOCAL:		Mezanino ICC Norte													
DATA:		07/2019													
ELEMENTOS:		LA8		LA9		LA10		LA11		LA12		LA13		LA14	
DANOS	Fd	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe
Carbonatação	B														
Cobrimento deficiente	B	B	C	C	C	B	D	A	D	B	D	C	D	B	D
Contaminação por cloretos	B														
Corrosão de armaduras	D	C	B	D	C	B	B	D	B	D	C	D	C	C	B
Desagregação	B														
Desplacamento	B	D	A	D	A	B	A	B	A	D	A	B	A		
Eflorescência	A	D	D	C	D	C	C	C	C	C	D	D	C	D	C
Falha de concretagem	A	B	A							D	A				
Fissuras	D			D	C			D	D	D	D	D	C	D	B
Flechas	D														
Manchas	B	C	D	C	D	C	D	C	C	C	D	C	D	C	D
Sinais de esmagamento	D														
Umidade	C													D	B
Desnível da Laje*	D	D	B												

* Manifestação patológica acrescentada para a avaliação das lajes nesse estudo de caso.

6.2.1.6 Apresentação e Análise dos Resultados

Os resultados da avaliação, tanto dos elementos quanto global, do Mezanino do Instituto Central de Ciências localizado na entrada norte são os apresentados neste item.

6.2.1.6.1 Lajes

A laje encontrava-se visualmente em situação degradada e o Método MAIS contribuiu para quantificar esse dano. A Tabela 34 apresenta as integridades e a Tabela 35 o risco das lajes de acordo com as quatro combinações possíveis entre Modelo de Dano e Escalas. O Gráfico 13 apresenta uma visão geral dos resultados em porcentagem.

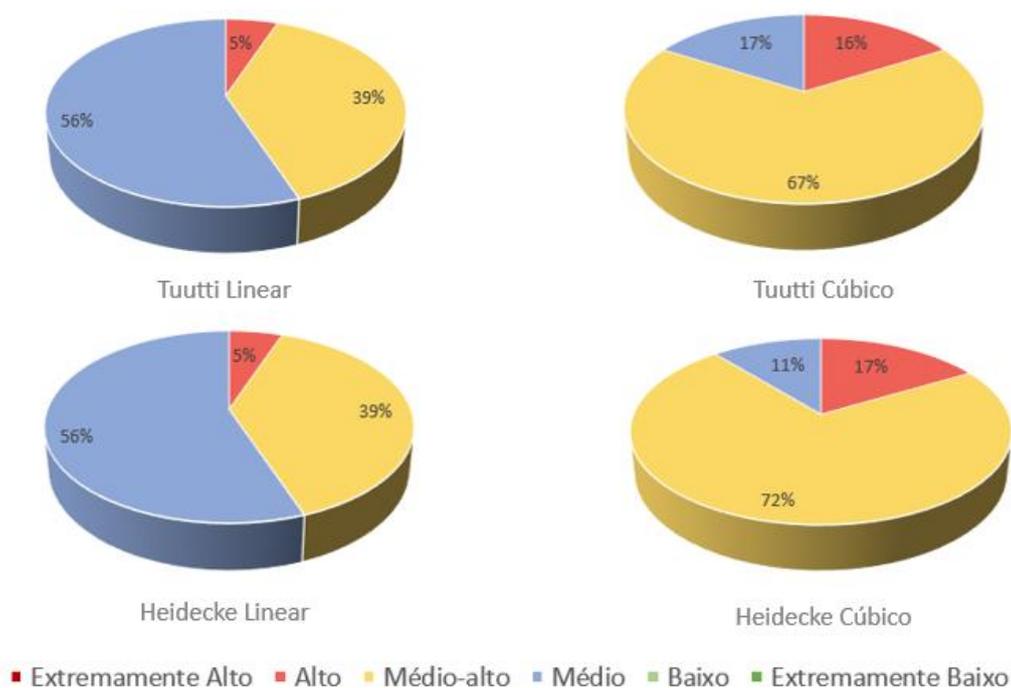
Tabela 34: Integridade lajes - Mezanino ICC Norte.

Elemento	Integridade				Classificação Integridade			
	TL	TC	HL	HC	TL	TC	HL	HC
LA1	0,56	0,42	0,56	0,42	Média	Baixa	Média	Baixa
LA2	0,58	0,43	0,58	0,43	Média	Baixa	Média	Baixa
LA3	0,55	0,36	0,55	0,38	Média	Sofrível	Média	Baixa
LA4	0,36	0,23	0,36	0,22	Baixa	Sofrível	Baixa	Sofrível
LA5	0,58	0,46	0,58	0,45	Média	Baixa	Média	Baixa
LA6	0,54	0,41	0,54	0,40	Média	Baixa	Média	Baixa
LA7	0,57	0,43	0,57	0,43	Média	Baixa	Média	Baixa
LA8	0,55	0,42	0,55	0,41	Média	Baixa	Média	Baixa
LA9	0,32	0,19	0,32	0,19	Sofrível	Crítica	Sofrível	Crítica
LA10	0,79	0,62	0,79	0,63	Média	Média	Média	Média
LA11	0,62	0,48	0,62	0,48	Média	Baixa	Média	Baixa
LA12	0,15	0,10	0,14	0,10	Crítica	Crítica	Crítica	Crítica
LA13	0,38	0,25	0,38	0,25	Baixa	Sofrível	Baixa	Sofrível
LA14	0,53	0,40	0,53	0,40	Média	Baixa	Média	Baixa
LB1	0,30	0,18	0,30	0,18	Sofrível	Crítica	Sofrível	Crítica
LB2	0,41	0,28	0,41	0,28	Baixa	Sofrível	Baixa	Sofrível
LB3	0,29	0,17	0,29	0,16	Sofrível	Crítica	Sofrível	Crítica
LB4	0,29	0,17	0,29	0,17	Sofrível	Crítica	Sofrível	Crítica

Tabela 35: Confiabilidade e risco lajes - Mezanino ICC Norte.

Elemento	Confiabilidade				Nível de Risco			
	TL	TC	HL	HC	TL	TC	HL	HC
LA1	2,2	1,7	2,2	1,7	Médio	Médio-alto	Médio	Médio-alto
LA2	2,3	1,7	2,3	1,7	Médio	Médio-alto	Médio	Médio-alto
LA3	2,2	1,4	2,2	1,5	Médio	Médio-alto	Médio	Médio-alto
LA4	1,5	0,9	1,4	0,9	Médio-alto	Médio-alto	Médio-alto	Médio-alto
LA5	2,3	1,8	2,3	1,8	Médio	Médio	Médio	Médio-alto
LA6	2,2	1,6	2,1	1,6	Médio	Médio-alto	Médio	Médio-alto
LA7	2,3	1,7	2,3	1,7	Médio	Médio-alto	Médio	Médio-alto
LA8	2,2	1,7	2,2	1,7	Médio	Médio-alto	Médio	Médio-alto
LA9	1,3	0,8	1,3	0,8	Médio-alto	Médio-alto	Médio-alto	Médio-alto
LA10	3,1	2,5	3,2	2,5	Médio	Médio	Médio	Médio
LA11	2,5	1,9	2,5	1,9	Médio	Médio	Médio	Médio
LA12	0,6	0,4	0,6	0,4	Alto	Alto	Alto	Alto
LA13	1,5	1,0	1,5	1,0	Médio-alto	Médio-alto	Médio-alto	Médio-alto
LA14	2,1	1,6	2,1	1,6	Médio	Médio-alto	Médio	Médio-alto
LB1	1,2	0,7	1,2	0,7	Médio-alto	Médio-alto	Médio-alto	Médio-alto
LB2	1,7	1,1	1,6	1,1	Médio-alto	Médio-alto	Médio-alto	Médio-alto
LB3	1,2	0,7	1,1	0,7	Médio-alto	Alto	Médio-alto	Alto
LB4	1,2	0,7	1,2	0,7	Médio-alto	Alto	Médio-alto	Alto

Gráfico 13: Porcentagem do nível de confiabilidade dos elementos Lajes.



Nas formulações cúbicas mais de 65% dos elementos possuem risco médio-alto, enquanto nas lineares esse valor é de 39%, prevalecendo o risco médio. A escala cúbica também apresentou mais elementos com risco alto, sendo de cerca de 16%. Isso mostra que na fase de propagação da manifestação patológica a escala cúbica é mais prudente e condizente com a realidade. Além disso tira-se outra vez as formulações lineares possuíram comportamentos semelhantes entre si, assim como as formulações cúbicas.

Relativo à classe de Lajes, composta por apenas dois grupos (Lajes do Lado A e Lajes do Lado B), as Tabela 36 e Tabela 37 apresentam os resultados quanto à sua Integridade e Confiabilidade respectivamente, conforme as classificações das Tabela 16 e Tabela 18.

Tabela 36: Integridade das classes de Lajes – Mezanino ICC Norte.

Classe	Integridade da Classe				Classificação Integridade			
	TL	TC	HL	HC	TL	TC	HL	HC
Lajes Lado A	0,16	0,11	0,16	0,10	Crítica	Crítica	Crítica	Crítica
Lajes Lado B	0,29	0,17	0,29	0,17	Sofrível	Crítica	Sofrível	Crítica

Tabela 37: Confiabilidade das classes de Lajes – Mezanino ICC Norte.

Classe	Confiabilidade				Nível de Confiabilidade			
	TL	TC	HL	HC	TL	TC	HL	HC
Lajes Lado A	0,64	0,44	0,62	0,42	Alto	Alto	Alto	Alto
Lajes Lado B	1,17	0,69	1,16	0,67	Médio-alto	Alto	Médio-alto	Alto

Nas Lajes A, com apenas um elemento classificado com risco alto, esse foi também o risco da classe. Isso demonstra que a intenção da fórmula foi alcançada visto que o elemento mais degradado realmente tem mais peso na formulação, além de apresentar uma precaução no resultado. Já nas Lajes B as formulações lineares determinam que a classe tem risco médio-alto, menos precavidas que as cúbicas. As lajes realmente encontravam-se bem degradadas, o que justifica o resultado.

6.2.1.6.2 Pilares

Os pilares do Mezanino do ICC Norte, já sensorialmente, encontravam-se em boa situação, o que foi confirmado através do Método MAIS, cujos resultados encontram-se na Tabela 38, Tabela 39 e no Gráfico 14.

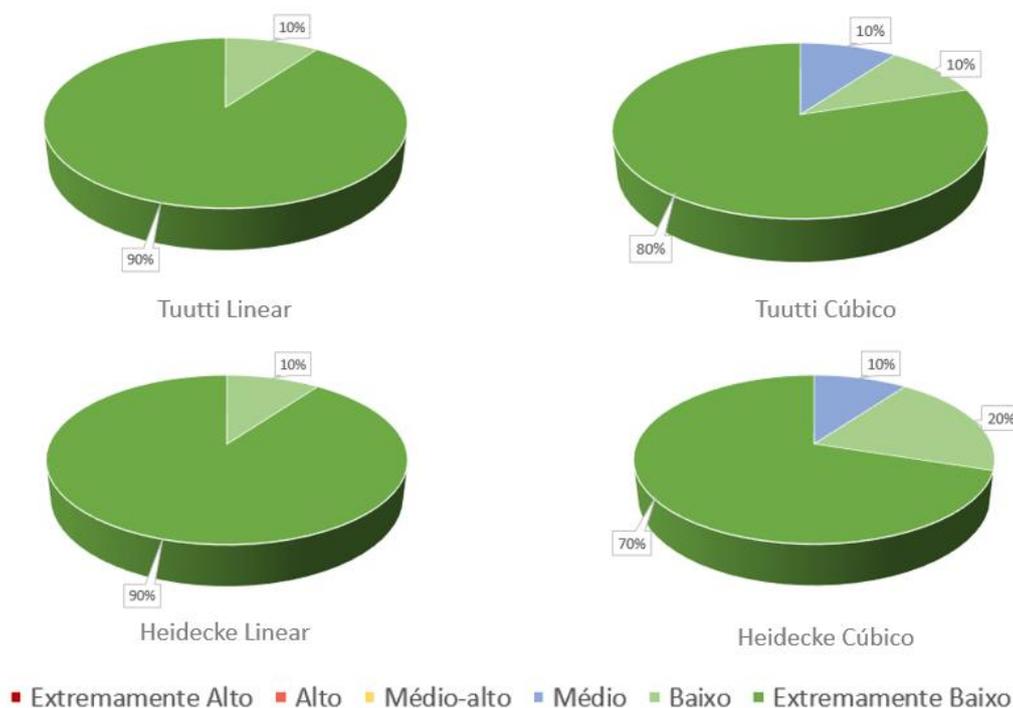
Tabela 38: Integridade Pilares - Mezanino do ICC Norte.

Elemento	Integridade				Classificação Integridade			
	TL	TC	HL	HC	TL	TC	HL	HC
PA1	1,00	1,00	1,00	1,00	Alta	Alta	Alta	Alta
PA2	1,00	0,99	1,00	0,99	Alta	Alta	Alta	Alta
PA3	0,98	0,94	0,98	0,91	Alta	Alta	Alta	Alta
PA4	0,99	0,98	1,00	0,99	Alta	Alta	Alta	Alta
PA5	0,96	0,92	0,96	0,88	Alta	Alta	Alta	Alta
PB1	0,99	0,98	1,00	0,99	Alta	Alta	Alta	Alta
PB2	0,99	0,98	1,00	0,99	Alta	Alta	Alta	Alta
PB3	0,99	0,98	1,00	0,99	Alta	Alta	Alta	Alta
PB4	0,91	0,75	0,91	0,76	Alta	Média	Alta	Média
PB5	0,99	0,97	1,00	0,99	Alta	Alta	Alta	Alta

Tabela 39: Confiabilidade e risco Pilares - Mezanino do ICC Norte.

Elemento	Confiabilidade (ϕ)				Nível de Risco			
	TL	TC	HL	HC	TL	TC	HL	HC
PA1	4,0	4,0	4,0	4,0	Extremamente Baixo	Extremamente Baixo	Extremamente Baixo	Extremamente Baixo
PA2	4,0	3,9	4,0	4,0	Extremamente Baixo	Extremamente Baixo	Extremamente Baixo	Extremamente Baixo
PA3	3,9	3,7	3,9	3,7	Extremamente Baixo	Extremamente Baixo	Extremamente Baixo	Baixo
PA4	4,0	3,9	4,0	4,0	Extremamente Baixo	Extremamente Baixo	Extremamente Baixo	Extremamente Baixo
PA5	3,9	3,7	3,9	3,5	Extremamente Baixo	Baixo	Extremamente Baixo	Baixo
PB1	4,0	3,9	4,0	4,0	Extremamente Baixo	Extremamente Baixo	Extremamente Baixo	Extremamente Baixo
PB2	4,0	3,9	4,0	4,0	Extremamente Baixo	Extremamente Baixo	Extremamente Baixo	Extremamente Baixo
PB3	4,0	3,9	4,0	4,0	Extremamente Baixo	Extremamente Baixo	Extremamente Baixo	Extremamente Baixo
PB4	3,6	3,0	3,7	3,0	Baixo	Médio	Baixo	Médio
PB5	4,0	3,9	4,0	4,0	Extremamente Baixo	Extremamente Baixo	Extremamente Baixo	Extremamente Baixo

Gráfico 14: Porcentagem do nível de confiabilidade dos elementos Lajes.



Esse é um exemplo interessante por evidenciar a importância das cores na matriz de risco. O verde expresso nas tabelas e gráficos confirmam ainda que intuitivamente o bom estado dos pilares. A Tabela 40 e Tabela 41 mostram os resultados das classes.

Tabela 40: Integridade lajes – Mezanino ICC Norte.

Classe	Integridade da Classe				Classificação Integridade			
	TL	TC	HL	HC	TL	TC	HL	HC
Pilar Lado A	0,97	0,92	0,97	0,90	Alta	Alta	Alta	Alta
Pilar Lado B	0,92	0,79	0,94	0,81	Alta	Média	Alta	Alta

Tabela 41: Confiabilidade e risco lajes – Mezanino ICC Norte.

Classe	Confiabilidade (ϕ)				Nível de Risco			
	TL	TC	HL	HC	TL	TC	HL	HC
Pilar Lado A	3,87	3,69	3,88	3,58	Extremamente Baixo	Baixo	Extremamente Baixo	Baixo
Pilar Lado B	3,69	3,16	3,74	3,25	Baixo	Médio	Extremamente Baixo	Médio

Com essas informações pode-se retirar que os pilares se encontram em boa situação, como previsto na inspeção *in loco*, sendo a maior parte dos elementos classificados com grau de Integridade alto ou médio, alguns apresentando até 100% de integridade. Com a alta integridade o grau de risco varia entre extremamente baixo (predominante na escala linear) e médio (predominante na escala cúbica).

Outra vez as escalas lineares outra vez foram menos conservadoras e deve-se planejar uma intervenção no longo prazo. Quando se compara o resultado das lajes com o dos pilares, muito rapidamente e intuitivamente nota-se que este se encontra em condições bem melhores que o aquele, evidenciando a importância das cores.

6.2.1.6.3 Estrutura Global

De modo a encontrar o grau de, utiliza-se a equação (37) e foi considerado o Fator de Relevância dos pilares de 35% para as duas classes de Pilar e 15% para as Lajes, totalizando os 100%. Os resultados encontrados estão na Tabela 42.

Tabela 42: Integridade e risco global da estrutura.

Classe	Lado	Integridade da Classe				Fr	Intc x Fr			
		TL	TC	HL	HC		TL	TC	HL	HC
Pilares	A	0,97	0,92	0,97	0,90	0,35	0,34	0,32	0,34	0,31
	B	0,92	0,79	0,94	0,81	0,35	0,32	0,28	0,33	0,28
Lajes	A	0,16	0,11	0,16	0,10	0,15	0,02	0,02	0,02	0,02
	B	0,29	0,17	0,29	0,17	0,15	0,04	0,03	0,04	0,03
Confiabilidade							2,92	2,57	2,93	2,55
Nível de risco							Médio	Médio	Médio	Médio

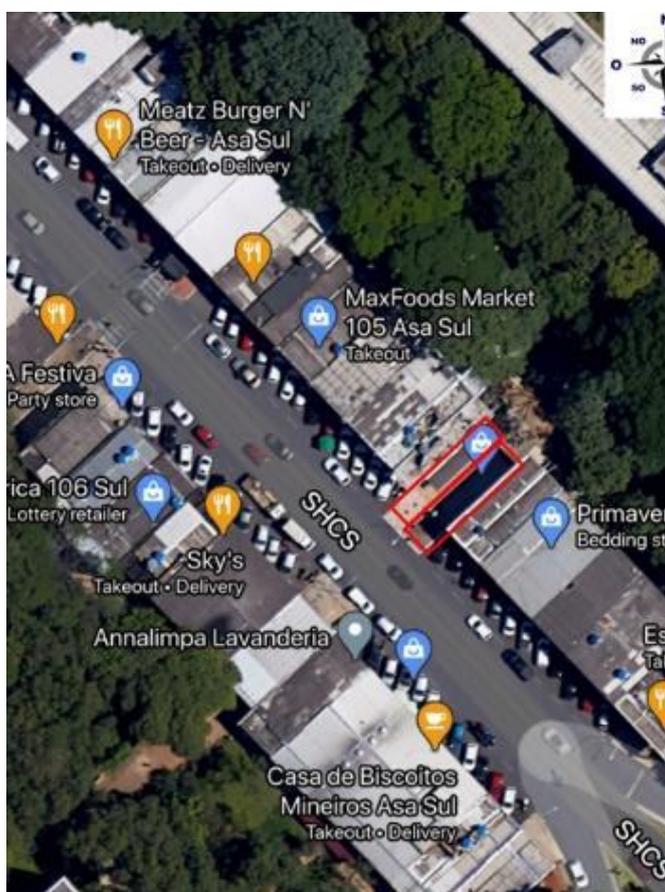
O nível final de confiabilidade global da estrutura é médio independente da formulação. O resultado é bastante coerente visto que a estrutura como um todo não corre grandes riscos, uma vez que os pilares são os elementos que possuem maior grau de importância nessa estrutura e estão em boas condições. Entretanto as Lajes devem ser vistoriadas e sofrer intervenção a curto prazo, principalmente as zonas classificadas com risco alto (Tabela 35).

Esse é um ótimo exemplo que evidencia que, apesar da estrutura globalmente apresentar risco medianos, localmente, mais especificamente nas lajes, a ameaça é maior. A estrutura deve ser acompanhada e sofrer intervenção no máximo em médio prazo.

6.2.2 CLS 105

O terceiro e último estudo de caso é alusivo à avaliação estrutural de duas lojas, localizadas na quadra CLS 105 – Asa Sul. A edificação localiza-se em região urbana com muita movimentação de pessoas e veículos, em local pouco arborizado e com baixa declividade em relação ao terreno, conforme Figura 72.

Figura 72: Vista aérea do estudo de caso CLS 105, Asa Sul, Brasília.



Fonte: Google Maps em dezembro de 2020.

O patrimônio que representa o terceiro estudo de caso da presente pesquisa é um imóvel comercial em estrutura de concreto armado composto por duas lojas com dois pavimentos cada um, justapostos, separados por uma junta de dilatação, composto pelo pavimento térreo que dá

acesso ao edifício pelas fachadas nordeste, sudeste e sudoeste, pelo 1º pavimento e pela cobertura. Conforme item 6.2, toda edificação localizada nas Asa Norte e Sul pertencem a uma região tombada pela UNESCO, uma vez que o Plano Piloto de Brasília representa um marco na história da arquitetura e urbanismo. Desse modo, toda e qualquer intervenção deve ser feita respeitando a tipologia e arquitetura do bairro. De modo a aplicar a Metodologia MAIS, foram extraídas o máximo de informações possíveis da edificação e seus projetos estruturais, que auxiliaram na vistoria sensorial. A Figura 73 mostra uma foto com visão geral do patrimônio, com o térreo e o 1º pavimento.

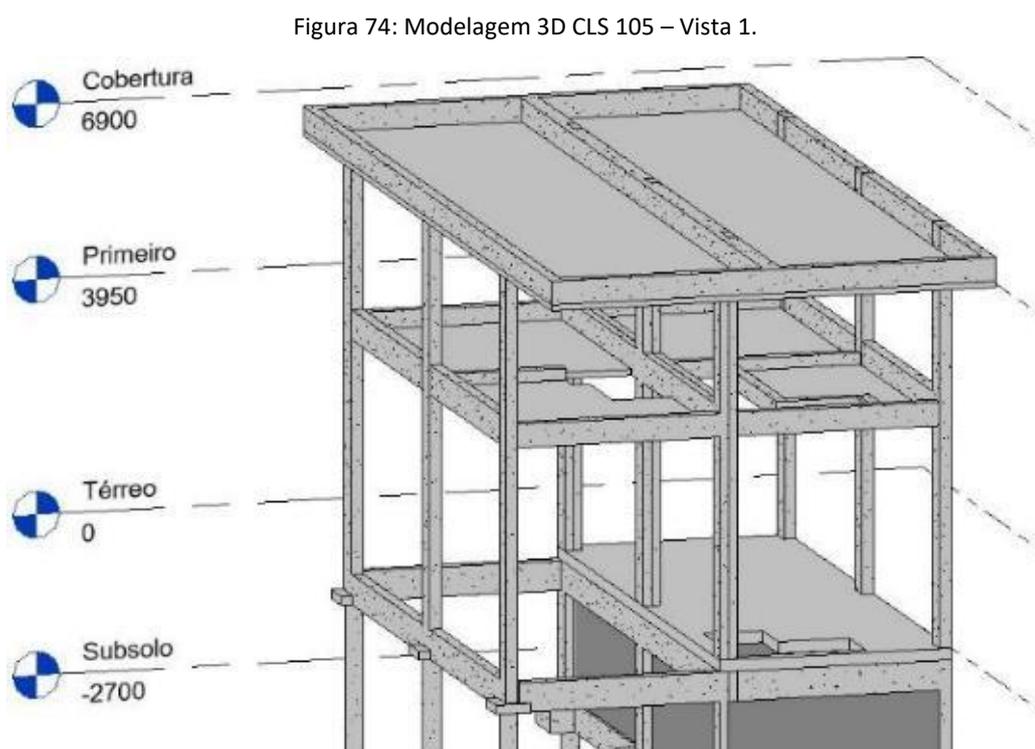
Figura 73: Pavimento térreo CLS 105, Asa Sul, Brasília.



Para padronizar a análise dos elementos individuais, as lojas foram divididas em:

-) Prédios *i* e *ii*;
-) Pavimento Térreo: Nível 1;
-) 1º Pavimento: Nível 100;
-) Cobertura: Nível 200.

A Figura 74 mostra a modelagem da estrutura do imóvel com o subsolo, que fica sob a Loja ii, térreo, 1º pavimento e cobertura. O subsolo não será abordado devido à dificuldade de vistoriá-lo.



Em dezembro de 2020 visitas *in loco* foram realizadas de modo a ser feita uma vistoria sensorial especializada para levantamento da área e dos dados necessários (Fatores de Dano, Intensidade

e Extensão) para encontrar a Integridade e Confiabilidade da edificação. A seguir serão apresentados as percepções obtidas de cada uma das classes avaliadas (pilares, vigas e lajes) e os dados coletados. Os atributos levantados estão sempre em conformidade com a Tabela 4.

6.2.2.1 Pilares

Os pilares são estruturas verticais, sendo os principais responsáveis por transmitir a carga da edificação para as fundações e, conseqüentemente, para o solo e por isso merecem uma atenção especial. Devem ser projetados e construídos para resistir às forças de compressão e flexo-compressão. O concreto, apesar de não resistir bem a tração, tem boa resistência a compressão e muitas vezes nos pilares a ferragem utilizada é a mínima exigida em norma.

Cada um dos pilares foi analisado pelo corpo técnico e foi atribuído um valor quantitativo para as anomalias presentes. As Figura 75 e Figura 76 mostram a planta baixa estrutural do térreo e do primeiro pavimento respectivamente, além de identificar cada pilar avaliado. Os pilares do centro, divididos pela junta de dilatação, que entretanto encontrava-se obstruída, foram avaliados como um só, pertencentes ao Prédio i.

Via vistoria sensorial pode-se notar que em geral os pilares estavam degradados entre os graus baixo e médio, com manifestações patológicas como carbonatação, cobrimento deficiente, corrosão de armaduras, desagregação, deslocamento, desvio de geometria, falha de concretagem, fissuras, manchas, sinais de esmagamento além de umidade na base.

A Figura 77 mostra algumas dessas deteriorações presentes. Para visualizar cada um dos pilares avaliados, ir ao Anexo B. Então, foi realizado o levantamento dos Fatores de dano, integridade e extensão com o auxílio das matrizes de inspeção. Os levantamentos da Loja i são apresentados nas Tabela 43 e Tabela 44 e os da Loja ii nas Tabela 45 e Tabela 46.

Figura 75: Planta de fôrma com nomeação dos pilares – nível 1 (térreo).

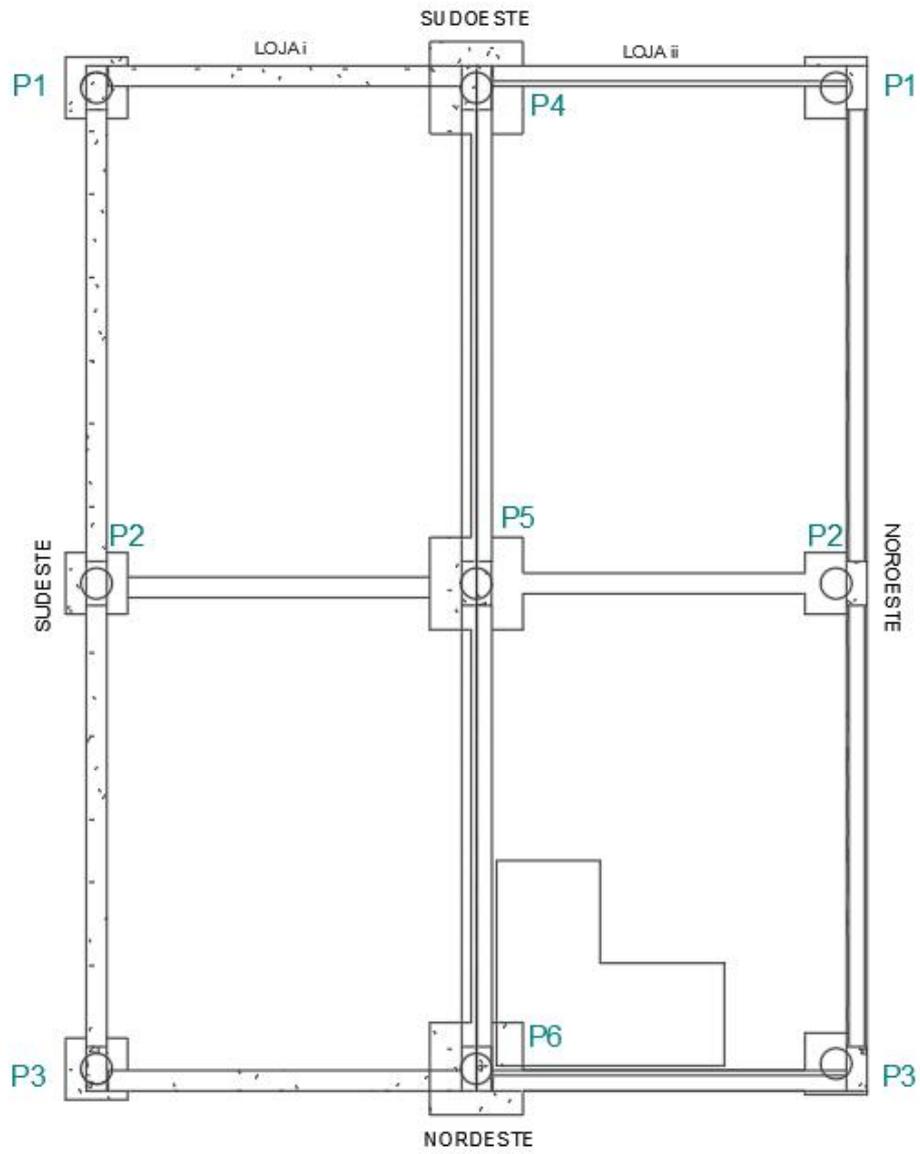


Figura 76: Planta de fôrma com nomeação dos pilares - nível 100 (1º pavimento).

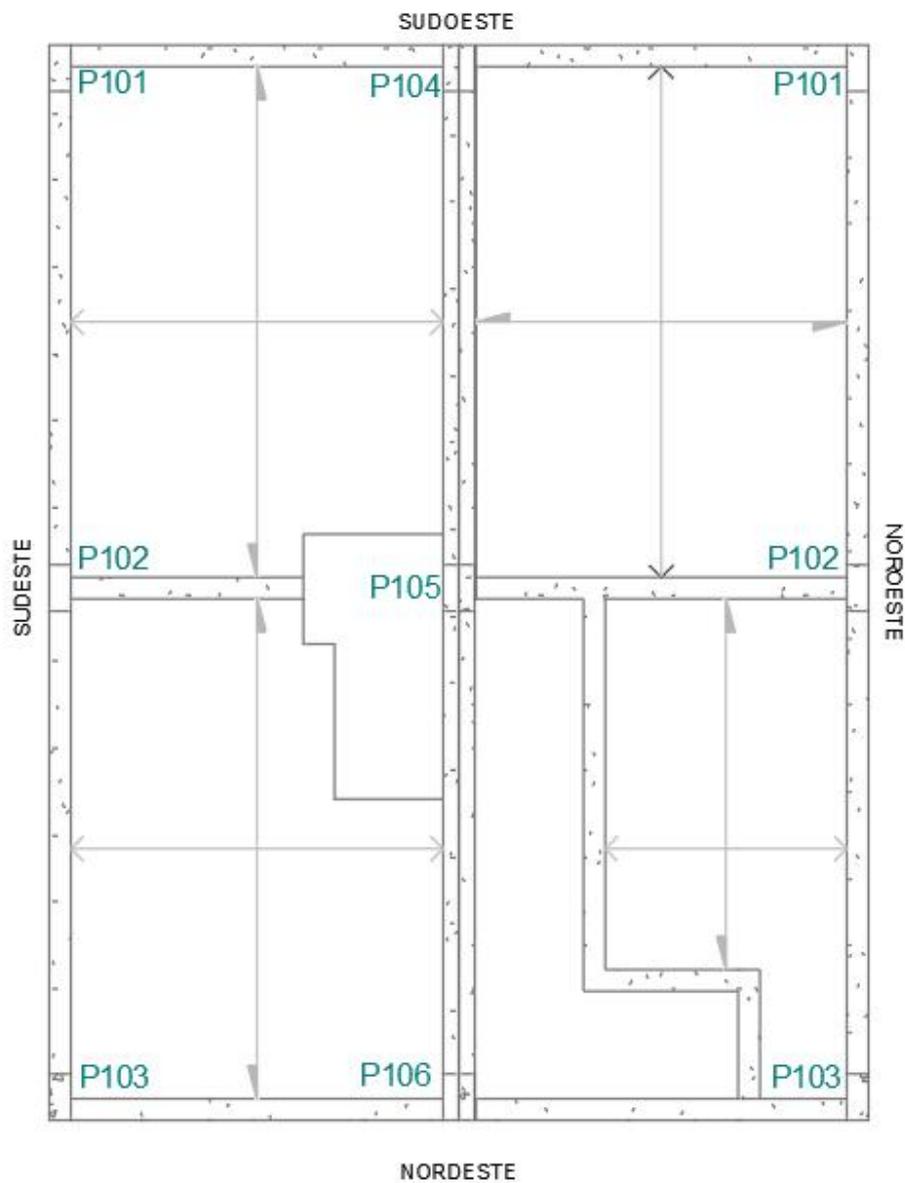
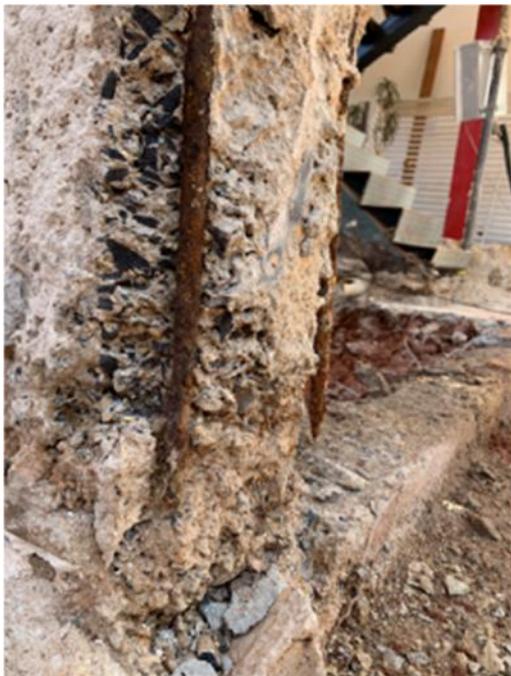


Figura 77: Manifestações patológicas pilares - CLS 105.



a) Armadura da base do pilar exposta, corroída e sem conexão com vigas ou fundação.



b) Armadura exposta e corroída; cobrimento deficiente; desagregação; falha na concretagem



c) Desvio de geometria (pilar do lado esquerdo)



d) Cobrimento deficiente; falha na concretagem.

Tabela 43: Dados levantados via inspeção sensorial – Pilares Prédio i Nível 1 – CLS 105.

LOCAL:		Prédio i ; Nível 1											
DATA:		12/2020											
ELEMENTOS:		P1		P2		P3		P4		P5		P6	
DANOS	Fd	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe
Carbonatação	B	C	C	C	C			C	D			C	B
Cobrimento deficiente	B	B	D	B	D			C	D	B	D	D	A
Contaminação por cloretos	C												
Corrosão de armaduras	D	C	C	C	C	B	A	C	D	B	C	D	C
Desagregação	B	D	B	C	B			D	C	B	B	C	C
Desplacamento	B	B	A			B	A			C	B	C	C
Desvio de geometria	C									B	C	A	B
Eflorescência	A												
Falha de concretagem	B	A	B	A	B	A	A	C	C	B	D	B	D
Fissuras (A a D)	C					B	A						
Manchas	B												
Recalque	D												
Sinais de esmagamento	D	D	B										
Umidade na base	B												

Tabela 44: Dados levantados via inspeção sensorial – Pilares Prédio i Nível 100 – CLS 105.

LOCAL:		Prédio i ; Nível 100											
DATA:		12/2020											
ELEMENTOS:		P101		P102		P103		P104		P105		P106	
DANOS	Fd	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe
Carbonatação	B	C	B	C	D	C	C					C	B
Cobrimento deficiente	B	D	D	D	B	D	B			B	D	C	D
Contaminação por cloretos	C												
Corrosão de armaduras	D	D	C	C	B	D	C			B	C	B	C
Desagregação	B	C	B	C	B	C	C	C	C	B	B	B	C
Desplacamento	B									C	B	B	A
Desvio de geometria	C									B	C		
Eflorescência	A												
Falha de concretagem	B	D	D	B	D	B	D	D	C	B	D	B	D
Fissuras	A a D												
Manchas	B												
Recalque	D												
Sinais de esmagamento	D												
Umidade na base	B												

Tabela 45: Dados levantados via inspeção sensorial – Pilares Prédio ii Nível 1 – CLS 105.

LOCAL:		Prédio ii ; Nível 1					
DATA:		12/2020					
ELEMENTOS:		P1		P2		P3	
DANOS	Fd	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe
Carbonatação	B	C	C	C	C	B	C
Cobrimento deficiente	B	D	B	C	C	C	C
Contaminação por cloretos	C						
Corrosão de armaduras	D	C	C	C	C	C	B
Desagregação	B	B	A	B	C	B	D
Desplacamento	B	B	B	C	B	B	C
Desvio de geometria	C	B	C				
Eflorescência	A						
Falha de concretagem	B	B	C	A	C	B	B
Fissuras (A a D)	C					B	A
Manchas	B						
Recalque	D						
Sinais de esmagamento	D						
Umidade na base	B	C	B				

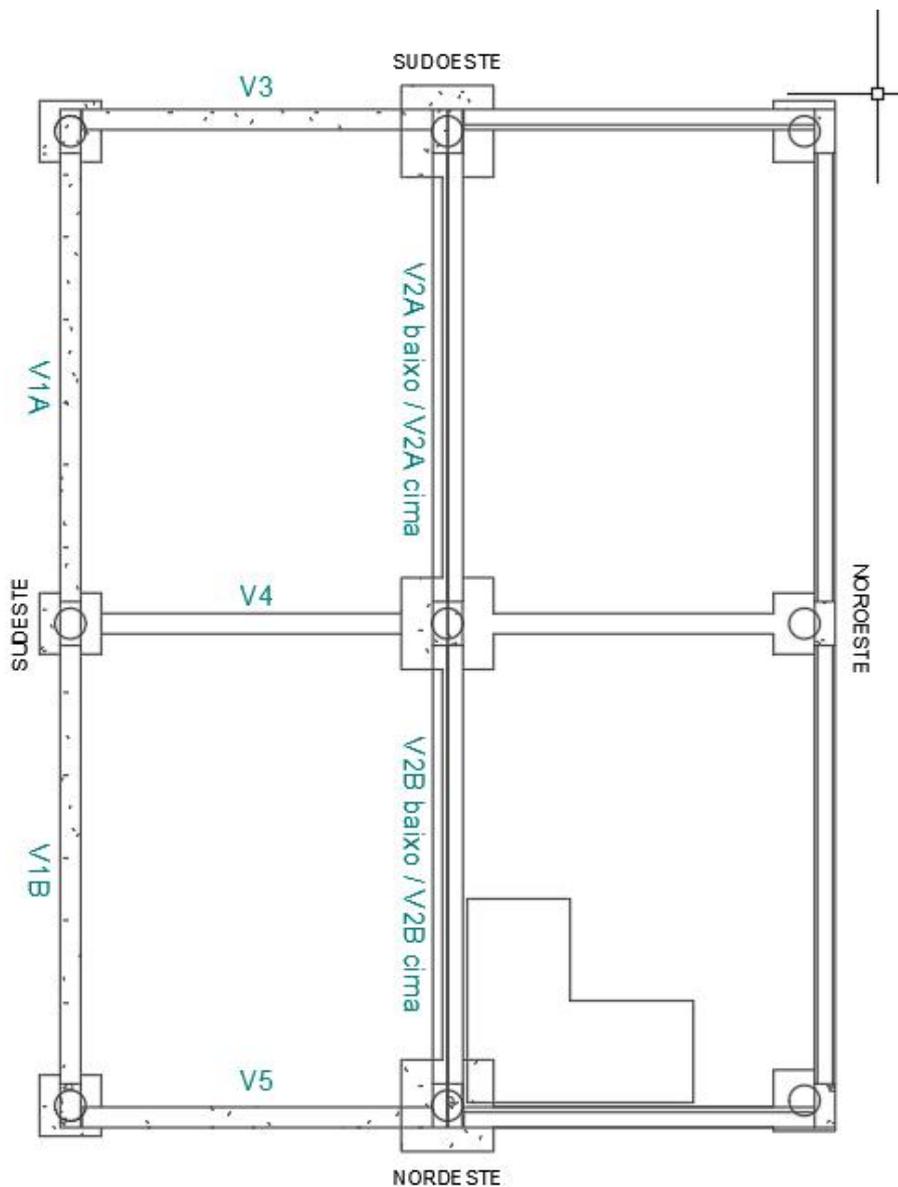
Tabela 46: Dados levantados via inspeção sensorial – Pilares Prédio ii Nível 100 – CLS 105.

LOCAL:		Prédio ii ; Nível 100					
DATA:		12/2020					
ELEMENTOS:		P101		P102		P103	
DANOS	Fd	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe
Carbonatação	B	C	C	C	C	C	B
Cobrimento deficiente	B	C	C	D	D	C	B
Contaminação por cloretos	C						
Corrosão de armaduras	D	C	C	C	D	C	B
Desagregação	B			B	B		
Desplacamento	B	B	C	C	B	B	B
Desvio de geometria	C						
Eflorescência	A						
Falha de concretagem	B	B	C	A	C	A	B
Fissuras (A a D)	C	A	A				
Manchas	B						
Recalque	D						
Sinais de esmagamento	D						
Umidade na base	B						

6.2.2.2 Vigas

A Figura 78 nomeia as vigas avaliadas no Nível 1. As vigas do Prédio ii não puderam ser avaliadas por não estarem visíveis.

Figura 78: Planta Baixa com Nomeação das Vigas - Nível 1 (Térreo).



A Figura 79 nomeia as vigas do Nível 100 e a Figura 80 do Nível 200.

Figura 79: Planta Baixa com Nomeação das Vigas - Nível 100 (1º Pavimento).

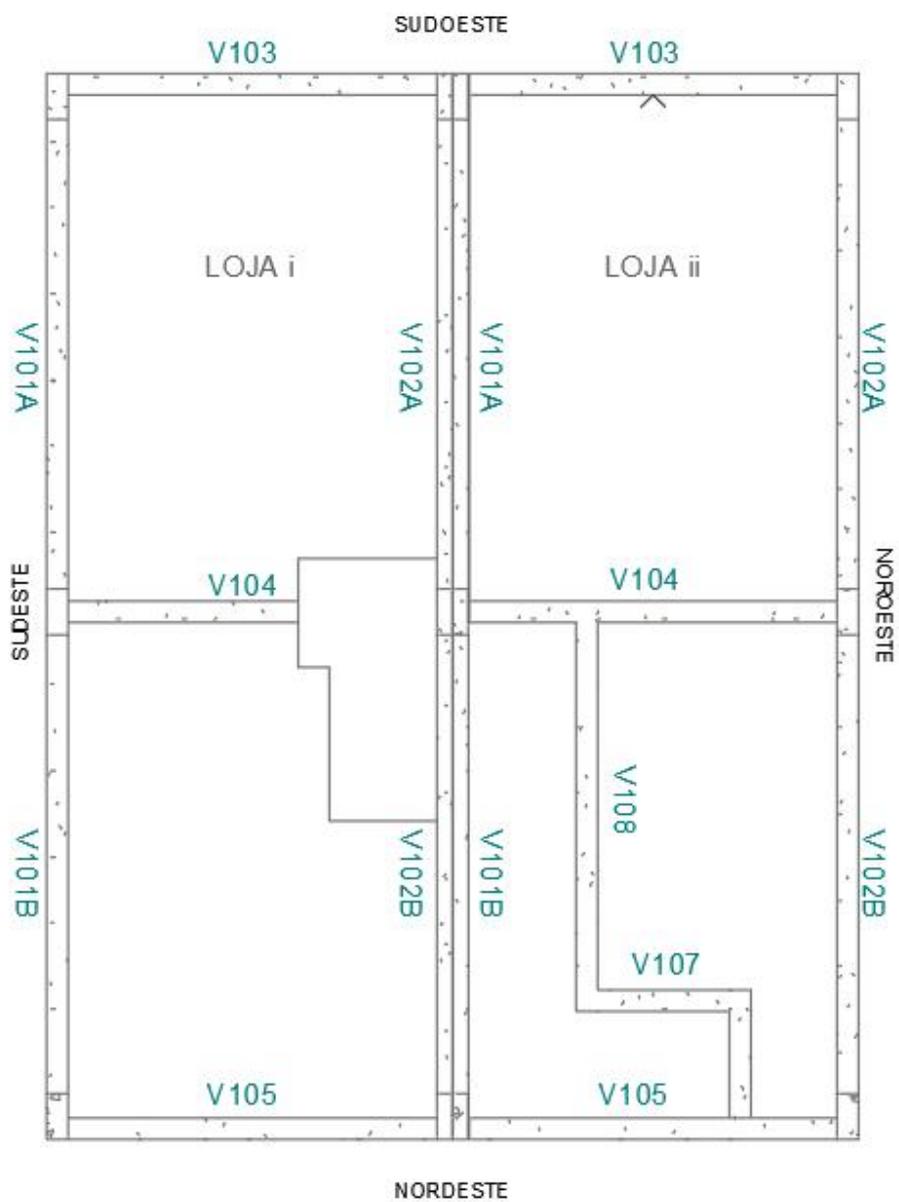
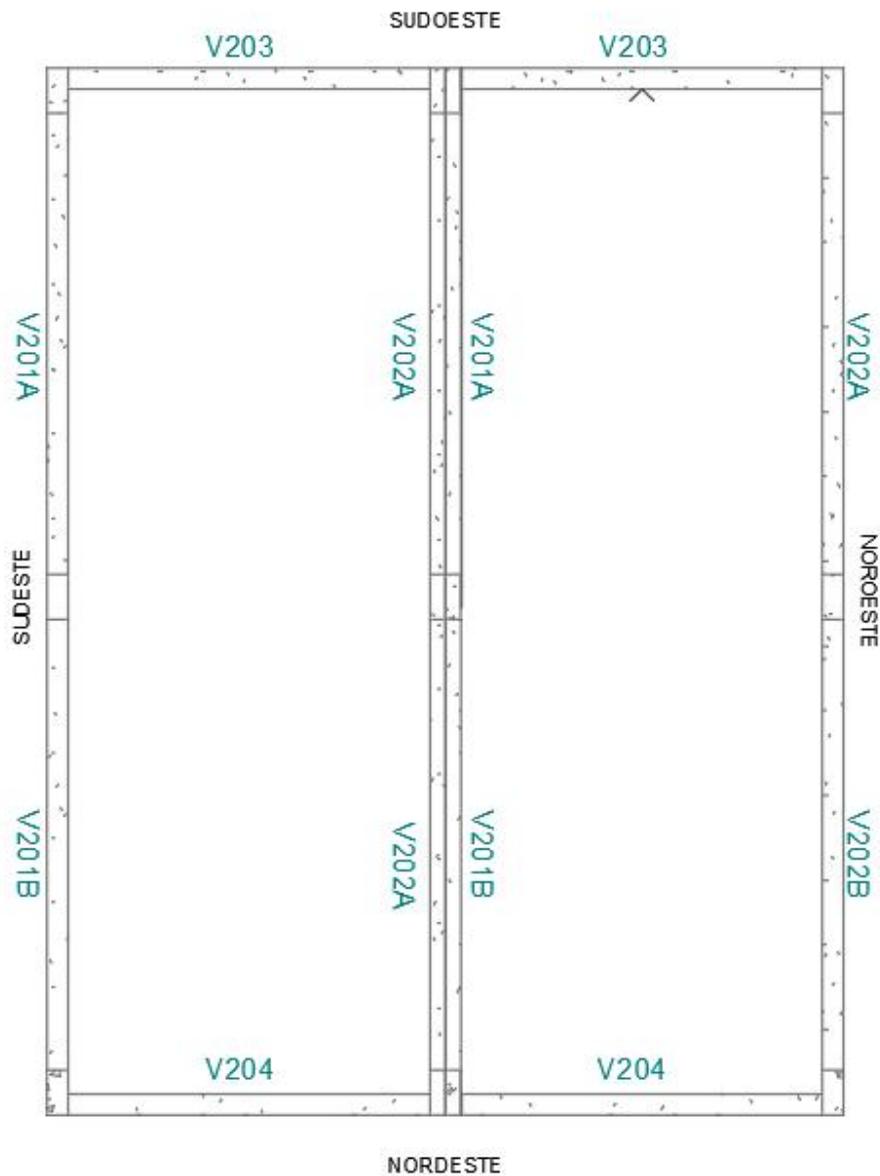


Figura 80: Planta Baixa com Nomeação das Vigas - Nível 200 (Cobertura).



Durante a inspeção foram observadas as manifestações patológicas de carbonatação, cobrimento deficiente, corrosão das armaduras, desagregação, deslocamento, falha de concretagem, fissuras, manchas, sinais de esmagamento e umidade. A Figura 81 exibe algumas dessas manifestações patológicas vistoriadas, para maiores detalhes consultar o Anexo B.

Figura 81: Manifestações patológicas - Vigas.



a) Armadura exposta e corroída, cobrimento deficiente; falhas de concretagem; desagregação.



b) Armadura exposta e corroída; cobrimento deficiente; desagregação; deslocamento; falhas de concretagem.



c) Armadura exposta e corroída; cobrimento deficiente; desagregação



d) Desagregação; deslocamento; falhas de concretagem.

Os Fatores de dano, integridade e extensão coletados via inspeção sensorial dos dois prédios (i e ii) e dos três pavimentos (térreo, 1º pavimento e cobertura) são os apresentados a seguir da Tabela 47 a Tabela 53.

Tabela 47: Dados levantados via inspeção sensorial – Vigas Prédio i Nível 1 – CLS 105.

LOCAL:		Prédio i ; Nível 1							
DATA:		12/2020							
ELEMENTOS:		V1A		V1B		V2A baixo		V2A cima	
DANOS	Fd	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe
Carbonatação	B	C	C	C	C	C	C		
Cobrimento deficiente	B	D	C	C	D	D	C	B	D
Contaminação por cloretos	C								
Corrosão de armaduras	D	D	C	B	C	B	D	B	B
Desagregação	B	D	D	D	D	C	C	C	C
Desplacamento	B	B	B	C	C			B	B
Eflorescência	A								
Falhas de concretagem	A	C	D	D	C	B	D	A	C
Fissuras	A a D								
Flechas	D					B	D		
Manchas	B								
Sinais de esmagamento	C								
Umidade	B								

Tabela 48: Dados levantados via inspeção sensorial – Vigas Prédio i Nível 1 – CLS 105 (Continuação).

LOCAL:		Prédio i ; Nível 1									
DATA:		12/2020									
ELEMENTOS:		V2B baixo		V2B cima		V3		V4		V5	
DANOS	Fd	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe
Carbonatação	B	B	B			C	C	C	C	C	B
Cobrimento deficiente	B	C	B			D	D	D	D	D	C
Contaminação por cloretos	C										
Corrosão de armaduras	D	D	A			D	C	D	C	D	C
Desagregação	B	C	C	A	B	D	C	D	C	C	C
Desplacamento	B			B	B			D	C	C	B
Eflorescência	A										
Falhas de concretagem	A	B	D	A	B	C	D	D	C	D	B
Fissuras	A a D										
Flechas	D										
Manchas	B										
Sinais de esmagamento	C										
Umidade	B										

Tabela 49: Dados levantados via inspeção sensorial – Vigas Prédio i Nível 100 – CLS 105.

LOCAL:		Prédio i ; Nível 100													
DATA:		12/2020													
ELEMENTOS:		V101A		V101B		V102A		V102B		V103		V104		V105	
DANOS	Fd	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe
Carbonatação	B	D	D	D	D	D	D	C	D	C	B	C	D	C	C
Cobrimento deficiente	B	D	D	D	D	D	C	D	D	C	B	D	D		
Contaminação por cloretos	C														
Corrosão de armaduras	D	D	D	D	D	D	D	C	C	C	B	D	D	B	C
Desagregação	B	D	D	C	C	B	C	C	C	C	C	C	C		
Desplacamento	B	C	C	C	B	B	D	C	C	B	C	B	B	B	B
Eflorescência	A														
Falhas de concretagem	A	A	B	A	C	B	C	C	C	A	C	C	B		
Fissuras	A a D														
Flechas	D														
Manchas	B	C	A												
Sinais de esmagamento	C														
Umidade	B														

Tabela 50: Dados levantados via inspeção sensorial – Vigas Prédio i Nível 200 – CLS 105.

LOCAL:		Prédio i ; Nível 200													
DATA:		12/2020													
ELEMENTOS:		V201A		V201B		V202A		V202B		V203		V204			
DANOS	Fd	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe		
Carbonatação	B	B	B	B	B	A	B								
Cobrimento deficiente	B	A	C	A	B	C	C	B	B			C	C		
Contaminação por cloretos	C														
Corrosão de armaduras	D														
Desagregação	B	B	C							D	A				
Desplacamento	B					C	C			D	A	D	A		
Eflorescência	A	B	B	C	A										
Falhas de concretagem	A														
Fissuras	A a D														
Flechas	D														
Manchas	B														
Sinais de esmagamento	C														
Umidade	B														

Tabela 51: Dados levantados via inspeção sensorial –Vigas Prédio ii Nível 100 – CLS 105.

LOCAL:		Prédio ii ; Nível 100							
DATA:		12/2020							
ELEMENTOS:		V101A		V101B		V102A		V102B	
DANOS	Fd	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe
Carbonatação	B	C	D	D	D	C	B	C	D
Cobrimento deficiente	B	C	D	D	D	C	C	C	D
Contaminação por cloretos	C								
Corrosão de armaduras	D	C	D	D	C	D	B	C	D
Desagregação	B	A	B	C	C			B	A
Desplacamento	B	C	B						
Eflorescência	A			C	B				
Falhas de concretagem	A					C	B	A	B
Fissuras	A a D								
Flechas	D								
Manchas	B								
Sinais de esmagamento	C								
Umidade	B								

Tabela 52: Dados levantados via inspeção sensorial – Vigas Prédio ii Nível 100 – CLS 105 (Continuação).

LOCAL:		Prédio ii ; Nível 100									
DATA:		12/2020									
ELEMENTOS:		V103		V104		V105		V107		V108	
DANOS	Fd	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe
Carbonatação	B	B	B	C	D	C	C			C	C
Cobrimento deficiente	B	C	B	D	D	D	C			D	D
Contaminação por cloretos	C										
Corrosão de armaduras	D	C	B	C	D	C	C			C	D
Desagregação	B	B	B	C	C	C	B	C	C	C	C
Desplacamento	B	B	A	D	C	C	C	B	C	C	C
Eflorescência	A										
Falhas de concretagem	A			B	B	A	C			B	D
Fissuras	A a D										
Flechas	D										
Manchas	B										
Sinais de esmagamento	C										
Umidade	B										

Tabela 53: Dados levantados via inspeção sensorial –Vigas Prédio ii Nível 200 – CLS 105.

LOCAL:		Prédio ii ; Nível 200											
DATA:		12/2020											
ELEMENTOS:		V201A		V201B		V202A		V202B		V203		V204	
DANOS	Fd	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe
Carbonatação	B	D	B	B	B	A	B						
Cobrimento deficiente	B	A	C	A	B	C	C	B	B			C	C
Contaminação por cloretos	C												
Corrosão de armaduras	D												
Desagregação	B									D	A		
Desplacamento	B					C	C			D	A	D	A
Eflorescência	A			C	A								
Falhas de concretagem	A												
Fissuras	A a D												
Flechas	D												
Manchas	B												
Sinais de esmagamento	C												
Umidade	B												

6.2.2.3 Lajes

As lajes são elementos horizontais primordiais na concepção de uma edificação. No caso do Estudo de Caso da CLS 105, a classe de Lajes é composta por seis elementos: três pertencentes à Loja i e três pertencentes à Loja ii. A classe de lajes localiza-se nos níveis 100 e 200. Em inspeção in situ, foi possível perceber a situação de integridade delas. Enquanto as lajes do nível 100 do Prédio i encontravam-se bem degradadas, as outras estavam em boas condições.

Carbonatação, cobrimento deficiente, corrosão de armaduras, desagregação, deslocamento e falhas de concretagem foram anomalias encontradas em inspeção. A Figura 82 e Figura 83 e apresentam a planta baixa com nomenclatura das lajes do nível 100 e 200, respectivamente, do patrimônio. A Figura 84 mostra fotos do estado das laje. As

Tabela 54 e Tabela 55 mostram a classificação dos fatores levantados via inspeção sensorial especializada.

Figura 82: Planta Baixa com nomeação das Lajes – Nível 100 (Primeiro Pavimento).

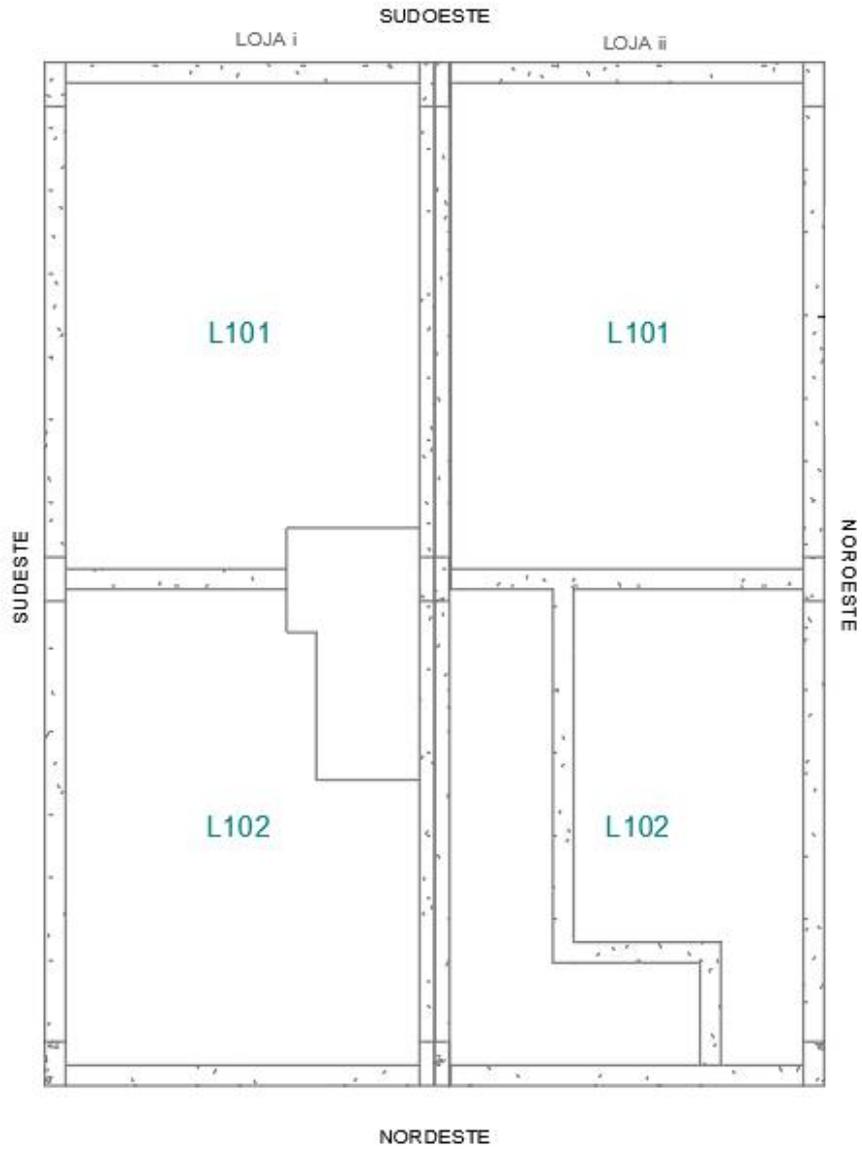


Figura 83: Planta Baixa com nomeação das Lajes – Nível 200 (Cobertura).

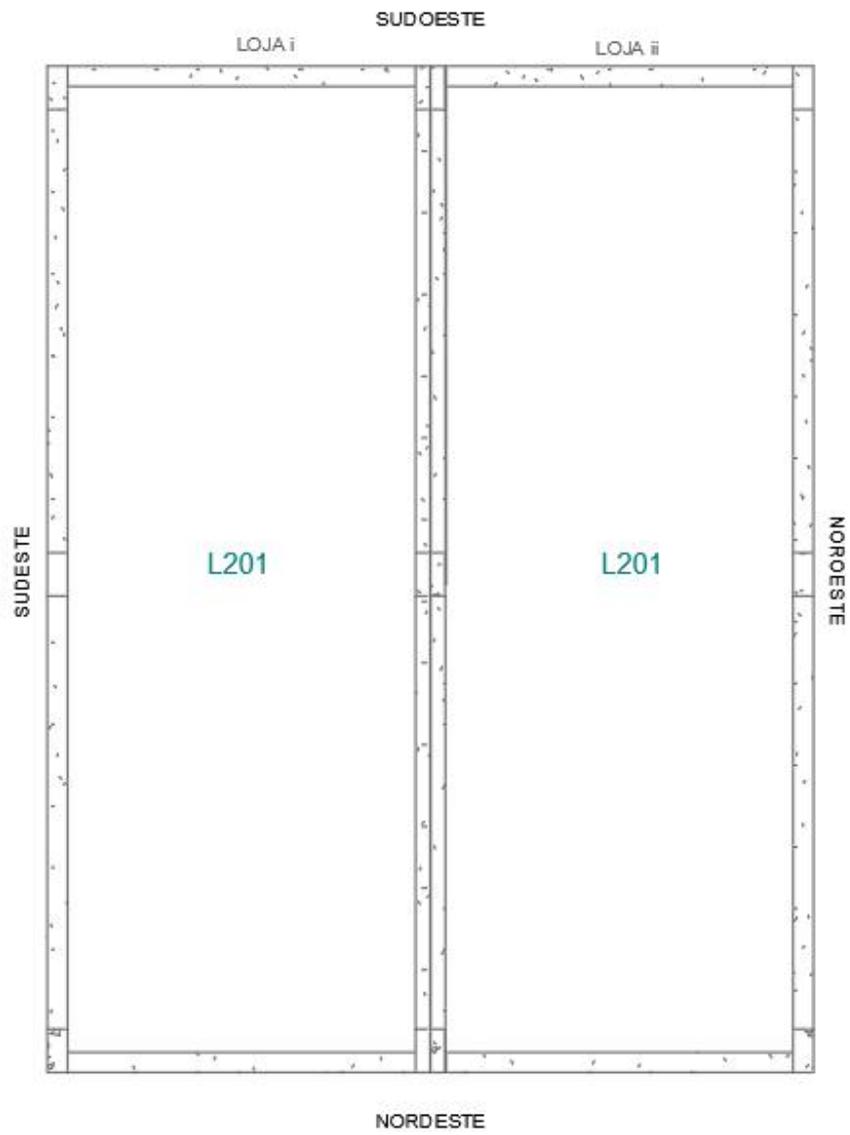


Figura 84: Levantamento fotográfico Lajes - CLS 105.



a) Vista geral Lajes Loja i.



b) Armadura exposta e corroída, cobrimento deficiente, desagregação, deslocamento falhas de concretagem.



c) Armadura exposta e corroída, cobrimento deficiente, desagregação, deslocamento, falhas de concretagem.



d) Armadura exposta e corroída cobrimento deficiente; falhas de concretagem.

Tabela 54: Dados levantados via inspeção sensorial – Lajes Prédio i – CLS 105.

LOCAL:		Prédio i ; Nível 100				Prédio i ; Nível 200	
DATA:		12/2020				12/2020	
ELEMENTOS:		L101		L102		L201	
DANOS	Fd	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe
Carbonatação	B	C	D	C	D		
Cobrimento deficiente	B	D	D	D	D		
Contaminação por cloretos	B						
Corrosão de armaduras	D	D	D	D	D		
Desagregação	B	D	C	D	C	D	B
Desplacamento	B	C	C	C	C		
Eflorescência	A						
Falhas de concretagem	A	C	C	C	C	C	C
Fissuras	C						
Flechas	D						
Manchas	B						
Umidade	B						

Tabela 55: Dados levantados via inspeção sensorial – Lajes Prédio ii – CLS 105.

LOCAL:		Prédio ii ; Nível 100				Prédio ii ; Nível 200	
DATA:		12/2020				12/2020	
ELEMENTOS:		L101		L102		L201	
DANOS	Fd	Fi	Fe	Fi	Fe	Fi	Fe
Carbonatação	B	B	B				
Cobrimento deficiente	B	C	A			C	A
Contaminação por cloretos	B						
Corrosão de armaduras	D	B	B				
Desagregação	B	B	C	B	C	B	C
Desplacamento	B						
Eflorescência	A						
Falhas de concretagem	A	D	A	A	B	D	A
Fissuras	C						
Flechas	D						
Manchas	B						
Umidade	B						

6.2.2.4 Apresentação e Análise dos Resultados – Modo 1

No estudo de caso da CLS 105 os dois Modo de aplicação do Método MAIS serão aplicados. Neste item encontram-se os resultados da avaliação de todos os elementos, das famílias e da estrutura global do patrimônio da CLS 105 via Método MAIS – Modo 1. Como nos outros casos, foram comparados os modelos de integridade de Tuutti e Heidecke com as escalas linear e cúbica.

6.2.2.4.1 Pilares

A estrutura como um todo encontrava-se sensorial. Os resultados dos elementos pertencentes a classe de Pilares referentes à sua Integridade são os apresentados na Tabela 56 e, referentes à sua confiabilidade, na Tabela 57.

Tabela 56: Resultado da Integridade dos elementos de Pilares - CLS 105.

Prédio	Elemento	Integridade				Classificação Integridade			
		TL	TC	HL	HC	TL	TC	HL	HC
Prédio i	P1	0,56	0,42	0,56	0,42	Média	Baixa	Média	Baixa
	P2	0,72	0,47	0,73	0,49	Média	Baixa	Média	Baixa
	P3	0,28	0,27	0,38	0,26	Sofrível	Sofrível	Baixa	Sofrível
	P4	0,57	0,32	0,57	0,36	Média	Sofrível	Média	Sofrível
	P5	0,88	0,75	0,89	0,75	Alta	Média	Alta	Média
	P6	0,40	0,24	0,40	0,24	Baixa	Sofrível	Baixa	Sofrível
	P101	0,33	0,19	0,31	0,19	Sofrível	Crítica	Sofrível	Crítica
	P102	0,72	0,57	0,72	0,59	Média	Média	Média	Média
	P103	0,38	0,23	0,37	0,23	Baixa	Sofrível	Baixa	Sofrível
	P104	0,61	0,49	0,61	0,49	Média	Baixa	Média	Baixa
	P105	0,88	0,75	0,89	0,75	Alta	Média	Alta	Média
P106	0,78	0,61	0,79	0,62	Média	Média	Média	Média	
Prédio ii	P1	0,65	0,45	0,71	0,47	Média	Baixa	Média	Baixa
	P2	0,71	0,44	0,72	0,47	Média	Baixa	Média	Baixa
	P3	0,81	0,61	0,82	0,62	Média	Média	Alta	Média
	P101	0,72	0,46	0,73	0,48	Média	Baixa	Média	Baixa
	P102	0,48	0,36	0,50	0,39	Baixa	Sofrível	Baixa	Baixa
	P103	0,81	0,61	0,82	0,63	Média	Média	Alta	Média

Tabela 57: Resultado da Confiabilidade dos elementos Pilares - CLS 105.

Prédio	Elemento	Confiabilidade (ϕ)				Nível de Risco			
		TL	TC	HL	HC	TL	TC	HL	HC
Prédio i	P1	2,2	1,7	2,2	1,7	Médio	Médio-alto	Médio	Médio-alto
	P2	2,9	1,9	2,9	2,0	Médio	Médio	Médio	Médio
	P3	1,1	1,1	1,5	1,0	Médio-alto	Médio-alto	Médio-alto	Médio-alto
	P4	2,3	1,3	2,3	1,4	Médio	Médio-alto	Médio	Médio-alto
	P5	3,5	3,0	3,5	3,0	Baixo	Médio	Baixo	Médio
	P6	1,6	1,0	1,6	1,0	Médio-alto	Médio-alto	Médio-alto	Médio-alto
	P101	1,3	0,8	1,2	0,8	Médio-alto	Médio-alto	Médio-alto	Médio-alto
	P102	2,9	2,3	2,9	2,4	Médio	Médio	Médio	Médio
	P103	1,5	0,9	1,5	0,9	Médio-alto	Médio-alto	Médio-alto	Médio-alto
	P104	2,4	1,9	2,4	2,0	Médio	Médio	Médio	Médio
	P105	3,5	3,0	3,5	3,0	Baixo	Médio	Baixo	Médio
	P106	3,1	2,5	3,2	2,5	Médio	Médio	Médio	Médio
Prédio ii	P1	2,6	1,8	2,9	1,9	Médio	Médio-alto	Médio	Médio
	P2	2,8	1,8	2,9	1,9	Médio	Médio-alto	Médio	Médio
	P3	3,2	2,4	3,3	2,5	Médio	Médio	Médio	Médio
	P101	2,9	1,8	2,9	1,9	Médio	Médio	Médio	Médio
	P102	1,9	1,4	2,0	1,6	Médio	Médio-alto	Médio	Médio-alto
	P103	3,2	2,4	3,3	2,5	Médio	Médio	Médio	Médio

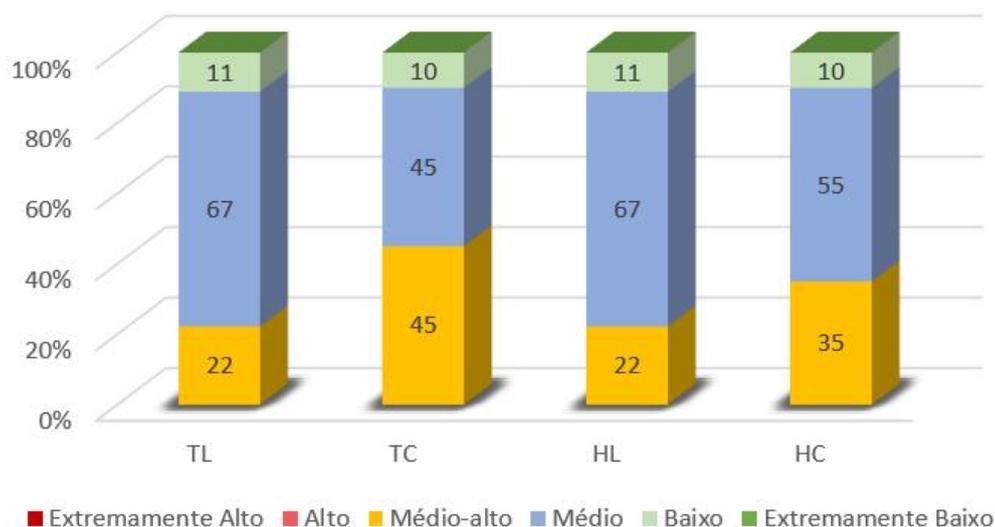
Os resultados foram bastante variados, prevalecendo a integridade média nos elementos e também o risco médio. Para melhor analisar os dados e estatísticas, foi feita a Tabela 58 resumo dos pilares, que mostra a quantidade absoluta e em porcentagem de elementos que foram classificados com risco extremamente baixo até extremamente alto, lembrando que, quanto maior a confiabilidade, menor o risco.

Tabela 58: Resumo do risco dos elementos Pilar.

Risco	TL		TC		HL		HC	
	Qtde	(%)	Qtde	(%)	Qtde	(%)	Qtde	(%)
Extremamente Alto	0	0	0	0	0	0	0	0
Alto	0	0	0	0	0	0	0	0
Médio-alto	4	22	9	45	4	22	7	35
Médio	12	67	9	45	12	67	11	55
Baixo	2	11	2	10	2	11	2	10
Extremamente Baixo	0	0	0	0	0	0	0	0

Foi feito também o Gráfico 15 com quantidade de elementos que se encaixam em cada patamar de classificação de risco. Foi escolhido esse gráfico em barras para realmente facilitar essa comparação entre formulações.

Gráfico 15: Comparação do resultado de risco para Pilares – CLS 105.



De modo geral o risco dos pilares varia entre baixo, médio e médio-alto, sendo que o médio prevalece. Apenas um elemento, o P101, obteve integridade crítica, que foi entendida ter risco médio-alto. Isso mostra que visualmente o pilar está bem deteriorado, entretanto dentro desse grau de deterioração o risco pode variar de médio-alto a extremamente alto. Isso é significativo e benéfico para a metodologia, é interessante ter essa variação. Entretanto maiores estudos e calibrações podem ser feitos para refinar essa faixa de resultado.

A integridade alta traduziu-se com grau de risco baixo, podendo chegar até ao extremamente baixo, o que é coerente. Ao comparar os resultados, as escalas apresentaram maior interferência no resultado que o modelo de integridade em si: nas escalas lineares 11% dos pilares tiveram o risco classificado como *Alto*, enquanto na cúbica esse valor cai em 1%.

Nenhum elemento apresentou alto ou extremamente alto grau de risco.

Quanto à classe de pilares como um todo, que foi analisada dividida por loja e pavimento, os resultados da Integridade são apresentados na Tabela 59 e de confiabilidade na Tabela 60.

Tabela 59: Integridade pilares - CLS 105.

Prédio	Nível	Integridade				Classificação Integridade			
		TL	TC	HL	HC	TL	TC	HL	HC
Prédio i	1	0,30	0,25	0,40	0,25	Sofrível	Sofrível	Baixa	Sofrível
	100	0,35	0,21	0,33	0,21	Sofrível	Sofrível	Sofrível	Sofrível
Prédio ii	1	0,66	0,45	0,72	0,47	Média	Baixa	Média	Baixa
	100	0,51	0,37	0,53	0,40	Média	Baixa	Média	Baixa

Tabela 60: Confiabilidade e risco pilares - CLS 105.

Prédio	Nível	Confiabilidade				Nível de Risco			
		TL	TC	HL	HC	TL	TC	HL	HC
Prédio i	1	1,2	1,0	1,6	1,0	Médio-alto	Médio-alto	Médio-alto	Médio-alto
	100	1,4	0,8	1,3	0,8	Médio-alto	Médio-alto	Médio-alto	Médio-alto
Prédio ii	1	2,7	1,8	2,9	1,9	Médio	Médio-alto	Médio	Médio
	100	2,1	1,5	2,1	1,6	Médio	Médio-alto	Médio	Médio-alto

O risco da classe de pilares do Prédio *i* ficou em grau médio-alto e do Prédio *ii* variou entre grau médio e médio-alto, com confiabilidade variando entre 0,8 e 2,9. À integridade sofrível e baixa atribuiu-se risco médio-alto.

6.2.2.4.2 Vigas

A Tabela 61 mostra quantitativamente a Integridade que cada elemento contido nas classes de vigas apresentou e a sua classificação. A Tabela 62 apresenta os resultados da mesma classe da sua confiabilidade. Quanto ao risco, dado que mais nos interessa, foi feita uma tabela resumo da quantidade de elementos e sua porcentagem de acordo com seu nível de risco, como mostra a Tabela 63. Por fim, com o Gráfico 16 obtém-se uma melhor visualização da quantidade de elementos em porcentagem que pertencem àquela classificação.

Tabela 61: Integridade vigas - CLS 105.

Prédio	Elemento	Integridade				Classificação Integridade			
		TL	TC	HL	HC	TL	TC	HL	HC
Prédio i	V1A	0,32	0,20	0,32	0,20	Sofrível	Crítica	Sofrível	Crítica
	V1B	0,47	0,41	0,47	0,41	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
	V2A baixo	0,61	0,50	0,62	0,49	Média	Baixa	Média	Baixa
	V2A cima	0,85	0,69	0,85	0,69	Alta	Média	Alta	Média
	V2B baixo	0,78	0,61	0,78	0,61	Média	Média	Média	Média
	V2B cima	0,98	0,95	0,99	0,94	Alta	Alta	Alta	Alta
	V3	0,31	0,19	0,31	0,19	Sofrível	Crítica	Sofrível	Crítica
	V4	0,29	0,17	0,29	0,17	Sofrível	Crítica	Sofrível	Crítica
	V5	0,35	0,21	0,35	0,21	Sofrível	Crítica	Sofrível	Crítica
	V101A	0,10	0,08	0,10	0,08	Crítica	Crítica	Crítica	Crítica
	V101B	0,12	0,09	0,12	0,10	Crítica	Crítica	Crítica	Crítica
	V102A	0,16	0,13	0,16	0,12	Crítica	Crítica	Crítica	Crítica
	V102B	0,46	0,40	0,46	0,40	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
	V103	0,80	0,59	0,81	0,61	Média	Média	Média	Média
	V104	0,16	0,11	0,16	0,11	Crítica	Crítica	Crítica	Crítica
	V105	0,85	0,69	0,85	0,69	Alta	Média	Alta	Média
	V201A	0,97	0,92	0,97	0,89	Alta	Alta	Alta	Alta
	V201B	0,96	0,89	0,97	0,90	Alta	Alta	Alta	Alta
	V202A	0,82	0,65	0,83	0,67	Alta	Média	Alta	Média
	V202B	0,98	0,94	0,97	0,91	Alta	Alta	Alta	Alta
V203	0,85	0,74	0,85	0,73	Alta	Média	Alta	Média	
V204	0,81	0,64	0,84	0,72	Alta	Média	Alta	Média	
Prédio ii	V101A	0,62	0,36	0,63	0,41	Média	Baixa	Média	Baixa
	V101B	0,32	0,20	0,32	0,20	Sofrível	Crítica	Sofrível	Crítica
	V102A	0,58	0,44	0,59	0,44	Média	Baixa	Média	Baixa
	V102B	0,62	0,38	0,64	0,40	Média	Baixa	Média	Baixa
	V103	0,82	0,63	0,83	0,64	Alta	Média	Alta	Média
	V104	0,45	0,33	0,45	0,36	Baixa	Sofrível	Baixa	Baixa
	V105	0,59	0,42	0,60	0,45	Média	Baixa	Média	Baixa
	V107	0,85	0,70	0,85	0,70	Alta	Média	Alta	Média
	V108	0,46	0,33	0,47	0,37	Baixa	Sofrível	Baixa	Baixa
	V201A	0,79	0,72	0,80	0,77	Média	Média	Média	Média
	V201B	0,96	0,89	0,97	0,90	Alta	Alta	Alta	Alta
	V202A	0,82	0,65	0,83	0,67	Alta	Média	Alta	Média
	V202B	0,98	0,94	0,97	0,91	Alta	Alta	Alta	Alta
	V203	0,85	0,74	0,85	0,73	Alta	Média	Alta	Média
V204	0,81	0,64	0,82	0,72	Alta	Média	Alta	Média	

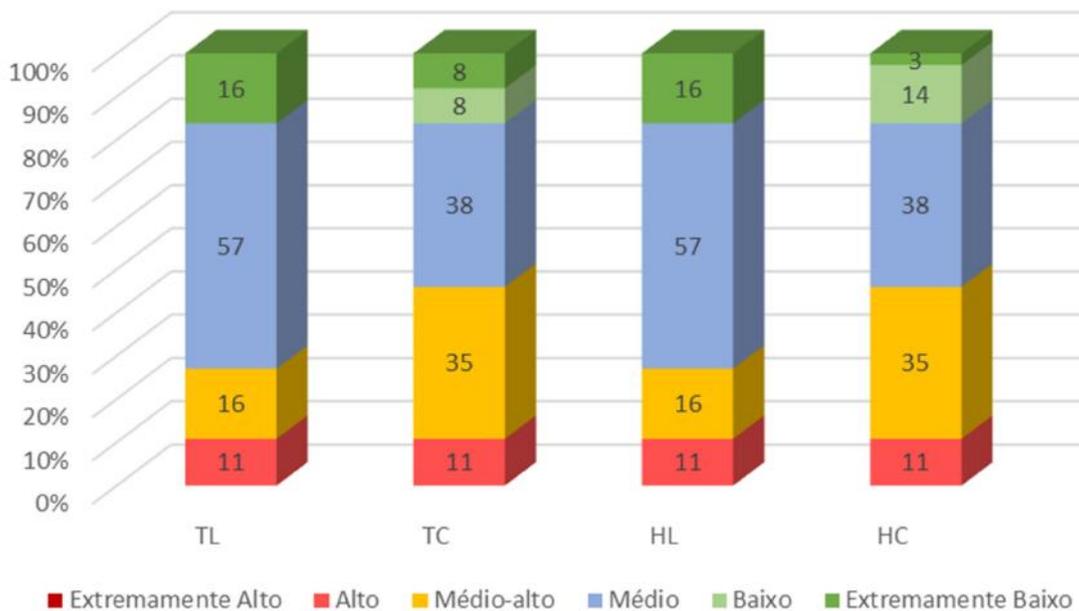
Tabela 62: Confiabilidade e risco de vigas - CLS 105.

Prédio	Elemento	Confiabilidade (β)				Nível de Risco			
		TL	TC	HL	HC	TL	TC	HL	HC
Prédio i	V1A	1,3	0,8	1,3	0,8	Médio-alto	Médio-alto	Médio-alto	Médio-alto
	V1B	1,9	1,6	1,9	1,6	Médio	Médio-alto	Médio	Médio-alto
	V2A baixo	2,5	2,0	2,5	2,0	Médio	Médio	Médio	Médio
	V2A cima	3,4	2,8	3,4	2,8	Médio	Médio	Médio	Médio
	V2B baixo	3,1	2,4	3,1	2,4	Médio	Médio	Médio	Médio
	V2B cima	3,9	3,8	3,9	3,8	Extremamente Baixo	Extremamente Baixo	Extremamente Baixo	Extremamente Baixo
	V3	1,2	0,8	1,2	0,8	Médio-alto	Médio-alto	Médio-alto	Médio-alto
	V4	1,2	0,7	1,2	0,7	Médio-alto	Médio-alto	Médio-alto	Médio-alto
	V5	1,4	0,8	1,4	0,8	Médio-alto	Médio-alto	Médio-alto	Médio-alto
	V101A	0,4	0,3	0,4	0,3	Alto	Alto	Alto	Alto
	V101B	0,5	0,4	0,5	0,4	Alto	Alto	Alto	Alto
	V102A	0,6	0,5	0,6	0,5	Alto	Alto	Alto	Alto
	V102B	1,8	1,6	1,8	1,6	Médio	Médio-alto	Médio	Médio-alto
	V103	3,2	2,4	3,2	2,4	Médio	Médio	Médio	Médio
	V104	0,6	0,4	0,6	0,4	Alto	Alto	Alto	Alto
	V105	3,4	2,8	3,4	2,7	Médio	Médio	Médio	Médio
	V201A	3,9	3,7	3,9	3,6	Extremamente Baixo	Baixo	Extremamente Baixo	Baixo
	V201B	3,8	3,6	3,9	3,6	Extremamente Baixo	Baixo	Extremamente Baixo	Baixo
	V202A	3,3	2,6	3,3	2,7	Médio	Médio	Médio	Médio
	V202B	3,9	3,7	3,9	3,6	Extremamente Baixo	Extremamente Baixo	Extremamente Baixo	Baixo
V203	3,4	2,9	3,4	2,9	Médio	Médio	Médio	Médio	
V204	3,2	2,6	3,3	2,9	Médio	Médio	Médio	Médio	
Prédio ii	V101A	2,5	1,4	2,5	1,6	Médio	Médio-alto	Médio	Médio-alto
	V101B	1,3	0,8	1,3	0,8	Médio-alto	Médio-alto	Médio-alto	Médio-alto
	V102A	2,3	1,7	2,3	1,8	Médio	Médio-alto	Médio	Médio-alto
	V102B	2,5	1,5	2,6	1,6	Médio	Médio-alto	Médio	Médio-alto
	V103	3,3	2,5	3,3	2,6	Médio	Médio	Médio	Médio
	V104	1,8	1,3	1,8	1,4	Médio-alto	Médio-alto	Médio-alto	Médio-alto
	V105	2,4	1,7	2,4	1,8	Médio	Médio-alto	Médio	Médio-alto
	V107	3,4	2,8	3,4	2,8	Médio	Médio	Médio	Médio
	V108	1,9	1,3	1,9	1,5	Médio	Médio-alto	Médio	Médio-alto
	V201A	3,2	2,9	3,2	3,1	Médio	Médio	Médio	Médio
	V201B	3,8	3,6	3,9	3,6	Extremamente Baixo	Baixo	Extremamente Baixo	Baixo
	V202A	3,3	2,6	3,3	2,7	Médio	Médio	Médio	Médio
	V202B	3,9	3,7	3,9	3,6	Extremamente Baixo	Extremamente Baixo	Extremamente Baixo	Baixo
	V203	3,4	2,9	3,4	2,9	Médio	Médio	Médio	Médio
V204	3,2	2,6	3,3	2,9	Médio	Médio	Médio	Médio	

Tabela 63: Resumo risco de vigas.

Nível de Risco	TL		TC		HL		HC	
	Qtde	(%)	Qtde	(%)	Qtde	(%)	Qtde	(%)
Extremamente Alto	0	0	0	0	0	0	0	0
Alto	4	11	4	11	4	11	4	11
Médio-alto	6	16	13	35	6	16	13	35
Médio	21	57	14	38	21	57	14	38
Baixo	0	0	3	8	0	0	5	14
Extremamente Baixo	6	16	3	8	6	16	1	3

Gráfico 16: Comparação do resultado de risco para vigas – CLS 105.



Os resultados foram diversos apresentando desde a integridade alta até a crítica, e desde o risco extremamente baixo ao alto. Nenhuma viga teve risco extremamente alto.

Com o Gráfico 16 fica fácil visualizar que nas formulações lineares mais elementos apresentaram risco médio que nas formulações cúbicas, pois nesse segundo caso um maior número de componentes apresenta risco médio-alto. Em todos os casos 4% dos elementos apresentaram alto grau de risco e devem sofrer intervenções no curto prazo. Esse exemplo reforça o apelo que as escalas têm maior peso no resultado que o modelo de integridade.

As classes de vigas foram separadas por pavimento e por loja, resultando em cinco classes no total. A integridade de cada classe é apresentada na Tabela 64, e a confiabilidade na Tabela 65.

Tabela 64: Integridade das classes *Vigas* – CLS 105 – Via Método MAIS.

Prédio	Nível	Integridade				Classificação Integridade			
		TL	TC	HL	HC	TL	TC	HL	HC
Prédio i	1	0,31	0,19	0,30	0,18	Sofrível	Crítica	Sofrível	Crítica
	100	0,11	0,09	0,11	0,09	Crítica	Crítica	Crítica	Crítica
	200	0,82	0,65	0,84	0,68	Alta	Média	Alta	Média
Prédio ii	100	0,33	0,21	0,33	0,21	Sofrível	Sofrível	Sofrível	Sofrível
	200	0,79	0,65	0,81	0,68	Média	Média	Média	Média

Tabela 65: Confiabilidade das classes *Vigas* - CLS 105.

Prédio	Nível	Confiabilidade				Nível de Confiabilidade			
		TL	TC	HL	HC	TL	TC	HL	HC
Prédio i	1	1,2	0,7	1,2	0,7	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
	100	0,5	0,4	0,5	0,4	Extremamente Baixo	Extremamente Baixo	Extremamente Baixo	Extremamente Baixo
	200	3,3	2,6	3,3	2,7	Médio	Médio	Médio	Médio
Prédio ii	100	1,3	0,9	1,3	0,9	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
	200	3,2	2,6	3,2	2,7	Médio	Médio	Médio	Médio

No que tange à classe de vigas, ao nível de confiabilidade foi o mesmo em todas as formulações, ainda que para os elementos tenha ocorrido variações nos resultados. É nítido que a classe de vigas em pior estado é a do Nível 100 do Prédio i, devendo sofrer intervenção no curto prazo. Em ambas as lojas, as vigas da cobertura encontram-se com o melhor aspecto, cuja inspeção mais detalhada deve ocorrer em até 1 ano. Tudo isso está condizente com o visto *in loco*.

6.2.2.4.3 Lajes

Composta por seis elementos, é a classe com menos componentes dessa edificação. A Tabela 66 apresenta o grau de Integridade de cada uma das lajes avaliadas via Método MAIS, e a Tabela 67 o nível de confiabilidade.

Tabela 66: Integridade lajes - CLS 105.

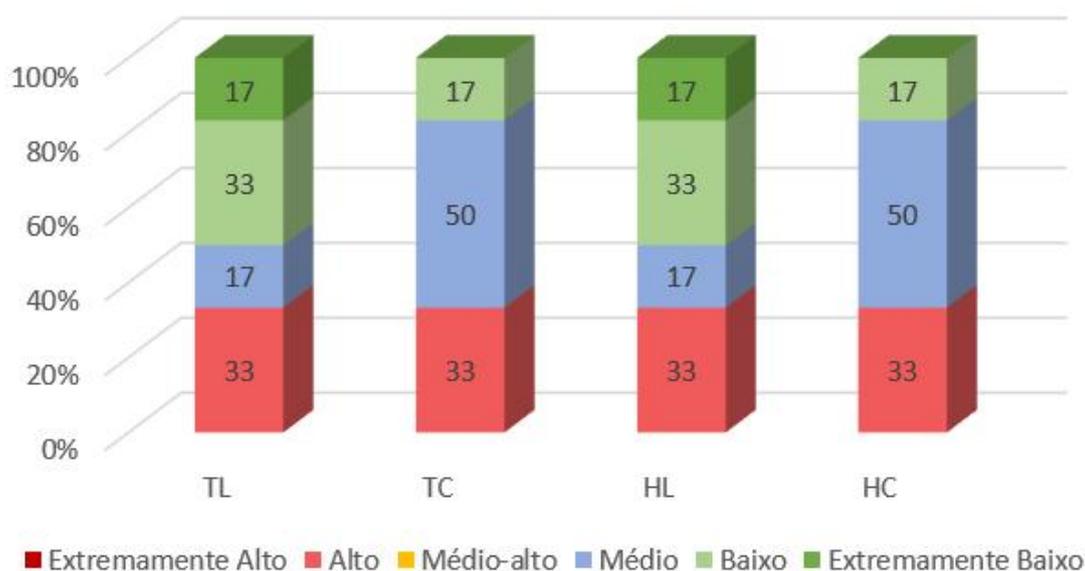
Prédio	Elemento	Integridade				Classificação Integridade			
		TL	TC	HL	HC	TL	TC	HL	HC
Prédio i	L101	0,12	0,08	0,12	0,08	Crítica	Crítica	Crítica	Crítica
	L102	0,12	0,08	0,12	0,08	Crítica	Crítica	Crítica	Crítica
	L201	0,74	0,63	0,74	0,64	Média	Média	Média	Média
Prédio ii	L101	0,91	0,82	0,91	0,83	Alta	Alta	Alta	Alta
	L102	0,97	0,93	0,98	0,91	Alta	Alta	Alta	Alta
	L201	0,91	0,82	0,91	0,83	Alta	Alta	Alta	Alta

Tabela 67: Confiabilidade e risco lajes - CLS 105.

Prédio	Elemento	Confiabilidade (β)				Nível de Risco			
		TL	TC	HL	HC	TL	TC	HL	HC
Prédio i	L101	0,5	0,3	0,5	0,3	Alto	Alto	Alto	Alto
	L102	0,5	0,3	0,5	0,3	Alto	Alto	Alto	Alto
	L201	3,0	2,5	3,0	2,5	Médio	Médio	Médio	Médio
Prédio ii	L101	3,6	3,3	3,6	3,3	Baixo	Médio	Baixo	Médio
	L102	3,9	3,7	3,9	3,7	Extremamente Baixo	Baixo	Extremamente Baixo	Baixo
	L201	3,6	3,3	3,6	3,3	Baixo	Médio	Baixo	Médio

O Gráfico 17 organiza essas informações e permite melhor visualizá-las apresentando a porcentagem dos elementos que foram classificados de acordo com o seu nível de confiabilidade.

Gráfico 17: Comparação dos resultados da Confiabilidade dos elementos *Laje*.



Seguem os comentários referentes às lajes:

- Claramente as Lajes do Nível 100 do Prédio i estavam em piores condições, apresentando confiabilidade “Extremamente baixa” em todas as formulações;
- Outra vez as escalas influenciaram mais no resultado que os modelos de integridade;
- As escalas lineares são novamente mais imprudentes, com 50% de seus elementos classificados com confiabilidade “Alta”, contrapondo com os 17% das cúbicas.

Quanto à classe Lajes, que foi avaliada separada em quatro grupos, divididas por Prédio (i ou ii) e por Pavimento (1º pavimento e cobertura), o resultado da Integridade se encontra na Tabela 68 e da Confiabilidade na Tabela 69 .

Tabela 68: Integridade das classes Lajes - CLS 105 – Via Método MAIS.

Prédio	Integridade				Classificação Integridade			
	TL	TC	HL	HC	TL	TC	HL	HC
Prédio i	0,12	0,08	0,12	0,08	Crítica	Crítica	Crítica	Crítica
	0,74	0,63	0,74	0,64	Média	Média	Média	Média
Prédio ii	0,92	0,84	0,92	0,84	Alta	Alta	Alta	Alta
	0,91	0,82	0,91	0,83	Alta	Alta	Alta	Alta

Tabela 69: Confiabilidade das classes *Lajes* - CLS 105 – via Método MAIS.

Prédio	Confiabilidade (β)				Nível de Risco			
	TL	TC	HL	HC	TL	TC	HL	HC
Prédio i	0,5	0,3	0,5	0,3	Alto	Alto	Alto	Alto
	3,0	2,5	3,0	2,5	Médio	Médio	Médio	Médio
Prédio ii	3,7	3,3	3,7	3,3	Baixo	Médio	Baixo	Médio
	3,6	3,3	3,6	3,3	Baixo	Médio	Baixo	Médio

Não é surpresa que a classe do Prédio i Nível 100 é a mais deteriorada. As outras são classificadas com confiabilidade média, menos as lajes do Prédio ii com escala linear, que a classificou como Alta.

6.2.2.4.4 Estrutura Global

O Fator de Relevância entra nesse momento na metodologia, como modo de dar pesos à cada classe avaliada e encontrar a confiabilidade global da estrutura. A Tabela 70 mostra o F_r aplicado em cada família de elementos.

Tabela 70: Fator de Relevância aplicado.

Classe	Prédio	Nível	Fr	Somatório Fr
Pilares	i	1	0,15	0,50
		100	0,10	
	ii	1	0,15	
		100	0,10	
Vigas	i	1	0,06	0,30
		100	0,06	
		200	0,06	
	ii	100	0,06	
		200	0,06	
		200	0,06	
Lajes	i	100	0,05	0,20
		200	0,05	
	ii	100	0,05	
		200	0,05	
Soma			1,00	1,00

Aos pilares do térreo, por sustentarem mais carga da estrutura, foi atribuído peso um pouco maior, de 15%, que os do primeiro pavimento, que foi de 10%. Ressalta-se que o somatório deste

Fator é 1, como deve ser. Diferente do sugerido na Tabela 15: Sugestão de Fator de Relevância. do item 5.5.8, os pilares aqui somam 50% do Fator de Relevância, e as vigas e lajes compõem os outros 50%, por ter sido considerado o mais adequado para essa estrutura específica. Esse Fator de relevância deve ser devidamente pensado e aplicado conforme as observações da equipe responsável pela avaliação estrutural. Os resultados da confiabilidade global da estrutura são mostrados na Tabela 71.

Tabela 71: Nível de confiabilidade global.

Formulação	TL	TC	HL	HC
Integridade da Estrutura	0,51	0,39	0,53	0,40
Confiabilidade	2,03	1,56	2,12	1,60
Nível de risco	Médio	Médio-alto	Médio	Médio-alto

Novamente as escalas lineares apresentaram resultados menos precavidos, classificando-a com confiabilidade “Média”. Há desconfiança com relação à esse resultado pois a experiência dos engenheiros envolvidos indicam que o resultado mais pertinente seria classificar a estrutura com grau de confiabilidade “Baixo”. Assim, nesse caso, conclui-se que as formulações envolvendo escala cúbica são mais adequadas.

Analisando todos esses estudos de casos, foi possível associar as classificações da integridade ao risco que as é atribuído, conforme Tabela 72.

Tabela 72: Associação integridade ao risco.

Integridade	Risco
Crítica	Extremamente alto, alto e médio-alto
Sofrível	Médio-alto
Baixa	Médio-alto e Médio
Média	Médio
Alta	Médio, baixo e extremamente alto

As extremidades da classificação da integridade (crítica e alta) podem ser associadas a três tipos de risco diferentes, enquanto as classificações intermediárias (sofrível, baixa e média) são mais estáveis e atribuídas a apenas um grau de risco, no máximo dois. Isso ocorre pois o risco considera outros dados, como o grau de incerteza e a localização da edificação, enquanto a integridade

analisa apenas a sua degradação no estado em que se encontra. Por isso a volatilidade do risco associado a essas integridades extremas é compreendida. Entretanto maiores estudos e calibrações devem ser feitos para refinar essa atribuição.

6.2.2.4.5 Modelagem

Modelar uma estrutura é gerar um modelo dela em 3D em *softwares* computacionais especializados. É como gerar uma maquete virtual que permite visualizar camadas e detalhes da estrutura antes mesmo dela começar a ser construída. Através dessa modelagem a edificação é mais bem visualizada e compreendida.

No método MAIS, como visto, cada elemento é classificado com um nível de confiabilidade e, de acordo com esse grau, à ele é atribuído uma cor (vermelho para os casos graves e verde para os casos mais leves), conforme Figura 36: Matriz de risco Método MAIS. Ao unir essa classificação com a modelagem, o resultado é um desenho 3D da estrutura com cada elemento representado da cor que o convém. Desse modo fica bastante intuitivo perceber a confiabilidade do elemento localmente e intui-se a sua confiabilidade global.

Já se sabe que no presente trabalho dois modelos de integridade (Tutti e Heidecke) e duas escalas (linear e cúbica) foram testadas. A seguir serão exibidas modelagens feitas do estudo de caso CLS 105 mostrando cada elemento de acordo com seu grau de confiabilidade, de acordo com o Modelo de Integridade/Escala usados.

A Figura 85 a Figura 88 mostram as fachadas sudoeste e noroeste, enquanto a Figura 89 a mostram as fachadas sudeste e nordeste.

Figura 85: Modelagem com Nível de Confiabilidade do Elemento TL – Fachadas Sudoeste e Noroeste.

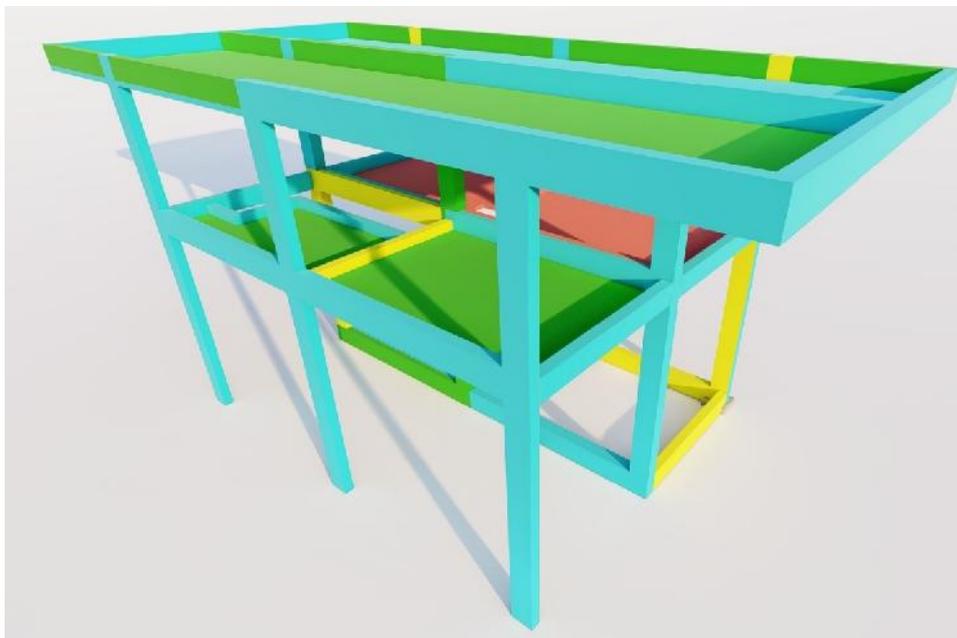


Figura 86: Modelagem com Nível de Confiabilidade do Elemento TC – Fachadas Sudoeste e Noroeste.



Figura 87: Modelagem com Nível de Confiabilidade do Elemento HL – Fachadas Sudoeste e Noroeste.



Figura 88: Modelagem com Nível de Confiabilidade do Elemento HC – Fachadas Sudoeste e Noroeste.



Figura 89: Modelagem com Nível de Confiabilidade do Elemento TL – Fachadas Sudeste e Nordeste.



Figura 90: Modelagem com Nível de Confiabilidade do Elemento TC – Fachadas Sudeste e Nordeste.



Figura 91: Modelagem com Nível de Confiabilidade do Elemento HL – Fachadas Sudeste e Nordeste.



Figura 92: Modelagem com Nível de Confiabilidade do Elemento HC – Fachadas Sudeste e Nordeste.



Essa é uma maneira muito simples e intuitiva de visualizar o grau de confiabilidade dos elementos e ter uma visão geral da estrutura via inspeção sensorial.

6.2.2.5 Apresentação e Análise dos Resultados – Modo 2

O Modo 2 é utilizar o método MAIS via *software* e consiste em aplicar o índice de integridade do elemento no momento dos *inputs*, reduzindo o valor do módulo de elasticidade (E) de modo que reflita a sua integridade, conforme equação (32). O Robot (Autodesk, 2022) foram os escolhidos para realizar a modelagem global da edificação.

6.2.2.5.1 Análise Linear Global

O *software Robot* (Autodesk, 2022) foi o utilizado para realizar a análise linear da edificação. Para o presente estudo de caso foi modelado o Prédio i, uma vez que certos elementos do Prédio ii não puderam ser vistoriados. Como parâmetros de avaliação, o *software* se pautou no Eurocode 2 (EN 1992), com os seguintes valores referência:

- Pesos próprios:
Gerado pelo próprio programa para concreto de fck 25 Mpa;
- Sobrecarga:
1,0 kN/m² na cobertura;
2,5 kN/m², o recomendado para edifícios comerciais;

Até o presente momento da discussão, já foi identificado que a escala possui maior influência no resultado que o Modelo de Integridade. Portanto, por ter comportamento em curva, o que está mais em concordância com o que acontece nos fenômenos de degradação, e por facilitar a programação, o Modelo de Integridade de Heidecke será o avaliado na presente sessão, com as duas escalas. Ressalta-se que os mesmos parâmetros de modelagem foram usados para as três modelagens da estrutura (Íntegra, HL e HC).

O objetivo é fazer uma análise de como o Método MAIS influi na estrutura globalmente e saber se ele é aplicável via *software* ou não através do acoplamento direto da integridade do elemento ao seu módulo de elasticidade (E).

Os seguintes casos foram os testados pelo programa, seguindo a norma SEI 7-16(ASCE):

1. Peso Próprio
2. Cobertura
3. Edifícios comerciais
4. $U / 1 = 1 * 1,40$

5. $U /2 = 1 * 1,20 + 2 * 1,60 + 3 * 1,60$
6. $U /3 = 1 * 1,20$
7. $U /4 = 1 * 1,20 + 2 * 1,60$
8. $U /5 = 1 * 1,20 + 3 * 1,60$
9. $U /6 = 1 * 1,20$
10. $U /7 = 1 * 0,90$
11. $U /8 = 1 * 0,90$
12. $S /1 = 1 * 1,00 + 2 * 1,00 + 3 * 1,00$
13. $S /2 = 1 * 1,00$
14. $S /3 = 1 * 1,00 + 2 * 1,00$
15. $S /4 = 1 * 1,00 + 3 * 1,00$

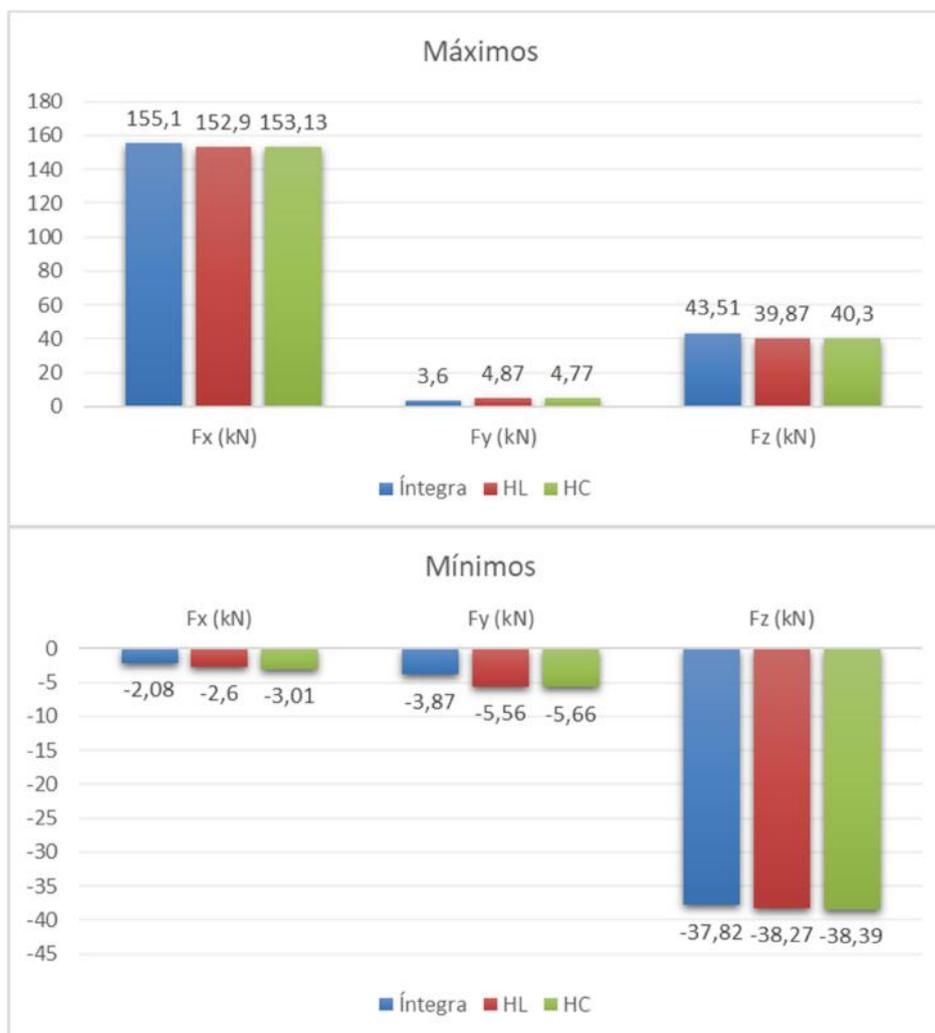
A Tabela 73 apresenta os extremos globais dos esforços atuantes na estrutura para a combinação dos doze casos automáticos (caso 4 a caso 15) das combinações acima citadas, sua localização de acordo com a barra e o nó, além do caso no qual esse extremo global se encontra.

Tabela 73: Forças normais e momentos atuantes - Extremos globais.

Estrutura	Dado	Fx (kN)	Fy (kN)	Fz (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)	Mz (kNm)
Íntegra	MÁX (kN)	155,1	3,6	43,51	15,07	13,86	9,7
	Barra	3	2	27	31	6	4
	Nó	5	3	16	11	6	8
	Caso	5 (C)	5 (C)	5 (C)	5 (C)	5 (C)	5 (C)
	MÍN (kN)	-2,08	-3,87	-37,82	-14,87	-33,8	-9,66
	Barra	25	4	31	31	27	7
	Nó	13	7	14	14	16	8
	Caso	5 (C)	5 (C)	5 (C)	5 (C)	5 (C)	8 (C)
HL	MÁX (kN)	152,9	4,87	39,87	15,9	22,93	15,05
	Barra	3	13	27	31	6	4
	Nó	5	19	16	11	6	8
	Caso	5 (C)	8 (C)	5 (C)	5 (C)	5 (C)	5 (C)
	MÍN (kN)	-2,6	-5,56	-38,27	-15,68	-33,24	-13,94
	Barra	36	9	31	31	27	9
	Nó	6	13	14	14	16	13
	Caso	5 (C)	8 (C)	5 (C)	7 (C)	5 (C)	8 (C)
HC	MÁX (kN)	153,13	4,77	40,3	16,08	24,7	15,68
	Barra	3	13	27	31	6	4
	Nó	5	19	16	11	6	8
	Caso	5 (C)	8 (C)	5 (C)	5 (C)	5 (C)	5 (C)
	MÍN (kN)	-3,01	-5,66	-38,39	-15,6	-34,23	-14,72
	Barra	36	9	31	31	27	9
	Nó	6	13	14	14	16	13
	Caso	5 (C)	8 (C)	5 (C)	7 (C)	5 (C)	8 (C)

O Gráfico 18 apresenta os extremos globais das forças normais atuantes.

Gráfico 18: Forças normais atuantes - Extremos globais.



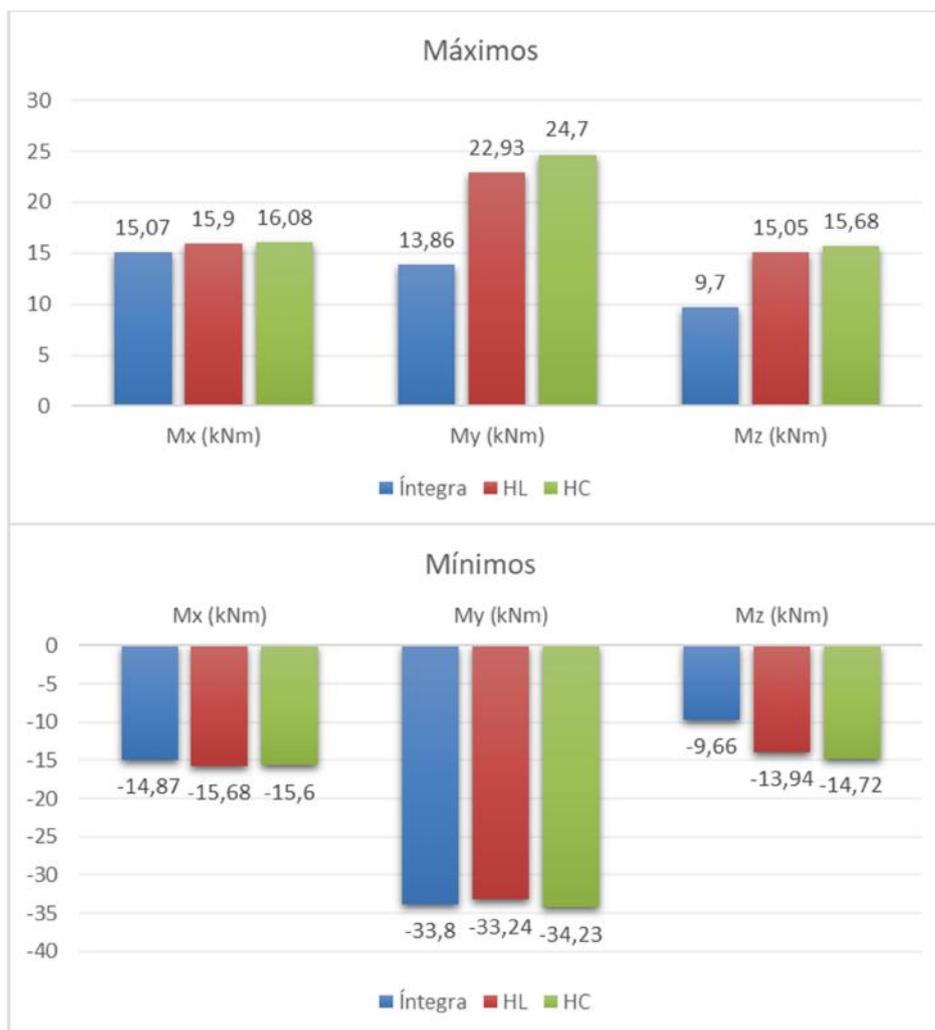
Os valores das forças normais não sofrem alterações significativas quando comparadas a estrutura íntegra com as degradadas, permanecendo com valores próximos com variação máxima de 3,64 kN para a F_z áx.

É relevante que, ao comparar a estrutura íntegra com a deteriorada, a posição desses extremos globais muda em três (F_x ínt, F_y áx e F_y ínt) das seis análises e o caso que revela esses limites máximo e mínimo muda apenas no F_y do 5(C) para o 8(C). Já com a estrutura deteriorada tanto

em HL quanto em HC a localização e os casos desses extremos globais são os mesmos, o que é o esperado uma vez que seus elementos foram degradados da mesma forma, porém proporcionalmente de uma escala para outra.

Foi gerado também o Gráfico 19 para os momentos máximos e mínimos atuantes.

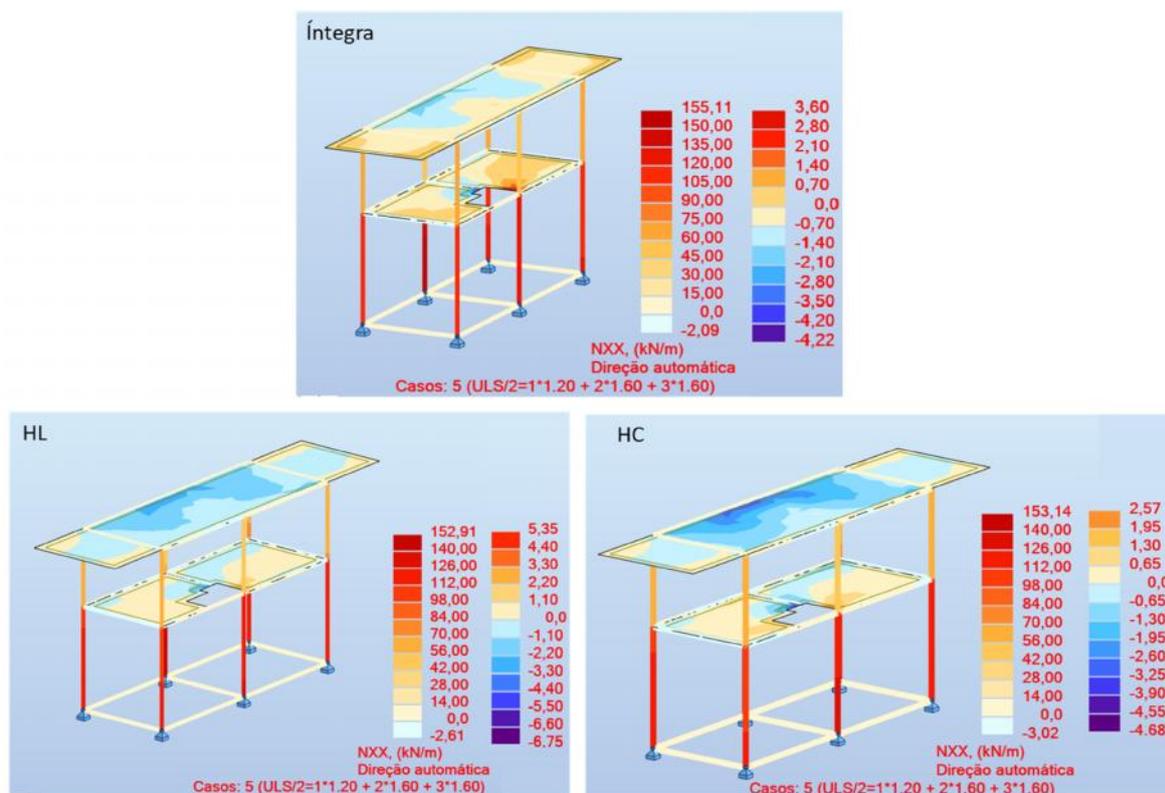
Gráfico 19: Momentos atuantes - Extremos globais.



Os extremos globais máximos de M_y foram os que sofreram maior alteração ao degradar a estrutura, variando o seu valor em até quase 11 kNm. Em todos os casos e direções os momentos extremos globais aumentaram ao desgastar a estrutura, menos no M_y *ín*. Nota-se que as forças de momento atuantes sofreram maior alteração com a degradação da estrutura que as forças normais.

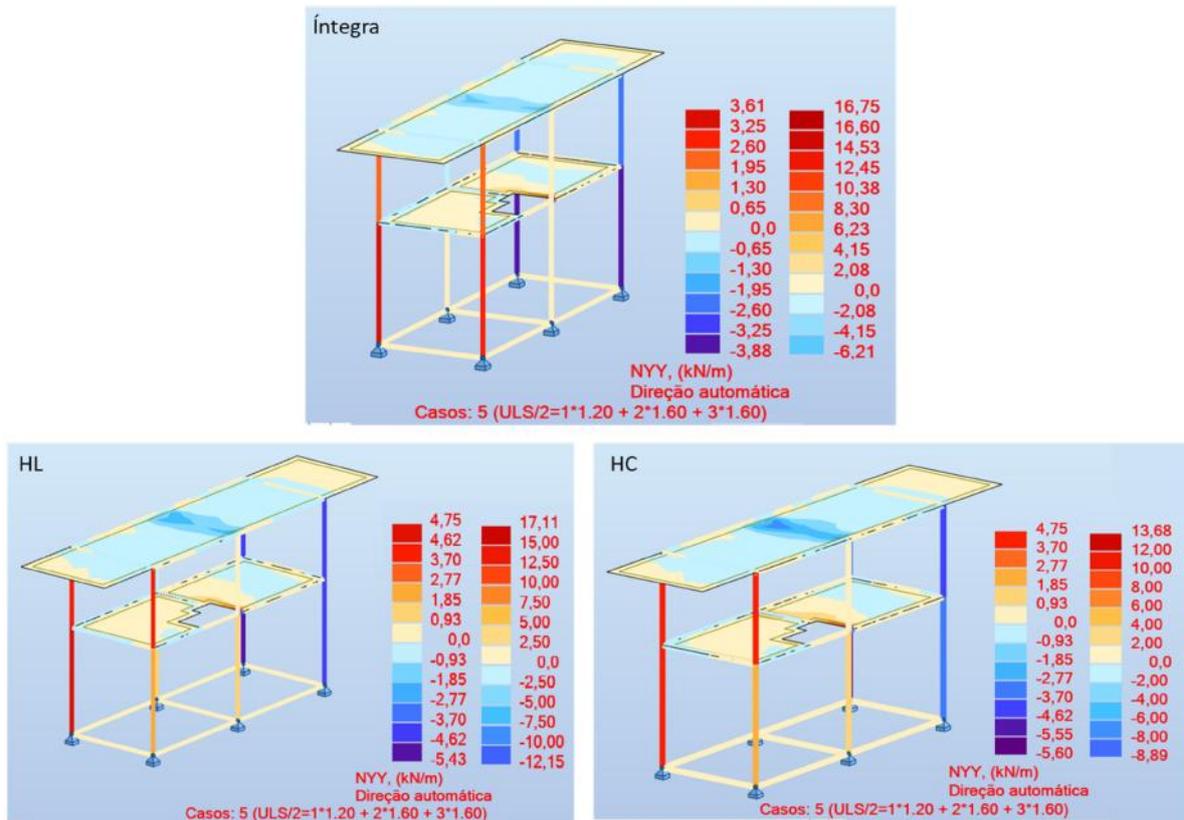
De forma a mostrar visualmente essas mudanças na distribuição dos esforços na estrutura íntegra para a degradada, foram feitos mapas dos esforços referentes ao 5º caso de combinações. A Figura 93 mostra esse mapa para os esforços normais em x. É importante saber que a primeira escala da legenda refere-se às forças na barra (vigas e pilares) e a segunda às forças nas lajes.

Figura 93: Mapa de força normal em x.



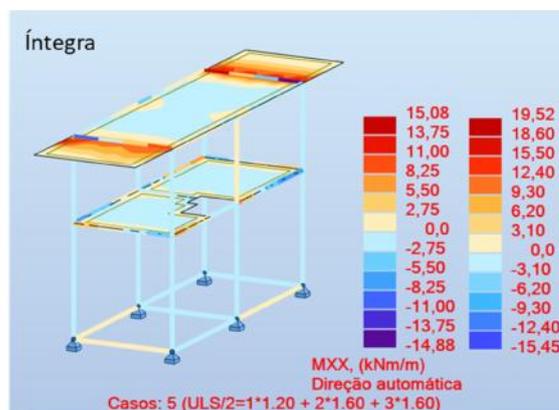
É bastante interessante avaliar a evolução do aumento e espalhamento desse esforço conforme a estrutura se degrada mais, o que é fácil de visualizar na laje do segundo pavimento. Claramente os pilares do primeiro pavimento sofrem mais com esses esforços que os do segundo pavimento. A seguir é apresentada a Figura 94, que representa o mapa de esforços em y. Para uma correta comparação é válido considerar as cores das escalas, que são geradas automaticamente pelo software.

Figura 94: Mapa de forças em y.



Outra vez é bem intuitivo visualizar o crescimento desse esforço conforme mostram as cores, principalmente nos painéis. Enquanto em x essa força normal é mais espalhada, em y ela se intensifica no centro da laje do segundo pavimento, sendo maior em HC. A região próxima à escada também sofre maiores esforços. O mesmo foi feito para os esforços de momento em M_x (Figura 95) e M_y (Figura 96).

Figura 95: Mapa de momentos M_x .



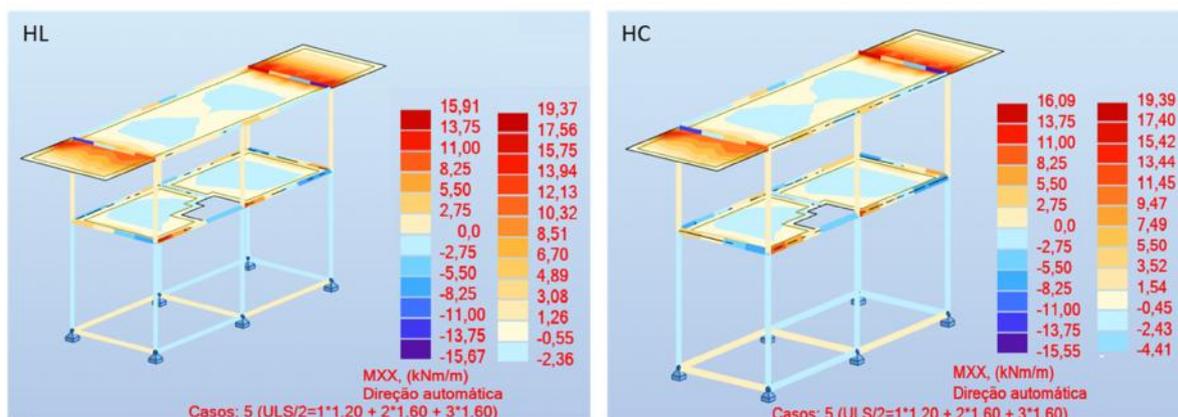
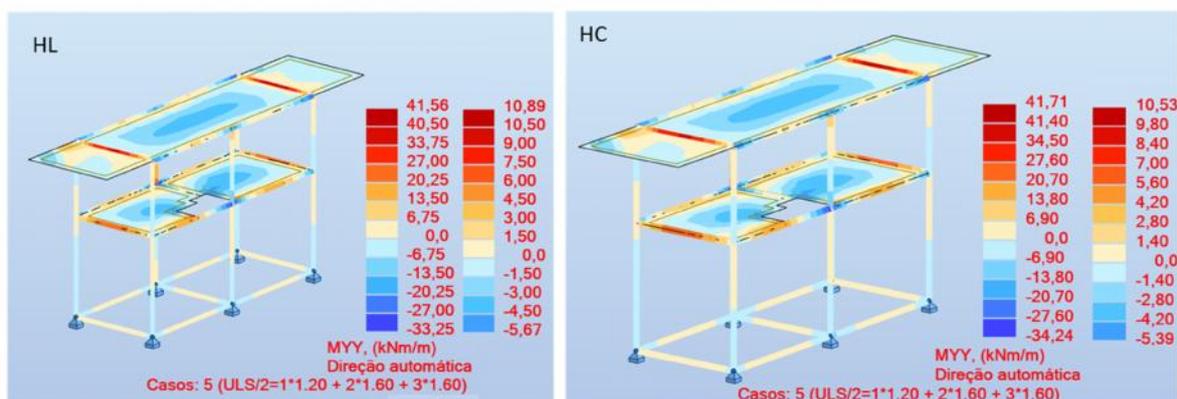
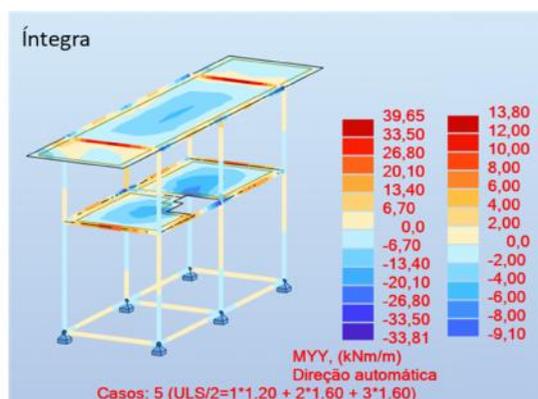


Figura 96: Mapa de momentos M_y .



É notório a diferença nos esforços da estrutura íntegra para as suas versões deterioradas, principalmente em M_y . Entretanto a localização dos esforços permanece bastante similares, variando a sua intensidade. Para os esforços de Momento em x, a escala mais elevada principalmente nas barras revela que em HC os momentos são mais intensos que em HL. As zonas

de encontro da laje em balanço do segundo pavimento com as vigas são as que sofrem maior tração. Entretanto na laje do centro do segundo pavimentos e nas lajes do primeiro pavimento a visualização da diferença na distribuição dos esforços da estrutura íntegra para a degradada é mais visível.

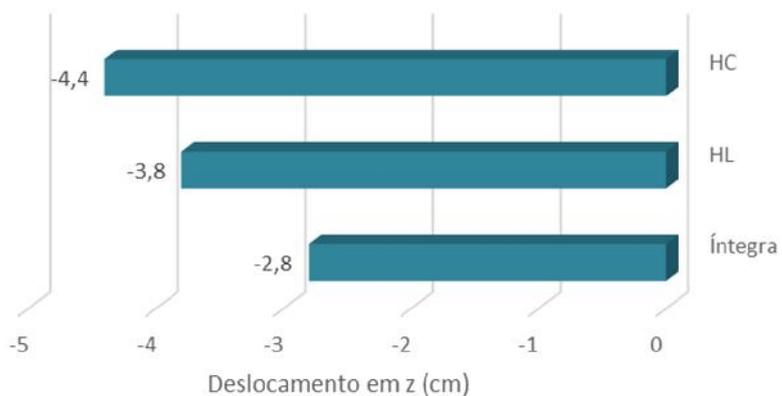
Essa mesma análise foi feita para os deslocamentos extremos globais da estrutura para todas as 12 combinações automáticas, conforme Tabela 74.

Tabela 74: Deslocamentos - Extremos globais.

Estrutura	Dado	UX (cm)	UY (cm)	UZ (cm)
Íntegra	MÁX	0,2	0	0
	Nó	173	20	3
	Caso	5 (C)	5 (C)	4 (C)
	MÍN	0	0	-2,8
	Nó	3	8	127
	Caso	4 (C)	4 (C)	5 (C)
HL	MÁX	0,5	0	0
	Nó	138	3	3
	Caso	5 (C)	4 (C)	4 (C)
	MÍN	0	0	-3,8
	Nó	3	14	127
	Caso	4 (C)	5 (C)	5 (C)
HC	MÁX	0,6	0	0
	Nó	138	3	3
	Caso	5 (C)	4 (C)	4 (C)
	MÍN	0	-0,1	-4,4
	Nó	3	14	127
	Caso	4 (C)	5 (C)	5 (C)

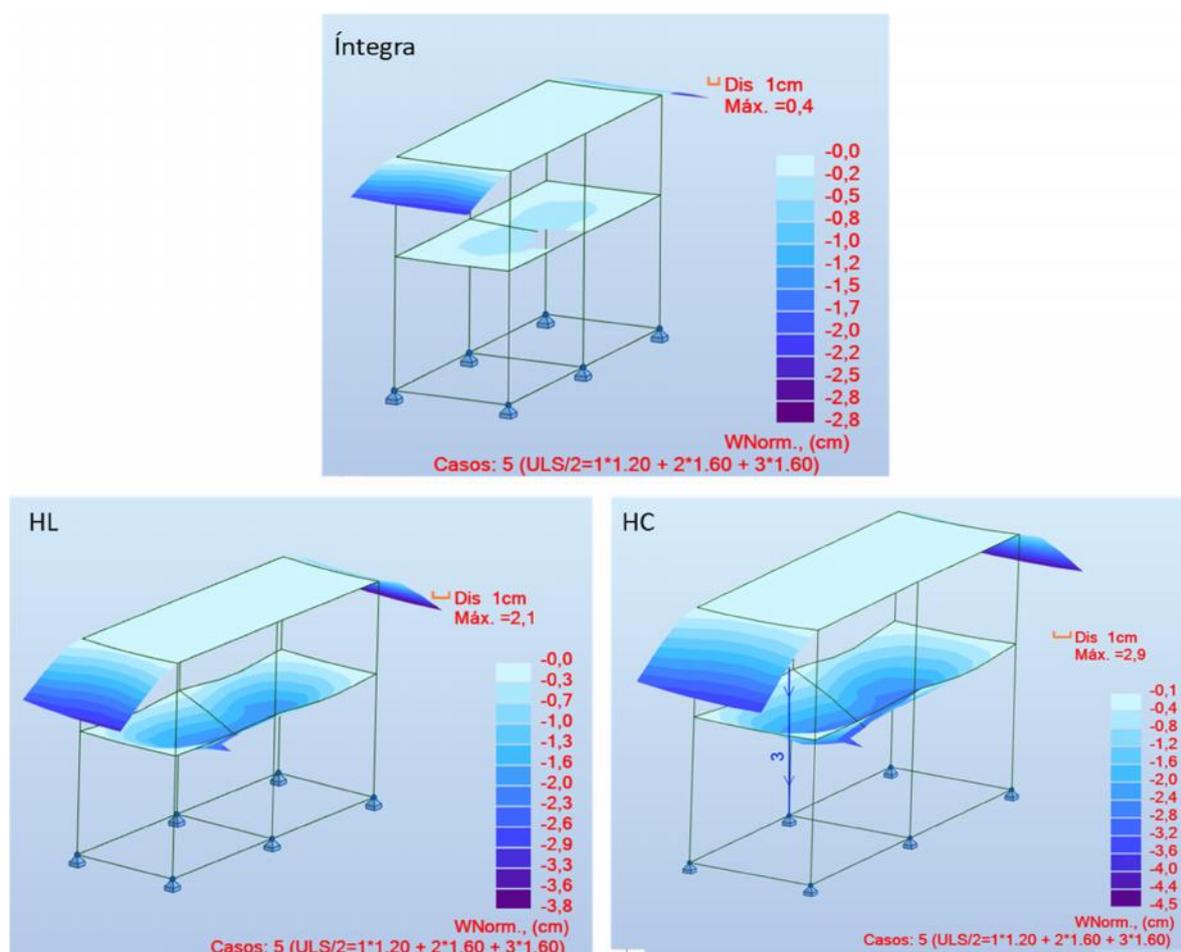
Os deslocamentos em x e em y foram pequenos, de no máximo 0,5 cm. Já U_z merece maior atenção, e o Gráfico 20 reflete esses resultados. Enquanto na estrutura íntegra o deslocamento é de quase 3 cm, esse valor sobe em 36% em HL o que corresponde a 1 cm, e em 57% o que é 1,6 cm em HC. Desse modo os deslocamentos mínimos no eixo z são uma excelente maneira de avaliar o dano da estrutura.

Gráfico 20: Deslocamentos em z - Extremos globais.



Também foi gerado o mapa de deformações em “z” para o 5º caso de combinações para fazer a comparação intuitiva, como mostra a Figura 97.

Figura 97: Deformações em z.



No 2º pavimento fica claro que as extremidades da laje são os locais críticos, onde há maior deformação, saindo de deslocamento máximo de 0,4 cm para a estrutura íntegra, indo para 2,1 cm em HL e 2,9 cm em HC, o que equivale a um aumento de 5,25 vezes no primeiro caso e de 7,25 vezes no segundo. Entretanto a deformação da laje no primeiro pavimento interessa ainda mais pois esses elementos estavam realmente deteriorados, e é bastante visual essa deformação, que sai dos 0,5 cm para mais de 3 cm. Desse modo a deformação e deslocamento em z são ótimos parâmetros para analisar o grau de integridade de uma estrutura.

Além da análise global, a local individual de cada componente também é possível e bastante relevante, e será apresentada no próximo item.

6.2.2.5.2 Análise Linear Local

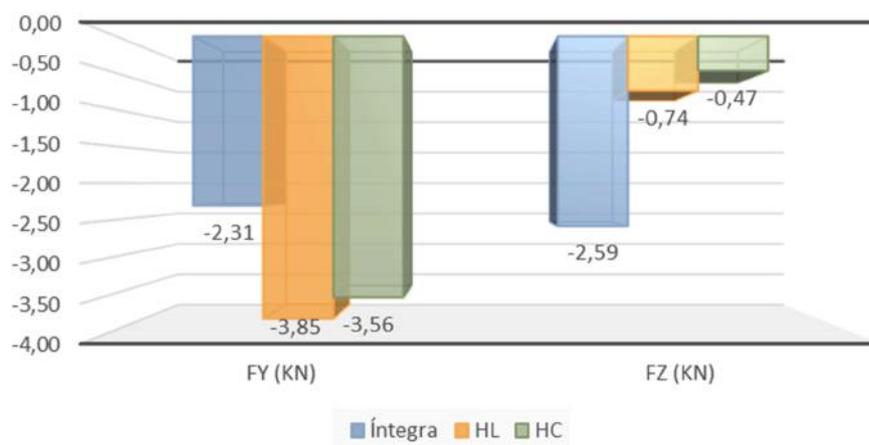
A análise individual de cada elemento também é permitida via uso de softwares de cálculo estrutural e Método MAIS, e isso será feito no presente item. Para tal foi escolhido o Pilar 101 para exemplificar essa avaliação. Foram analisados os extremos de esforços internos do pilar para forças normais e momentos. A Tabela 75 apresenta resultados sendo que a coluna “Ponto” representa o local em que aquela força extrema é apresentada, onde o ponto 0,00 m fica na base do pilar e o ponto 2,95 m no seu topo. A porcentagem do valor de HL e HC é sempre em comparação com a estrutura íntegra.

Tabela 75: Extremos de esforços internos do elemento P101.

Dado	Ponto (m)	Int	HL		HC	
			Valor	Variação (%)	Valor	Variação (%)
Fx (kN)	0,00	71,77	71,55	0,31	71,37	0,56
	2,95	64,30	64,08	0,34	63,90	0,62
Fy (kN)	0,00	-2,31	-3,85	-66,67	-3,56	-54,11
	2,95	-2,31	-3,85	-66,67	-3,56	-54,11
Fz (kN)	0,00	-2,59	-0,74	71,43	-0,47	81,85
	2,95	-2,59	-0,74	71,43	-0,47	81,85
Mx (kN.m)	0,00	-0,01	0,02	300,00	0,02	300,00
	2,95	-0,01	0,02	300,00	0,02	300,00
My (kN.m)	0,00	3,04	0,87	71,38	0,61	79,93
	2,95	-4,60	-1,31	71,52	-0,78	83,04
Mz (kN.m)	0,00	-8,72	-10,21	-17,09	-9,06	-3,90
	2,95	-1,89	1,13	159,79	1,44	176,19

As forças normais em x variam de cerca de 71 kN na base do pilar para 64 kN no seu topo. Essa variação foi muito pequena da estrutura íntegra para a degradada, com variação menor que 1% no resultado. Já em F_y e F_x o seu valor é o mesmo para todo o elemento, entretanto o seu valor sofre maiores alterações do componente íntegro para o desgastado, com variação de cerca de 66% para HL e 54% para HC. Com o Gráfico 21 é mais fácil visualizar essa variação

Gráfico 21: Fx e Fy para Pilar 101.



O Gráfico 22 e apresenta graficamente os extremos das forças de momento presentes no Pilar 101.

Gráfico 22: Momentos para a base (Ponto 0 m) do Pilar 101.

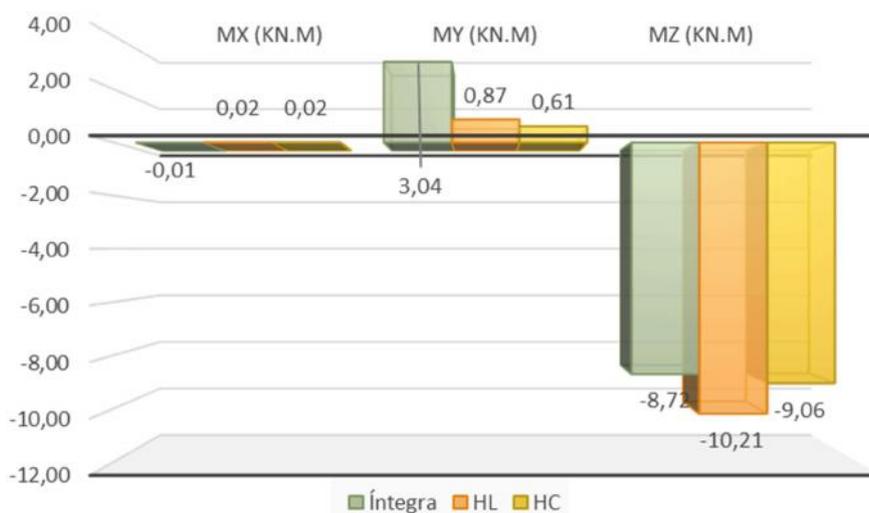
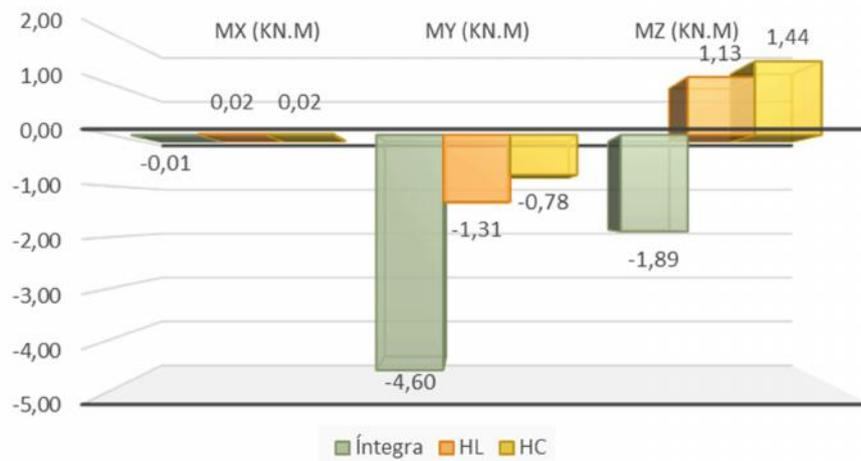


Gráfico 23: Momentos para o topo (Ponto 2,95 m) do Pilar 101.



Os gráficos permitem a fácil identificação de como muda o comportamento de seus esforços internos de momento da estrutura íntegra para a deteriorada, principalmente em M_z em que o topo do pilar sai da compressão e vai para a tração.

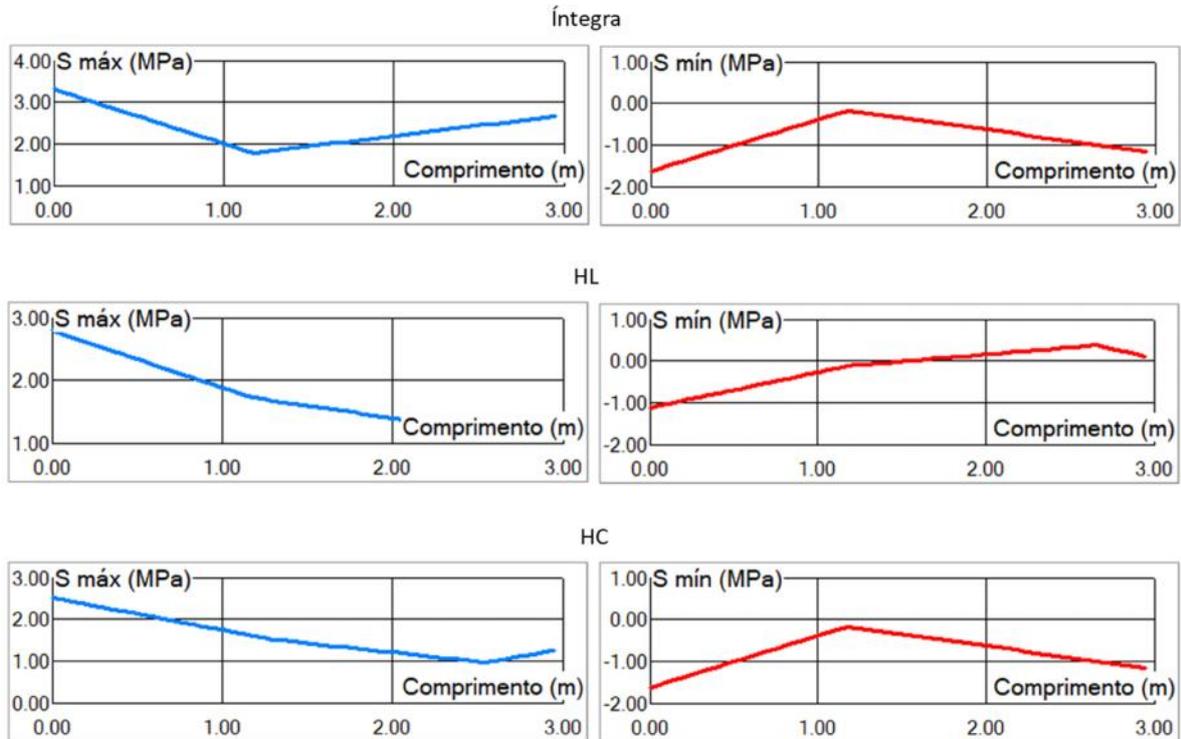
Foi avaliada ainda as tensões máximas e mínimas no pilar, conforme Gráfico 24 e Tabela 76.

Tabela 76: Extremos das tensões máxima e mínimo do Pilar 101.

Tensão		Íntegra		HL		HC	
		Ponto (m)	Tensão (Mpa)	Ponto (m)	Tensão (Mpa)	Ponto (m)	Tensão (Mpa)
$S_{máx}$	Máx	0	3,31	0	2,79	0	2,51
	Mín	1,18	1,78	2,66	1,14	0,97	2,54
$S_{mín}$	Máx	1,18	-0,18	2,66	0,37	2,54	0,55
	Mín	0	-1,64	0	-1,13	0	-0,85

Fica bastante interessante de ver a variação do comportamento das tensões conforme a estrutura é deteriorada. Isso provavelmente ocorre devido à nova distribuição dos esforços. Enquanto o extremo máximo de $S_{máx}$ diminui nas estruturas deterioradas, no extremo mínimo o seu comportamento modifica, modificando também a localização de seus pontos, diminuindo de valor para HL aumentando HC. Fica bem claro também que, com a estrutura íntegra, as tensões apresentam comportamento mais linear e organizado que na estrutura deteriorada.

Gráfico 24: Diagrama de tensões - Pilar 101.



Após todo esse estudo, conclui-se que o Método MAIS se integrou muito bem com a análise estrutural via software, e é uma excelente ferramenta para analisar a degradação e segurança de uma estrutura.

7. CONCLUSÃO

A presente tese de doutorado focou seus esforços para propor uma metodologia de avaliação de estruturas em concreto armado com o propósito de contribuir para a preservação de patrimônios históricos, colaborando com o bem-estar da sociedade e também a sustentabilidade. Assim, finda-se alguns fatos.

Referente à formulação ideal, após muitas calibrações e testes conclui-se que os pontos de avaliação no modelo de integridade e na escala devem prevalecer na fase de propagação para o bom resultado da avaliação, visto que os pontos na fase de iniciação são irrelevantes para o projeto já que as manifestações patológicas ainda não são visíveis nessa fase, e a inspeção sensorial é a principal fonte dos dados. É bastante nítido que a escala apresentou maior interferência no resultado que o próprio modelo de integridade. Na fase de propagação da manifestação patológica a cúbica sempre mais conservadora. Confirmou-se que a escala linear, por ser menos conservadora, é por possui os pontos menos presentes na fase de propagação, que é a que interessa.

Portanto definiu-se que o Modelo de Integridade de Heidecke seria o mais apropriado pelos seguintes motivos: por ter resultados mais conservadores na segunda fase da propagação da evolução dos danos; por ser composto por uma equação apenas, o que facilita a programação; por ser uma equação de segundo grau, que é uma curva, é mais realista. Desse modo o modelo de integridade de Heidecke, junto com a escala cúbica, são as que efetivamente compõem o Método MAIS.

As extremidades da classificação da integridade (crítica e alta) podem ser associadas a três tipos de risco diferentes, enquanto as classificações intermediárias (sofável, baixa e média) são mais estáveis e atribuídas a apenas um grau de risco, no máximo dois. Isso ocorre pois o risco considera outros dados, como o grau de incerteza e a localização da edificação, enquanto a integridade analisa apenas a sua degradação no estado em que se encontra. Por isso a volatilidade do risco associado a essas integridades extremas é compreendida. Entretanto maiores estudos e calibrações devem ser feitos para refinar essa atribuição.

Quanto ao uso da confiabilidade para classificar o risco da estrutura, as classificações extremas da integridade (crítica e alta) podem ser associadas a até três graus de risco, número que cai para dois ou um quando associado às integridades intermediárias (sofável, baixa e média). Isso ocorre pois o risco considera outras variáveis como as incertezas e a localização do ambiente. O resultado foi satisfatório, entretanto recomenda-se aplicar o método em mais estudos de casos e refinar essa calibração.

A matriz de risco é uma ferramenta significativa de grande contribuição que destaca o método MAIS. Além de introduzir as incertezas no procedimento, o uso de cores é de grande ajuda para o entendimento do resultado bastante intuitivo e fácil de perceber, sendo fácil perceber os locais que precisam de mais urgência na intervenção.

O método MAIS pode ser perfeitamente usado em softwares estruturais para representar a edificação em seu estado atual e entender os esforços internos dos componentes, segurança e vista geral da edificação.

Portanto conclui-se que o Método MAIS apresentou resultado bastante satisfatório e coerente com a realidade, assertivo, sendo o ponto inicial do que pode ser uma grande contribuição para a avaliação estrutural de patrimônios e de imóveis e, mesmo com a necessidade de refinamento, possui enorme potencial de aplicação e colaboração para o ramo da avaliação estrutural.

7.1 Sugestões para Trabalhos Futuros

A seguir serão apresentadas sugestões para trabalhos futuros a fim de dar continuidade ao tema abordado neste trabalho e contribuir para a academia.

- Refinar a calibração da escala do Método MAIS;
- Aplicar o método MAIS em outros estudos de caso de modo a firmá-lo;
- Fazer estudo mais profundo do uso do Método MAIS via softwares;
- Fazer estudo comparativos que correlaciona

- Adaptar o Método MAIS para estruturas em metal, estruturas mistas e em pedra, sistema construtivo bastante comum na Europa;
- Adaptar o Método MAIS para medição do desempenho de edificações, incluindo os seus subsistemas como impermeabilização, acústica, lumínico, térmico, hidráulica, lumínico, esquadrias etc.
- Fazer estudo aprofundado de comparação dos resultados do Modo 1 e Modo 2 de aplicação do Método MAIS.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AD STRAUB. Dutch standart for condition assessment of buildings. Structural Survey. Ed. Emerald Group Publishing Limited. 2009.

ANG, A. H-S.; TANG, W. H. Probability concepts in engineering planning and design: Decision, risk and reliability. 1990.

ALVES, A. R. Obtenção do índice de confiabilidade de ligações de perfis formados a frio com o emprego do método form. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto (MG), 2014.

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE). Load and Resistance Factor Design. Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures (ASCE/SEI 7-16).

ANDRIEUX, J. Y. Sobre a noção de patrimônio associada à permanência, ver: POULOT, Dominique. L'histoire du patrimoine: um essai de périodisation. In: (Org.). Patrimoine & société. Rennes: Presses Universitaires, 1998. p. 21-34

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento. Rio de Janeiro (RJ), 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15575: Desempenho de Edificações Habitacionais. Rio de Janeiro (RJ), 2013.

_____. NBR 16747: Inspeção Predial: Diretrizes, conceitos, terminologias e procedimento. Rio de Janeiro (RJ). 2020.

_____. NBR 5674: Manutenção de Edificações - Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro (RJ). 2012.

_____. NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimentos. Rio de Janeiro (RJ). 2003.

_____. NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimentos. Rio de Janeiro (RJ). 2014.

_____. NBR 6123. Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro (RJ). 1988.

_____. NBR ISO 31000. Gestão de Riscos - Princípios e Diretrizes. Rio de Janeiro (2009).

ATAÍDE, C. A. V. Estudo Comparativo entre o Método das Tensões Admissíveis e o dos Estados Limites para Alvenaria Estrutural. Dissertação de Mestrado. Engenharia de Estruturas - Departamento de Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos - USP. São Paulo (SP). 2005

AZAMBUJA, E. B. DE C. A Torre de Lucio Costa em Brasília. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília (UnB). Brasília (DF). 2012.

BAMFORTH, P. H. Probabilistic performance based durability design of concrete structures. Management of concrete structures for long term serviceability. Ed. Byars&McNulty. Telford, London. 1997.

BECK, A. T. Apostila do Curso de Confiabilidade Estrutural. Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo. São Paulo (SP), 2010.

BOLDO, P. Avaliação quantitativa de estruturas de concreto armado de edificações no âmbito do Exército Brasileiro. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental - Universidade de Brasília (UnB). Brasília (DF), 2002.

CARTA DE ATENAS. Congresso Internacional de Arquitetura Moderna. 1933. Disponível em << <http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Carta%20de%20Atenas%201933.pdf> >>. Acesso em novembro de 2017.

CARTA DE VENEZA. Carta Internacional sobre a Conservação e Restauo de Monumetos e Sítios. 1964.

CARTA DE WASHINGTON. 1987.

CASTRO, E. K. Desenvolvimento de Metodologia para Manutenção de Estruturas de Concreto Armado. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil - Universidade de Brasília (UnB). Brasília (DF), 1994.

CEDOC - CENTRO DE DOCUMENTAÇÃO DA UNB. (1996)

CHOAY, F. A alegoria do patrimônio. Editora da Unesp: Estação Liberdade. São Paulo (SP). 2006.

CHOAY, Françoise. A propos de culte et de monuments. In: RIEGL, Alois. Le culte moderne des monuments. Paris: Seuil, 1984.

CHOI, S.K, GRANDHI, R.V, CANFIELD, R.A. Reliability-Based Structural Desing. Springer-Verlag, Londres, 2007

COSSIO, F. V. Intervenciones Arqueológicas em Poyectos de Restauración de Edifícios Históricos, em: Metodologia de la Restauracion y la Rehabilitacion. Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid. 1999.

DER KIUREGHIAN, A.; LIU, P. Structural Reliability Under Incomplete Probability Information, J. Eng. Mech., 1986.

DU, X. Probabilistic Engineering Design. Probabilistic Engineering Design course. Missouri University of Science and Technology. Missouri (USA). 2005.

AD STRAUB. Dutch standart for condition assessment of buildings. Structural Survey. Ed. Emerald Group Publishing Limited. 2009.

ERASO, A. I. R. Análise de Confiabilidade de Longarinas de Pontes Ferroviárias de Concreto Armado Andrea Isabel Rojas Eraso Análise de Confiabilidade de Longarinas de Pontes Ferroviárias de Concreto Armado. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PUC. Rio de Janeiro (RJ). 2011.

EUROPEAN STANDARD (EN). Eurocode 2: Design of concrete structures. 1992.

FÁVERI, R.; SILVA, A.; Método GUT Aplicado à Gestão de Risco de Desastres: uma ferramenta de auxílio para hierarquização de riscos. Revista Orde.m Pública. 2016.

fib Bulletin 62: Structural Concrete – Manual -Texbook on behaviour, design and performance. Volume 5. 2nd Ed. Fédération Internationale du Béton (fib), Lausanne, Switzerland. (2010).

FONSECA, R. P. DA. A estrutura do Instituto Central de Ciências: aspectos históricos, científicos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e proposta de manutenção. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental - Universidade de Brasília (UnB). Brasília (DF). 2007.

FORAMITTI, H.; TALSKY, O. Les intérêts communs de la conservation des monuments historiques et de la défense passive. Monumentum, ICOMOS, v. 1, p. 77–82, 1967.

GALIMI, S. Equilíbrio estrutural e arquitetônico na obra de Oscar Niemeyer. Estudo de caso: A Procuradoria Geral da República. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. UnB. Brasília (DF). 2016.

GULIKERS, J. Numerical modeling of reinforcement corrosion in concrete. In: Corrosion in reinforced concrete structures. CRC Press Florida, 2005.

HELENE, P. Corrosão em Armaduras para concreto armado. São Paulo: PINI / IPT. 45 p. ISBN 85-09-00004-1. 1986.

HENRIQUES, A. A. R. Segurança estrutural - Texto de apoio à disciplina. Curso de Mestrado em Estruturas. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto (PT). 1998.

ICOMOS. História: Da emergência do conceito de Património Mundial à criação do ICOMOS. << <http://www.icomos.pt/index.php/o-que-e-o-icomos/historia>>>. Acesso em janeiro de 2019.

LEITE, C. M. C.; GARCIA-FILICE, R. C. O Ensino de História e Geografia no DF: Percalços e Percursos de uma Única História Chamada Brasília. História e Diversidade [recurso eletrônico]. Revista do Departamento de História. Cáceres: UNEMAT Editora. Vol. 6, nº. 1, 232 p. Modo de acesso:<<http://periodicos.unemat.br/index.php/historiae-diversidade>>Semestral. 2015.

INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL (IPHAN). Patrimônio Mundial: fundamentos para seu reconhecimento - A convenção sobre a proteção do patrimônio mundial, cultural e natural, de 1972: para saber o essencial. Brasília (DF). 2008.

_____. Portaria Nº 92 de 5 de julho de 2012.

IPHAN 2006 - TIRAR DO FONSECA (FOTO MAPA UNB)

Jeremiah, D. Emergency, Economy and Modernisation: 1940-1953. In: Architecture and Design for the Family in Britain, 1900-70. Manchester: Manchester University Press. 2000.

KECECIOGLU, D. Reliability Engineering Handbook. Department of Aerospace and Mechanical Engineering - University of Arizona. Arizona, USA. 2002.

KEPNER, C. H.; TREGOE, BENJAMIN B. O administrador racional. São Paulo: Atlas. 1981.

KLEIN, D.; GASTAL, F.; CAMPANOLO, J. L.; SILVA FILHO, L. C. Critérios adotados na vistoria de obras de arte. XXV Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural. Porto Alegre. 1991.

KÜHL, B. M. Conservação e Restauração: Notas sobre a Carta de Veneza. Anais do Museu Paulista, v. 18, n. 2, p. 35, 2010.

LOPES, B. A. R. Sistema de Manutenção Predial para Grandes Estoques de Edifícios: Estudo para inclusão do componente "Estrutura de Concreto". Dissertação de Mestrado em Estruturas. Departamento de Engenharia Civil. Universidade de Brasília. Brasília (DF), 1998.

LUCIO, F. J. P. Avaliação do Imóvel "Café Majestic". Mestrado em Engenharia Civil. Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP). Porto (PT), 2017.

LUSO, E.; LOURENÇO, P. B.; ALMEIDA, M. Breve história da teoria da conservação e do restauro. Revista Engenharia Civil da Universidade do Minho, v. 1, n. 20, 2004.

MARQUES, M. PANTOJA, J. OLIVEIRA, A. L. Metodologia para Avaliação do Nível de Criticidade de Estruturas Mistas com Modelo de Dano Cúbico. XII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação Estrutural (CINPAR). Porto, PT. 2016.

MATLAB And Statistics Toolbox Release. The MathWorks, Inc., Natick, Massachusetts, United States. 2018.

MELCHERS, R. E. Structural Reliability Analysis and Prediction. John Wiley & Sons. New York (EUA), 2002.

MEYER, M. W. Rethinking performance measurement: beyond the balanced scorecard. Cambridge, UK; New York: Cambridge University Press. (2003)

MOREIRA, I. DE F. Análise de confiabilidade estrutural dos modos de falha de vigas mistas. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental - Universidade de Brasília (UnB). Brasília (DF), 2017.

Murguia, E. I.; Yassuda, S. N. Patrimônio histórico-cultural: critérios para tombamento de bibliotecas pelo IPHAN. Perspectivas em Ciência da Informação, v. 12, n. 3, p. 65-82. 2007.

NEVES, R. A. Desenvolvimento de Modelos Mecânicos-Probabilísticos para estruturas de Pavimentos de Edifícios. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos/SP, 2004.

O CAIBALION. Os três iniciados. 1908.

Organização das Nações Unidas para a Educação a Ciência e a Cultura - UNESCO. História e Arquitetura da Sagrada Família. Disponível em << <http://www.sagradafamilia.org/en/history-of-the-temple/>>>. Acesso em janeiro de 2019.

OLIVEIRA, A. L. A. Avaliação das Condições de Desempenho Térmico, Lumínico e Acústico em Edificações de Porte Monumental: um Estudo de Caso da Biblioteca Central e do Restaurante Universitário da Universidade de Brasília. Dissertação de Mestrado, PPG-FAU. Universidade de Brasília (UnB). Brasília. 2016.

PORTO, N. G. O. Avaliação dos Efeitos da Deterioração de Estruturas de Betão Armado no seu Comportamento - Aplicação a um Reservatório Elevado. Dissertação de mestrado. Universidade de Coimbra. 2020.

PANTOJA, J. DA C. Geração automática via otimização topológica e avaliação de segurança de modelos de bielas e tirantes. 2012.

PANTOJA, J. C. et al. Metodologia probabilística para avaliação de edificações com estrutura existente em betão armado. Encontro Nacional Betão Estrutural - BE2018, p. 1–10, 2018.

PERIARD, Gustavo. Matriz GUT: Guia Completo, 2011. Disponível em: <<http://www.sobreadministracao.com/matriz-gut-guia-completo/>>. Acesso em: 23 fev. 2015.

PETZET, M. ZIESEMER, J. International Charters for Conservation and Restoration. ICOMOS. Paris, França. 2004.

RIVIERA, J. Restauracion Arquitectonica desde los Origenes Hasta Nuestros Dias. Conceptos, Teoria e Historia, em: Teoria e Historia de la Restauracion. MRRP. Editorial Mnilla-Leria. 1997.

SANDOVAL, L. C. Brasília, cinema e modernidade: percorrendo a cidade modernista. Dissertação (mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília. Brasília. 2014.

SANGIORGIO, V., G. UVA, and FATIGUSO, F. Optimized AHP to overcome limits in weight calculation: Building performance application. J. Constr. Eng. Manage. 144 (2): 04017101. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001418](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001418). 2017.

SANGIORGIO, V., G. UVA, and FATIGUSO, F. User-reporting based semeiotic assessment of existing building stock at the regional scale. J. Perform. Constr. Facil. 32 (6): 04018079. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0001227](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001227). 2018.

SANGIORGIO, V.; PANTOJA J. C.; VARUM, H.; UVA, G.; FATIGUSO, F. Structural Degradation Assessment of RC Buildings: Calibration and Comparison of Semeiotic-Based Methodology for Decision Support System. Journal of Performance of Constructed Facilities. American Society of Civil Engineers. Vol. 33. EUA. 2018.

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

UNESCO Portugal. Centro Histórico do Porto. Disponível em <<https://www.unescoportugal.mne.pt/pt/temas/proteger-o-nosso-patrimonio-e-promover-a-criatividade/patrimonio-mundial-em-portugal/centro-historico-do-porto>>>. Acesso em janeiro de 2019.

UNESCO. Orientações Técnicas para Aplicação da Convenção do Patrimônio Mundial. World Heritage Centre. 2008.

UNESCO. Historic Centre of Oporto, Luiz I Bridge and Monastery of Serra do Pilar. Disponível em <<<https://whc.unesco.org/en/list/755>>> Acesso em dezembro de 2020.

ROBOT™ Structural Analysis Professional software. Autodesk. 2019.

TQS. Software para Engenharia de Estruturas e Geotecnia. 2020.

TRT6 - TRIBUNAL REGIONAL DO TRABALHO DA SEXTA REGIÃO. Metodologia para Gestão de Riscos. Disponível em << https://www.trt6.jus.br/portal/sites/default/files/documents/metodologiagestaoriscostrt6_0_3.pdf >> Acesso em maio de 2021.

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

VAN DER TOORN, A. The maintenance of civil engineering structures. Heron. V. 39. 1992.

VAZ, L. E. Análise de Confiabilidade - DME, Escola Politécnica da UFRJ, Notas de Aula, Rio de Janeiro, RJ, 2011.

VERZENHASSI, C. C. Otimização de risco estrutural baseada em confiabilidade. Dissertação. Programa de Pós-Graduação. Engenharia de Estruturas. Escola de Engenharia de São Carlos. São Paulo, SP. 2008.

ANEXO A

ROTEIRO DE INSPEÇÃO

MÉTODO MAIS
MÉTODO ACOPLADO INTEGRIDADE E SEGURANÇA

(Oliveira, 2021)

Adaptado de Fonseca (2007)

Ficha Descritiva da Edificação

Nome:

Localização:

Natureza do Uso:

Área construída aproximada:

Idade da edificação:

Número de pavimentos:

Sistema construtivo

Classe de agressividade ambiental:

Observações:

Data da(s) vistoria(s):

RESPONSÁVEL(IS) PELA VISTORIA(S)

Nome(s):

Profissão:

Cargo/função:

Empresa/órgão:

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	6
2.	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	7
2.1.	Agressividade do Ambiente	7
2.1.1.	Tipos de Manifestações Patológicas	8
2.1.2.	Carbonatação	8
2.1.3.	Cobrimento deficiente	8
2.1.4.	Contaminação por cloretos.....	9
2.1.5.	Corrosão das armaduras	10
2.1.6.	Desagregação	10
2.1.7.	Deslocamentos por empuxo	10
2.1.8.	Desplacamento	10
2.1.9.	Desvio de geometria	11
2.1.10.	Eflorescência	11
2.1.11.	Falha de concretagem (nichos ou ninhos de concreto).....	11
2.1.12.	Fissuração inaceitável	11
2.1.13.	Flechas excessivas	12
2.1.14.	Impermeabilização deficiente.....	14
2.1.15.	Manchas	14
2.1.16.	Obstrução de juntas de dilatação	14
2.1.17.	Recalque	15
2.1.18.	Sinais de esmagamento do concreto	15
2.1.19.	Umidade	15
2.1.20.	Umidade na base.....	15
3.	METODOLOGIA MAIS.....	16
3.1.	Método MAIS - Modo 1.....	16
3.1.1.	Identificação da Estrutura.....	17
3.1.2.	Dividir em Classes e Elementos	17
3.1.3.	Atribuição dos Fatores de Dano, Intensidade e Extensão	17
3.1.4.	Fator de Extensão	26
3.1.5.	Índice de Integridade Individual da Manifestação Patológica.....	26

3.1.6.	Índice de Integridade do Elemento	27
3.1.7.	Índice de Integridade da Classe	27
3.1.8.	Fator de Relevância.....	28
3.1.9.	Integridade da Estrutura	28
3.1.10.	Índice de Confiabilidade.....	29
3.1.11.	Classificação Integridade.....	29
3.1.12.	Matriz de Risco	30
3.2.	Método MAIS – Modo 2.....	31
4.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	32

1. INTRODUÇÃO

O presente roteiro de inspeção faz parte do Método Acoplado Integridade e Segurança - Método MAIS –, metodologia criada para avaliar edificações já existentes em concreto armado, com foco em patrimônios e foi concebida através de estudo de doutorado da Pós-graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU) da Universidade de Brasília (UnB).

O objetivo do Método MAIS é quantificar o grau de integridade da edificação via identificação e extensão das patologias presentes. Ela se destaca por ser de fácil aplicabilidade, por considerar as incertezas nos dados, por ter os inputs parametrizados, o que facilita a coleta das variáveis de entrada e dá velocidade à inspeção e ao processo, além de fazer com que as duas abordagens (os fenômenos de degradação e de avaliação de resistência da estrutura) interajam, no qual o uso da probabilidade oferece um resultado mais assertivo. Ensaio não são essenciais, sendo usados apenas para refinar o método.

Existem dois modos de aplicar o método:

O Modo 1 é através do levantamento de dados via inspeção in loco, no qual matrizes de desempenho são montadas e, através de formulações matemáticas programáveis em computadores portáteis, determina-se o fator de integridade de cada elemento, classe e da estrutura globalmente, além da probabilidade de falha da estrutura, levando em consideração as incertezas através do acoplamento do índice de confiabilidade.

O Modo 2 consiste em uma modelagem em software especializado deve ser realizada. Também ocorre o levantamento de dados via inspeção sensorial in loco, o diferencial é essa inspeção é aplicada somente aos elementos. Então ao introduzir os dados no software, antes de rodar a estrutura, os módulos de elasticidade (E) e Inércia (I) são alterados de modo que reflitam a deterioração levantada daquele elemento. Ou seja, deprecia-se aquele input de modo que o resultado seja mais assertivo.

O propósito do presente roteiro de inspeção é orientar o profissional responsável pela avaliação dos passos a serem seguidos para aplicar o Método MAIS.

2. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Dois fatores importantes a serem levados em consideração no momento de utilizar o método MAIS são a agressividade do ambiente em que se encontra a edificação e a necessidade de saber identificar as manifestações patológicas existentes. Esses assuntos são abordados nesse tópico.

2.1. Agressividade do Ambiente

Algo a se levar em consideração no momento da inspeção é o clima e a agressividade do ambiente e do seu entorno. A norma NBR 6118 (2014) apresenta as condições para a durabilidade, considerando a agressividade no meio ambiente que se encontra a estrutura, às ações físicas e químicas, independente das ações mecânicas, variações volumétricas de origem térmica, retração hidráulica e outra previstas no dimensionamento das estruturas de concreto. A Tabela 1 apresenta a classificação da agressividade do ambiente a ser considerada nos projetos de estruturas, segundo as condições de exposição da estrutura ou de suas partes.

Tabela 1 - Classe de Agressividade Ambiental.

Classe de Agressividade Ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa ^{1 2}	
II	Moderada	Urbana	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹	Grande
		Industrial ^{1 2}	
IV	Muito Forte	Industrial ^{1 3}	Grande
		Respingos de maré	

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

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

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

Fonte: NBR 6118 (2014).

2.1.1. Tipos de Manifestações Patológicas

Nesta seção será apresentado conceito sucinto de manifestações patológicas frequentemente encontrado em estruturas de concreto. O intuito é uma padronização da terminologia a ser utilizada durante a vistoria com o uso da Metodologia MAIS. Na seção XX é feito a quantificação das manifestações patológicas citadas abaixo.

Importante salientar que os conceitos dos danos debatidos são apenas um resumo do material estudado, e por isso é de suma relevância que o vistoriador tenha conhecimento das bibliografias complementares sobre os temas, algumas dela foram utilizados para este trabalho.

2.1.2. Carbonatação

Fenômeno que acontece a partir da penetração do dióxido de carbono (CO_2), existente na atmosfera, que através dos poros encontrados no concreto, gera uma reação com os materiais alcalinos que se encontram na pasta de cimento. Como consequência desse evento há uma redução do pH do concreto em volta do aço no local que passou por esse processo, gerando assim a despassivação das armaduras, dessa forma deixando-as mais suscetíveis à corrosão. Todo o fenômeno se inicia da face (superfície) da estrutura de concreto indo em direção ao interior, alcançando a armadura. Como informa o CEB 148 (1982), a velocidade de carbonatação aumenta quando o local possui altas concentrações de CO_2 (garagens, túneis, etc.) e concretos com alta relação água/cimento principalmente com as temperaturas entre 50 a 70 °C. Por ser uma anomalia interna do elemento estrutural é difícil de ser encontrado visualmente em uma vistoria. A detecção desse dano pode ser feita por meio de um ensaio simples, com a aplicação de fenolftaleína na superfície recém fraturada do concreto. Quando a reação da parte do concreto carbonatada fica incolor ($\text{pH} < 9,3$) e na parte não carbonatada fica com a cor vermelho carmim. O concreto carbonatado é de alto risco de corrosão das armaduras e também na presença de umidade.

2.1.3. Cobrimento deficiente

Este dano é gerado quando o cobrimento do elemento de concreto não atende ao cobrimento mínimo que é exigido pela norma de estrutura de concreto, a NBR 6118 (2014), seguindo a Tabela 2 de agressividade ambiental. Quando o elemento estrutural de concreto possui um cobrimento deficiente é mais suscetível à penetração de agentes agressivos podem acometer as armaduras e dar início ao processo corrosivo.

Pela norma, os cobrimentos nominais e mínimos estão sempre referidos à superfície da armadura externa, em geral à face externa do estribo. O cobrimento nominal de uma determinada barra deve sempre ser:

$$C_{nom} \geq \Phi \text{ barra}$$
$$C_{nom} \geq \Phi \text{ feixe} = \Phi_n = \Phi \sqrt{n}$$

$$C_{nom} \geq 0,5 \Phi \text{ bainha}$$

Tabela 2 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento.

Classe de Agressividade Ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa ^{1 2}	
II	Moderada	Urbana	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹	Grande
		Industrial ^{1 2}	
IV	Muito Forte	Industrial ^{1 3}	Elevado
		Respingos de maré	
a	Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).		
b	Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.		
c	Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.		

Fonte: NBR 6118 (2014).

2.1.4. Contaminação por cloretos

A contaminação por cloretos do concreto pode ser causada por: aditivos à base de cloretos na execução do concreto; penetração de cloretos presentes no meio ambiente (por exemplo, em situações de regiões à beira mar); uso de sais de degelo usados em climas frios; água ou agregados contaminados. Há situações que podem ocorrer com o uso de produtos de limpeza, esses produtos podem cloretos como soluções de HCl em baixas concentrações e qualquer ambiente que possa estar contaminado por cloretos, como caixas d'água e locais de armazenamentos de produtos que contenha cloretos.

Essa anomalia pode provocar nas estruturas de concreto é a corrosão das armaduras. As formas que o dano se manifesta são como fissuras, onde está localizado as armaduras, em situações mais avançadas, e presença de manchas.

Há um valor limite de concentração dos íons de cloreto para que se possa iniciar o processo de corrosão, sendo mais frequentes em ambientes mais úmidos, pois quando a água presente nos poros facilita o transporte dos cloretos. A quantidade máxima de cloretos, segundo a ACI 318-21 (2001), com a relação a massa de cimento deve ser menor que 0,15% em ambientes com cloretos, menor 0,3% em ambiente normal, menor que 1,0% em ambiente seco e menor que 0,06% para o concreto protendido.

No Brasil, a norma NBR 12655 (2015) estabelece os valores máximos de íons de cloretos são: concreto armado em brandas condições de exposição menor que 0,4%, concreto armado não exposto a cloretos nas condições de serviço da estrutura menor que 0,3%, concreto armado exposto a cloretos menor que 0,15% e para concreto protendido menor que 0,05%.

2.1.5. Corrosão das armaduras

A corrosão das armaduras é um fenômeno físico-químico gerador de óxidos e hidróxidos de ferro, os produtos gerados aumentam significativamente o volume no local das armaduras, em até 6 vezes, ocasionando no elemento tensões de tração (cerca de 15 Mpa). Essas tensões provoca a fissura e com o aumento do volume no interior do concreto o início do deslocamento do revestimento do concreto (Cánovas, 1988). Inicialmente a corrosão pode se manifestar com o aparecimento de manchas marrom avermelhadas ou esverdeada na superfície do elemento, devido à lixiviação dos produtos da corrosão. Quanto maior o tempo da evolução da corrosão, pode gerar a perda total da seção da armadura.

Outra manifestação, além das já citadas, a corrosão provoca a perda de aderência entre o aço e o concreto e reduz a ductilidade da armadura.

2.1.6. Desagregação

Fragmentação de partes do concreto ou dos agregados, especialmente com agregados graúdos ocasionando a perda de bloco do elemento estrutural e, em muitos casos, início da perda de capacidade aglomerante entre a pasta de cimento e os agregados. A manifestação patológica é característica por ataques químicos como: reação álcali-agregado, reações expansivas com sulfatos, ataques ácidos e ações biológicas.

2.1.7. Deslocamentos por empuxo

A movimentação de elementos estruturais causados pelo empuxo da terra, especialmente em paredes de contenção causadas por pressão ativa efetuada por um maciço não coesivo em um anteparo vertical. As cortinas precisam ser equipadas com drenos, para impedir o acúmulo de água, que poderá causar um aumento do empuxo hidrostático. Outra situação que pode ocorrer é a movimentação que pode ser causada pela saturação do maciço, e em casos específicos podendo ser acentuado se for passagem de automóveis.

2.1.8. Desplacamento

Esta anomalia é ferente a aparição de lascas ou escamas que estão se separando do concreto, sendo neste caso não resultante de um ataque químico e sim dos fatores como: choques, movimentações térmicas, pressão ou expansão das armaduras no interior do concreto geradas pela corrosão.

2.1.9. Desvio de geometria

Este dano é a perda de alinhamento do elemento estrutural em relação ao seu eixo e dessa forma gerando uma excentricidade de carga. As causas que podem ter originado essa anomalia são: erros na execução por movimentação ou inexatidão das formas, ou alguma movimentação da estrutura, os fatores que podem causa-los são esforços que não foram considerados corretamente ou imprevistos.

2.1.10. Eflorescência

Essa manifestação patológica é um fenômeno que ocorre devido a cristalização de sais solúveis (sais hidratados) provenientes da hidratação do cimento, especialmente os sais hidróxido de sódio e potássio. O processo se inicia quando a água, principalmente sendo água pura e branda, que transporta os sais para o exterior da estrutura. Na superfície do concreto apresenta os produtos alcalinos e hidróxido de cálcio, com a junção do CO₂ do ambiente, a resposta é um produto insolúvel e esbranquiçado, em caso que a água é abundante e constante pode gerar uma estalactite. Em situações que a água não for abundante e de baixa pressão, a formação de carbonatos podem colmatar fissura e/ou falhas por onde a água passou. Já em casos que há a chance d'água possuir algum tipo de ácido que possa atacar os silicatos e aluminatos hidratados, este cenário deve ser realizado uma avaliação mais minuciosa.

2.1.11. Falha de concretagem (nichos ou ninhos de concreto)

Má execução da concretagem dos elementos, ocasionando exposição dos agregados, os fatores que podem gerar esse tipo de dano durante a obra são: dosagem inadequada, o diâmetro do agregado gráudo maior que as dimensões da armadura, lançamento e/ou adensamento inadequados e perda da nata do cimento pelas aberturas nas formas. Há situações que além dos agregados ficarem expostos é possível que com as armaduras aconteçam o mesmo, podendo iniciar outro dano que é o processo corrosivo mais acelerado do aço.

2.1.12. Fissuração inaceitável

A NBR 6118 (2014) apresenta quando a fissuração de torna nociva na superfície do concreto. O tamanho máximo para w_k (abertura característica de fissuras na superfície do concreto) das fissuras, não exceda os valores de 0,2 mm a 0,4 mm, essa informação está mais detalhada na Tabela 3.

Tabela 3 - Exigências de durabilidade relacionadas à fissuração e à proteção da armadura, em função das classes de agressividade ambiental.

Tipo de concreto estrutural	Classe de agressividade ambiental (CAA) e tipo de protensão	Exigências relativas à fissuração	Combinação de ações em serviço a utilizar
Concreto simples	CAA I a CAA IV	Não há	---
Concreto armado	CAA I	ELS-W $w_k \leq 0,4\text{mm}$	Combinação frequente
	CAA II e CAA III	ELS-W $w_k \leq 0,3\text{mm}$	
	CAA IV	ELS-W $w_k \leq 0,2\text{mm}$	
Concreto protendido nível 1 (protensão)	Pré-tração com CAA I ou Pós-tração com CAA I e II	ELS-W $w_k \leq 0,2\text{mm}$	Combinação frequente
Concreto protendido nível 2 (protensão limitada)	Pré-tração com CAA II ou Pós-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação frequente
		ELS-D ^a	Combinação quase permanente
Concreto protendido nível 3 (protensão completa)	Pré-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação rara
		ELS-D ^a	Combinação frequente

a A critério do projetista, o ELS-D pode ser substituído pelo ELS-DP com $a_p = 50\text{ mm}$

NOTAS:

- 1 As definições de ELS-W, ELS-F e ELS-D encontram-se em 3.2.
- 2 Para as classes de agressividade ambiental CAA-III e IV, exige-se que as cordoalhas não aderentes tenham
- 3 No projeto de lajes lisas e cogumelo protendidas, basta ser atendido o ELS-F para a combinação frequente

Fonte: NBR 6118 (2014).

2.1.13. Flechas excessivas

Para este dano a Norma 6118 (2014), descreve os limites de deslocamentos dos elementos estruturais. As flechas excessivas e o que podem gerar na estrutura pode ser classificado em quatro grupos básicos, abaixo há uma breve descrição dos grupos e na Tabela 4 são dados os valores limites dos deslocamentos.

- a) aceitabilidade sensorial – este é o limite para vibrações indesejáveis ou efeito visual desagradável;
- b) efeitos específicos – flexa que pode impedir a utilização adequada da construção;
- c) efeitos em elementos não estruturais – flechas excessivas que podem afetar elementos gerando danos ou gerando mau funcionamento deles, que mesmo não sendo parte da estrutura principal, estão ligados a ela;
- d) efeitos em elementos estruturais – os deslocamentos podem gerar danos no elemento estrutural que provocam afastamento em relação às hipóteses de cálculo adotadas.

Tabela 4 - Limites para deslocamentos.

Tipo de efeito	Razão da limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento-limite
Aceitabilidade sensorial	Visual	Deslocamentos visíveis em elementos estruturais	Total	$l/250$
	Outro	Vibrações sentidas no piso	Devido a cargas	$l/350$
Efeitos estruturais em serviço	Superfícies que devem drenar	Coberturas e varandas	Total	$l/250^a$
	Pavimentos que devem permanecer planos	Ginásios e pistas de boliche	Total	$l/350 + \text{contraflecha}^b$
			Ocorrido após a construção do piso	$l/600$
Elementos que suportam equipamentos sensíveis	Laboratórios	Ocorrido após nivelamento do equipamento	De acordo com recomendação do fabricante do equipamento	
Efeitos em elementos não estruturais	Paredes	Alvenaria, caixilhos e revestimentos	Após a construção da parede	$l/500^c$ e 10 mm e $\theta = 0,0017 \text{ rad}^d$
		Divisórias leves e caixilhos telescópicos	Ocorrido após a instalação da divisória	$l/250^c$ e 25 mm
		Movimento lateral de edifícios	Provocado pela ação do vento para combinação frequente ($\Psi_1 = 0,30$)	$H/1700$ e $H_i/850^e$ entre pavimentos ^f
		Movimentos térmicos verticais	Provocado por diferença de temperatura	$l/400^g$ e 15 mm
	Forros	Movimentos térmicos horizontais	Provocado por diferença de temperatura	$H_i/500$
		Revestimentos colados	Ocorrido após a construção do forro	$l/350$
		Revestimentos pendurados ou com juntas	Deslocamento ocorrido após a construção do forro	$l/175$
	Pontes rolantes	Desalinhamento de trilhos	Deslocamento provocado pelas ações decorrentes da frenagem	$H/400$
	Efeitos em elementos estruturais	Afastamento em relação às hipóteses de cálculo adotadas	Se os deslocamentos forem relevantes para o elemento considerado, seus efeitos sobre as tensões ou sobre a estabilidade da estrutura devem ser considerados, incorporando-os ao modelo estrutural adotado.	

- a) As superfícies devem ser suficientemente inclinadas ou o deslocamento previsto compensado por contraflechas, de modo a não se ter acúmulo de água.
- b) Os deslocamentos podem ser parcialmente compensados pela especificação de contraflechas. Entretanto, a atuação isolada da contraflecha não pode ocasionar um desvio do plano maior que $l/350$.
- c) O vão l deve ser tomado na direção na qual a parede ou a divisória se desenvolve.

- d) Rotação nos elementos que suportam paredes.
- e) H é a altura total do edifício e H_i o desnível entre dois pavimentos vizinhos. Esse limite aplica-se ao deslocamento lateral entre dois pavimentos consecutivos, devido à atuação de ações
- f) horizontais. Não podem ser incluídos os deslocamentos devidos a deformações axiais nos pilares. O limite também se aplica ao deslocamento vertical relativo das extremidades de lintéis conectados a duas paredes
- g) O valor l refere-se à distância entre o pilar externo e o primeiro pilar interno.

NOTAS:

- 1 Todos os valores-limites de deslocamentos supõem elementos de vão l suportados em ambas as extremidades por apoios que não se movem. Quando se tratar de balanços, o vão equivalente a ser
- 2 Para o caso de elementos de superfície, os limites prescritos consideram que o valor l é o menor vão, exceto em casos de verificação de paredes e divisórias, onde interessa a direção na qual a parede ou divisória se desenvolve, limitando-se esse valor a duas vezes o vão menor.
- 3 O deslocamento total deve ser obtido a partir da combinação das ações características ponderadas pelos coeficientes definidos na Seção 11.
- 4 Deslocamentos excessivos podem ser parcialmente compensados por contraflechas.

Fonte: NBR 6118 (2014).

2.1.14. Impermeabilização deficiente

Para o sistema de impermeabilização pode ser definido como vedação que pode ser constituído por materiais rígidos, plásticos ou elásticos, tendo o objetivo de barrar a entrada de umidade ou líquidos na edificação. Em estruturas como reservatórios e cortinas, precisão ser projetadas para resistir as pressões hidrostáticas, já em locais como lajes de cobertura, terraços e calhas, quando não há esse tipo de pressão não precisa se preocupar com essa forma de impermeabilização. As anomalias envolvendo a impermeabilização geralmente são causadas por ações mecânicas, previsão imprecisa da movimentação da estrutura, perda de elasticidade e falta de proteção adequada em impermeabilizantes que exijam ser protegidos de intempéries.

2.1.15. Manchas

Manchas escuras na estrutura de concreto pode ser: fungos, mofo, etc., ocorrendo principalmente em situação em que a estrutura está mais exposta a intempéries. Quando as manchas estiverem relacionadas à corrosão e/ou eflorescência, para essa manifestação patológica, não deve ser levado em conta.

2.1.16. Obstrução de juntas de dilatação

A junta de dilatação é um afastamento entre duas partes da estrutura, para que essas possam se movimentar sem transmissão de esforço entre elas. A existência de materiais rígidos e/ou de material de preenchimento que tenha perdido a elasticidade que impeçam as estruturas separadas se movimentarem livremente e desta forma gerando tensões indesejáveis nelas, podendo gerar fissuras nas lajes próxima a junta e podendo atingir os demais elementos estruturais próximos.

2.1.17. Recalque

O recalque para é o deslocamento de uma fundação pode passar, essa movimentação pode gerar o assentamento total máximo, inclinação uniforme ou assentamento diferenciais.

Recalque distorcionais, são inadmissíveis estruturalmente, pois causa deformações excessivas, esse dano pode ser gerado por um ou mais fatores como: ausência, insuficiência ou má qualidade das investigações geotécnicas; má interpretação dos resultados da investigação geotécnica; inexatidão da avaliação dos esforços provenientes da estrutura ocasionando subdimensionamento da estrutura; utilização inadequada da tensão admissível do solo ou da cota de apoio das fundações; modelos errados de cálculo das fundações; cálculo estrutural incorreto; influências externas (escavações ou deslizamentos não previsíveis, agressividade ambiental, enchentes, construções vizinhas, descalçamento das fundações por escavações vizinhas); colapso do solo; alteração do nível do lençol freático; modificação no carregamento devido a mudança de utilização da estrutura (acréscimos ou ampliação de áreas); sobrecargas não previstas; cargas dinâmicas (vibrações, tremores de terra, sismos, etc.) e falha de manutenção em obras críticas.

2.1.18. Sinais de esmagamento do concreto

Nessa anomalia acontece com um processo mecânico que gera a desintegração do concreto. Em elementos estruturais dos pilares é característico a aparição de fissuras diagonais. A causa desse dano são sobrecargas excessivas ou alguma movimentação da estrutura, outro sinal em que esta anomalia está ocorrendo é um alto deslocamento do concreto, com perda de seção e flambagem das armaduras.

2.1.19. Umidade

A presença de água, sendo ela agressiva ou não, nas peças estruturais, pelo interior das fissuras, através da segregação do concreto, pela junta de concretagem mal executadas ou por causa da porosidade do concreto. A existência da umidade nos elementos das estruturas pode se originar a partir de: danos na impermeabilização, deficiências no escoamento de água pluviais, vazamento em tubulações, etc. Com frequência essa manifestação patológica tem o potencial de propiciar o aparecimento de corrosões, lixiviação e etc.

2.1.20. Umidade na base

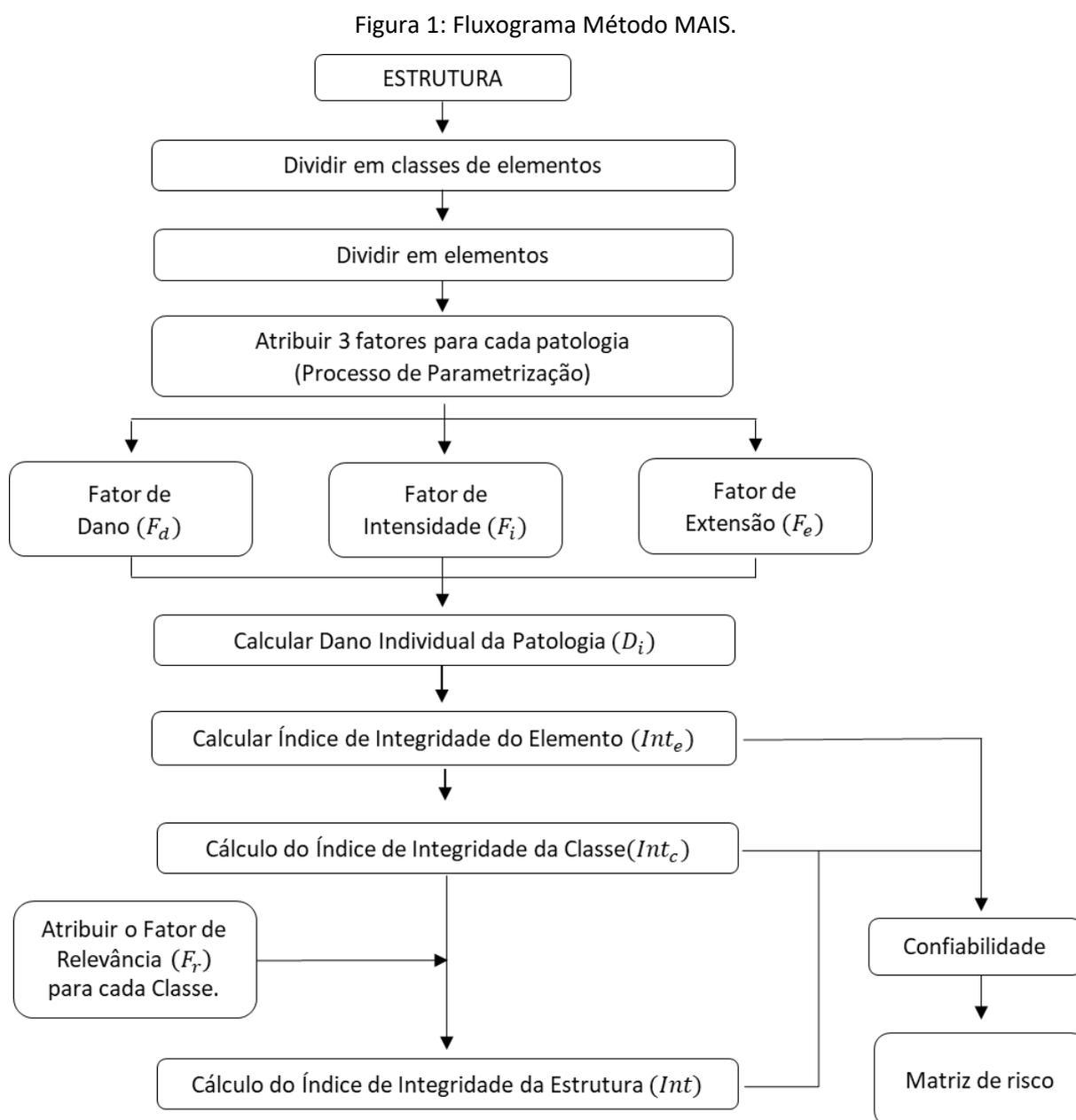
A existência da umidade na base dos pilares e/ou blocos de fundação, por ser um dano de maior gravidade em relação a anomalia anterior, precisou ser retratada de forma mais específica. Essa manifestação patológica pode ser gerada de deficiência no escoamento de águas pluviais, vazamento em tubulações, vazamento em reservatórios enterrados, etc. A existência desse nado nas edificações pode favorecer a aparições de outras anomalias como o recalque.

3. METODOLOGIA MAIS

O método MAIS é um procedimento sistematizado para encontrar o grau de integridade da estrutura, classes e elementos e sua probabilidade de falha. Esse caderno apresenta as informações para a vistoria, além de matrizes de desempenho a serem preenchidas pelo profissional ou equipe especializada responsável que são necessárias para seguir o fluxograma. Existem duas maneiras de utilizar o Método MAIS: através do Modo 1 e do Modo 2.

3.1. Método MAIS - Modo 1

A Figura 1 apresenta o fluxograma desse procedimento.



Cada uma de suas etapas é destrinchada a seguir.

3.1.1. Identificação da Estrutura

Essa primeira etapa é bastante importante para o sucesso da aplicação da metodologia. Ela consiste em conhecer melhor a estrutura através de visitas *in loco*, anamnese e, se for conveniente, ensaio *in loco*. Deve-se definir muito bem a edificação a ser avaliada, delimitar quais de seus espaços entrarão nessa avaliação. Convém ter representações gráficas da estrutura (plantas de arquitetura, estrutura, fôrmas, etc.) que permitam localizar e identificar, da forma mais clara possível, os elementos vistoriados, quanto à sua natureza, pavimento, tipo de ambiente, etc. Convém ter dados como o material utilizado, tipologia, idade, histórico, utilização e localização.

3.1.2. Dividir em Classes e Elementos

Nessa etapa é realizado a categorização dos elementos da edificação em classes seguindo as características estruturais. Para essa metodologia se seguiu a mesma forma de raciocínio da dissertação de Fonseca (2007), que sugere realizar a divisão em:

- Blocos de fundação;
- Cortinas (muro de arrimo);
- Elementos de composição arquitetônica;
- Escadas/Rampas;
- Juntas de dilatação;
- Lajes;
- Pilares;
- Reservatórios – superior e inferior;
- Vigas.

Se for preciso tais classes podem ser adaptadas, reorganizadas ou subdivididas – por exemplo, subclassificar a classe de vigas em vigas principais e vigas secundárias – essa decisão deve ficar a critério da equipe responsável pela inspeção.

3.1.3. Atribuição dos Fatores de Dano, Intensidade e Extensão

Após separar a edificação em classes e elementos, chegou o momento de avaliá-las e coletar os dados, que são os Fatores de Dano, Integridade e Extensão. Isso é feito via inspeção sensorial.

❖ Fator de Dano

O Fator de Dano (F_d) propõe-se conceder a manifestação patológica a importância relativa de um determinado dano em sua funcionalidade, estética e segurança naquele determinado elemento. O valor de F_d pode ocorrer uma variação dependendo da classe em que foi avaliada, pois uma anomalia num pilar, principal responsável pela transmissão de carga, pode

ser mais danoso para a estrutura globalmente que a mesma anomalia em uma laje, por exemplo. O Fator de Dano é parametrizado e previamente tabelado.

Os valores e atributos específicos de F_d , de acordo com cada classe e manifestação patológica são os da Tabela 5. Tais atributos seguem a Tabela 6. A

Tabela 7 apresenta o Fator de Dano para as fissuras, que é variável de acordo com sua tipologia. A combinação das três tabelas deve ser utilizada no momento da avaliação pelos profissionais.

Tabela 5: Fatores de dano (F_d) por classe de componentes.

Elementos de Composição Arquitetônica

Nome do Elemento:

Local:

Item	Dano	Fd	Fi	Fe	D	Croquis / Observações
1	Carbonatação	B				
2	Cobrimento deficiente	B				
3	Contaminação por cloretos	C				
4	Corrosão de armaduras	D				
5	Desagregação	B				
6	Desplacamento	B				
7	Eflorescência	A				
8	Falhas de concretagem	A				
9	Fissuras	A a D*				
10	Manchas	B				
11	Sinais de esmagamento	D				
12	Umidade	B				

Reservatório Superior

Nome do Elemento:

Local:

Item	Danos	Fd	Fi	Fe	D	Croquis / Observações
1	Carbonatação	B				
2	Cobrimento deficiente	B				
3	Contaminação por cloretos	C				
4	Corrosão de armaduras	D				
5	Desagregação	B				
6	Desplacamento	D				
7	Eflorescência	A				
8	Falhas de concretagem	B				
9	Fissuras	A a D*				
10	Impermeabilização deficiente	C				
11	Vazamento	D				

Cortinas - Muro de Arrimo

Nome do Elemento:

Local:

Item	Danos	Fd	Fi	Fe	Di	Croquis / Observações
1	Carbonatação	B				
2	Cobrimento deficiente	B				
3	Contaminação por cloretos	C				
4	Corrosão de armaduras	D				
5	Desagregação	B				
6	Deslocamento por empuxo horizontal	D				
7	Desplacamento	B				
8	Desvio de geometria	B				
9	Eflorescência	A				
10	Falhas de concretagem	A				
11	Fissuras	A a D*				
12	Manchas	B				
13	Sinais de esmagamento	D				
14	Umidade	B				

Pilares

Nome do Elemento:

Local:

Item	Danos	Fd	Fi	Fe	D	Croquis / Observações
1	Carbonatação	B				
2	Cobrimento deficiente	B				
3	Contaminação por cloretos	C				
4	Corrosão de armaduras	D				
5	Desagregação	B				
6	Desplacamento	B				
7	Desvio de geometria	C				
8	Eflorescência	A				
9	Falhas de concretagem	B				
10	Fissuras	A a D*				
11	Manchas	B				
12	Recalque	D				
13	Sinais de esmagamento	D				
14	Umidade na base	B				

Vigas

Nome do Elemento:

Local:

Item	Dano	Fd	Fi	Fe	D	Croquis / Observações
1	Carbonatação	B				
2	Cobrimento deficiente	B				
3	Contaminação por cloretos	C				
4	Corrosão de armaduras	D				
5	Desagregação	B				
6	Desplacamento	B				
7	Eflorescência	A				
8	Falhas de concretagem	A				
9	Fissuras	A a D*				
10	Flechas	D				
11	Manchas	B				
12	Sinais de esmagamento	C				
13	Umidade	B				

Escadas / Rampas

Nome do Elemento:

Local:

Item	Danos	Fd	Fi	Fe	D	Croquis / Observações
1	Carbonatação	B				
2	Cobrimento deficiente	B				
3	Contaminação por cloretos	C				
4	Corrosão de armaduras	D				
5	Desagregação	B				
6	Desplacamento	B				
7	Eflorescência	A				
8	Falhas de concretagem	A				
9	Fissuras	A a D*				
10	Flechas	D				
11	Manchas	B				
12	Sinais de esmagamento	C				
13	Umidade	B				

Juntas de Dilatação

Nome do Elemento:

Local:

Item	Dano	Fd	Fi	Fe	D	Croquis / Observações
1	Obstrução de junta	D				
2	Umidade	D				

Laje

Nome do Elemento:

Local:

Item	Dano	Fd	Fi	Fe	D	Croquis / Observações
1	Carbonatação	B				
2	Cobrimento deficiente	B				
3	Contaminação por cloretos	B				
4	Corrosão de armaduras	D				
5	Desagregação	B				
6	Desplacamento	B				
7	Eflorescência	A				
8	Falhas de concretagem	A				
9	Fissuras	A a D*				
10	Flechas	D				
11	Manchas	B				
12	Umidade	B				

Fundação

Nome do Elemento:

Local:

Item	Dano	Fd	Fi	Fe	D	Croquis / Observações
1	Carbonatação	B				
2	Cobrimento deficiente	B				
3	Contaminação por cloretos	C				
4	Corrosão de armaduras	D				
5	Desagregação	B				
6	Desplacamento	B				
7	Eflorescência	A				
8	Falhas de concretagem	B				
9	Fissuras	A a D*				
10	Recalque	D				
11	Sinais de esmagamento	D				
12	Umidade na base	B				

*Conforme Tabela 7.

Tabela 6: Fator de Dano - Geral.

Escala de Importância	Atributo	Valor
Sem importância	---	---
Pouca	A	0,4226
Intermediária	B	0,6265
Importante	C	0,87
Muito importante	D	1

Tabela 7: Fator de Dano para Fissuras.

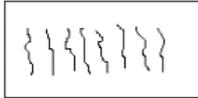
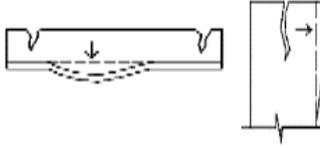
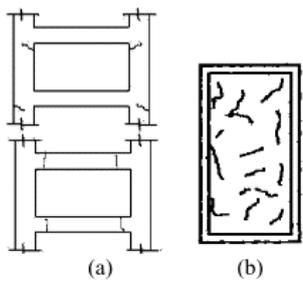
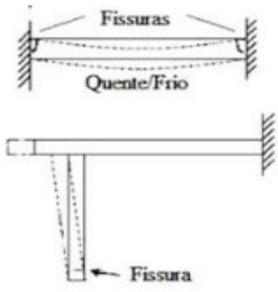
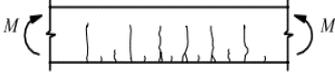
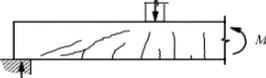
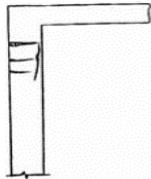
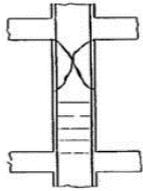
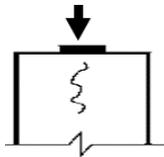
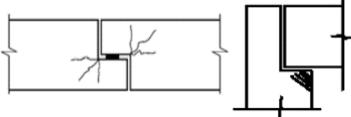
	FISSURA	DESCRIÇÃO	CROQUI	ATRIBUTO
ESTADO PLÁSTICO	De retração plástica do concreto	<ul style="list-style-type: none"> - comuns em lajes e paredes - paralelas, superficiais e afastadas, de 0,3 m a 1 m 		A
	De assentamento do concreto	<ul style="list-style-type: none"> - acompanham as armaduras - em pilares, ficam abaixo dos estribos; - interação com armaduras vizinhas 		B
	De movimentação de fôrmas	<ul style="list-style-type: none"> - indicam mau posicionamento, má fixação ou resistência insuficiente de fôrmas e escoramentos 		B
ESTADO ENDURECIDO	De retração do concreto por secagem	<ul style="list-style-type: none"> - vigas podem ocasionar fissuras nos pilares e vice-versa, por diferenças de rigidez (a) - aspecto de mosaico em lajes e paredes, podendo aparecer em ambas as faces (b) - indicam restrição de movimentos - profundidade reduzida - aberturas de 0,1 mm a 0,2 mm 		B
	Mapeadas	<ul style="list-style-type: none"> - mais visíveis em superfícies lisas de lajes e paredes - abertura e extensão reduzidas - indicam desempenho excessivo. - danos apenas estéticos, em geral 		A
	De variações de temperatura	<ul style="list-style-type: none"> - em geral, normais ao eixo de elementos lineares - indicam restrição de movimento por mau funcionamento de juntas de dilatação e/ou sua inexistência 		B

Tabela 7: Fator de Dano para Fissuras – Continuação.

	FISSURA	DESCRIÇÃO	CROQUI	ATRIBUTO
PROJETO / EXECUÇÃO OU CARGAS EXCESSIVAS	De flexão em vigas	- normais ao eixo, em trechos de momento fletor elevado e com boa aderência aço-concreto		C
	De força cortante flexão em vigas	- inclinadas nas duas faces - podem entrar na zona de compressão e se dirigir aos apoios		C
	De cortante, momentos de torção e flexão em vigas	- inclinadas em uma face - na face oposta: menor abertura e inclinação		C
	De 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		D
	De compressão	- paralelas ao eixo e convergindo para o centro nas proximidades de ruptura - indicam espaçamento excessivo ou deslocamento de estribos		D
	De carga concentrada em área reduzida	- Comuns em apoios de pontes, estruturas pré-moldadas e apoios indiretos - Indicam armaduras deficientes de fretagem e mau detalhamento		B
	Em apoios do tipo gerber (vigas e pilares)	- comuns em pontes e estruturas pré-moldadas - indicam armadura deficiente de aparelhos de apoio e/ou detalhamento inadequado		B
	De 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 bordos e com continuidade		C
	De momentos volventes	- em cantos de lajes extremas, podendo abrir nas duas faces - influenciadas por variações de temperatura e retração		B
De punção	- traçado circular e/ou radial em torno do pilar		D	

❖ Fator de Intensidade

O Fator de intensidade (F_i) foi definido como coeficiente para o grau de severidade para a manifestação patológica e unicamente da patologia analisada, para esse fator o elemento em que ele está presente ou sua extensão. A classificação para o F_i é sugerida na Tabela 8 por manifestação patológica e, com uma vista mais geral, na Tabela 8.

Tabela 8: Fator de Intensidade por manifestação patológica.

DANO	ATRIBUTO	MANIFESTAÇÃO
Carbonatação	B	Sem atingir a armadura
	C	Atingindo a armadura, em ambiente seco
	D	Atingindo a armadura, em ambiente úmido
Cobrimento Deficiente	B	Menores que os previstos em norma sem, no entanto, permitir a localização da armadura
	C	Menor que o previsto em norma, permitindo a localização visual da armadura
	D	Deficiente, com armaduras expostas
Contaminação por Cloretos	B	Em elementos no interior sem umidade
	C	Em elementos no exterior sem umidade
	D	Em ambientes úmidos
Corrosão de armaduras	B	Manifestações leves
	C	Manchas e/ou fissuras de corrosão
	D	Corrosão acentuada na armadura principal, com perda relevante da seção
Desagregação	B	Início da manifestação
	C	Manifestações leves, início de estofamento do concreto
	D	Por perda acentuada de seção e esfrelamento do concreto
Deslocamento por empuxo	C	Deslocamento lateral da cortina no sentido horizontal, estável
	D	Deslocamento lateral da cortina no sentido horizontal, instável
Desplacamento	B	Lascamento sem exposição da armadura
	C	Lascamento com exposição da armadura
	D	Lascamento acentuado com perda relevante de seção
Desvios de geometria	B	Pilares e cortinas com excentricidade $\leq h/100$ (h = altura);
	C	Pilares e cortinas com excentricidades $h/100 \leq e < h/50$
	D	Pilares e cortinas com excentricidades $\geq h/50$
Eflorescência	B	Início de manifestações
	C	Presença de manchas
	D	Formações de crostas de carbonato de cálcio (estalactites).

Tabela 8: Fator de Intensidade por manifestação patológica – Continuação.

DANO	ATRIBUTO	MANIFESTAÇÃO
Falha de concretagem	A	Superficial e pouco significativa em relação às dimensões da peça;
	B	Significante em relação às dimensões da peça;
	C	Profunda em relação às dimensões da peça, com ampla exposição da armadura
	D	Perda relevante da seção da peça
Fissuras	A	Abertura menores do que as máximas previstas em norma
	B	Estabilizadas, com abertura até 40% acima dos limites de norma;
	C	Aberturas excessivas; estabilizadas
	D	Aberturas excessivas; não estabilizadas.
Flechas	A	Não perceptíveis a olho nu
	B	Perceptíveis a olho nu, dentro dos limites previstos na norma;
	C	Superiores em até 40% às previstas na norma
	D	Excessivas
Impermeabilização Deficiente	B	Danos na camada protetora e/ou perda de elasticidade do material da impermeabilização
	C	Descontínua, degradada em alguns pontos (manchas / pontos de infiltração)
	D	Degradação acentuada, com perda relevante da estanqueidade.
Manchas	C	Manchas escuras devido à presença de fungos, mofo, etc.
Obstrução de juntas de dilatação	B	Perda de elasticidade do material da junta; início de fissuras paralelas às juntas nas lajes adjacentes;
	C	Presença de material não compressível na junta; grande incidência de fissuras paralelas às juntas nas lajes adjacentes
	D	Fissuras em lajes adjacentes às juntas, com prolongamento em vigas e/ou pilares de suporte
Recalques	B	Indícios de recalque pelas características das trincas na alvenaria;
	C	Recalque estabilizado com fissuras em peças estruturais;
	D	Recalque não estabilizado com fissuras em peças estruturais.
Sinais de esmagamento do concreto	C	Desintegração do concreto na extremidade superior do pilar, causada por sobrecarga ou movimentação da estrutura; fissuras diagonais isoladas
	D	Fissuras de cisalhamento bidiagonais, com intenso lascamento e/ou esmagamento do concreto devido ao cisalhamento e a compressão, com perda substancial de material; deformação residual aparente; exposição e início de flambagem de barras da armadura.
Umidade	C	Indícios de umidade
	D	Presença de manchas
Umidade na base	C	Indícios de vazamentos em tubulações enterradas que podem comprometer as fundações
	D	Vazamentos em tubulações enterradas causando erosão aparente junto às fundações

Tabela 9: Fator de Intensidade - Geral.

Lesões	Atributo	Valor
Sem lesões	---	0
Lesões leves	A	0,4226
Lesões toleráveis	B	0,6265
Lesões graves	C	0,87
Lesões críticas	D	1

❖ Fator de Extensão

O último item a ser analisado é o Fator de Extensão (F_e), que classifica o nível de espalhamento da patologia no elemento, afinal, uma avaria em uma porção pequena do elemento representa um desgaste menor que uma avaria presente em grande parte do elemento. A Tabela 10 mostra os seus a atual pontuação foi desenvolvida a partir da Norma Holandesa de avaliação de edificações (Ad Straub, 2009).

Tabela 10: Fator de Extensão.

Extensão da patologia (%)	Atributo	Valor
< 2	---	0
02 - 10	A	0,4226
10 - 30	B	0,6265
30 - 70	C	0,87
≥ 70	D	1

3.1.4. Índice de Integridade Individual da Manifestação Patológica

O Índice de Integridade Individual de cada patologia (Int_i) é o complementar do seu Dano, e é encontrado via Equação 1, que obedece o modelo de Heidecke, e Equação 2.

$$D_i = (1,9738 F_i^2 - 1,1187 F_i + 0,1513) F_d * F_e \quad \text{Equação 1}$$

$$Int_i = 1 - D_i \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

D_i Dano individual da manifestação patológica;

Int_i Índice de integridade individual da manifestação patológica

3.1.5. Índice de Integridade do Elemento

Com o porte dos dados dos Danos Individuais de cada patologia presente no elemento, pode-se encontrar do Índice de Integridade do Elemento (Int_e) como um todo, através da Equação 3 e Equação 4.

$$D_e = D_{imáx} \left(1 + \frac{\sum_{i=1}^m D_i - D_{imáx}}{\sum_{i=1}^m D_i} \right) \times \frac{m}{2m - 1} \quad \text{Equação 3}$$

$$Int_e = 1 - D_e \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

D_e Dano do elemento;

D_i Dano individual da manifestação patológica;

$D_{imáx}$ Maior dano individual da manifestação patológica presente;

m Nº de manifestações patológicas presentes no elemento;

Int_e Índice de integridade do elemento.

3.1.6. Índice de Integridade da Classe

Naturalmente, sabendo da integridade de todos os elementos, o próximo passo é encontrar o Índice de Integridade da Classe (Int_c) conforme Equação 5 e Equação 6.

$$D_c = \frac{D_{emáx} \left[\sqrt{1 + \frac{\sum_{i=1}^m D_{e(i)} - D_{emáx}}{\sum_{i=1}^m D_{e(i)}}} \right]}{\sqrt{1 + \frac{n - 1}{n}}} \quad \text{Equação 5}$$

$$Int_c = 1 - D_c \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

D_c Dano da Classe;

$D_{emáx}$ Dano do elemento máximo pertencente àquela classe;

n número de elementos que compõem a classe;

Int_c Índice de integridade da classe.

3.1.7. Fator de Relevância

O Fator de Relevância (F_r) busca traduzir a importância relativa das classes que compõem a estrutura no seu bom comportamento e desempenho. O somatório do F_r deve ser sempre igual a 1 e a sua definição não é fixa, conforme Tabela 11.

Tabela 11: Fator de Relevância

Fator de Relevância - Fr	
Classe 1	0,35
Classe 2	0,10
Classe 3	0,15
...	...
Classe N	0,20
$\Sigma = 1$	

Recomenda-se que as classes que recebem maior carga, que são os pilares, fundações e possíveis paredes estruturais, equivalham a 70% do Fator de Relevância; as vigas e lajes a 20% e as demais classes 10%, conforme Tabela 12. Esse fator não é fixo e é definido pela equipe especialista responsável a depender da tipologia da estrutura e de em quantas famílias ela foi decomposta.

Tabela 12: Sugestão de Fator de Relevância.

Classe	ΣFr
Pilares	0,7
Fundações	
Parede estrutural	
Vigas	0,2
Lajes	
Reservatório	0,1
Escadas / rampas	
Cortinas	
Juntas de dilatação	
Componentes arquitetônicos	
$\Sigma = 1$	

3.1.8. Integridade da Estrutura

Encontra-se a Integridade da Estrutura (Int), que estima a sua porcentagem que se encontra em bom estado analisando-a globalmente com relação a solicitação do projeto e é a soma do Índice de Integridade de cada Classe (Int_c) ponderada pelo seu respectivo F_r , conforme Equação 7.

$$Int = \sum Int_c \times F_r \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

Int Índice de integridade da estrutura global;

Int_c Índice de integridade da classe;

F_r Fator de relevância.

3.1.9. Índice de Confiabilidade

O acoplamento do índice de confiabilidade, que considera as incertezas, é feito de forma simples, levando em consideração a premissa que a variação do Índice de Confiabilidade dos elementos, classes e estrutura segue a mesma lei de comportamento do Fator de Integridade, possibilitando representá-lo através da Equação 8.

$$\beta \approx \text{Integridade}(F_i, F_d, F_e, F_r) \cdot \varphi \quad \text{Equação 8}$$

Onde:

β Índice de confiabilidade;

φ Nível de confiabilidade.

Os valores mínimos e máximos de φ , que representa o nível de confiabilidade dos elementos, devem seguir os valores de referência para estruturas existentes conforme Tabela 13.

Tabela 13: Índices de confiabilidade referência.

Classe de consequência	Período mínimo de referência	β Nova		β Reparada		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 (CC0 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 (2010).

3.1.10. Classificação Integridade

A Tabela 14 apresenta a classificação da integridade e ações a serem adotadas de acordo com o valor de Integridade encontrado, que deve ser sempre entre 0 e 1, para elementos, classes e para a estrutura global.

Tabela 14: Classificação da Integridade e ações a serem adotadas.

CLASSIFICAÇÃO	INTEGRIDADE		
Alta	0,81	a	1,00
Média	0,51	a	0,80
Baixa	0,36	a	0,50
Sofrível	0,21	a	0,35
Crítica	0	a	0,20

3.1.11. Matriz de Risco

A matriz de risco é uma ferramenta de gerenciamento que permite visualmente identificar quais são os riscos que devem receber mais atenção. Por usar cores, fica fácil a identificação dos maiores e menores riscos. A matriz de risco utilizada no Método MAIS foi motivada pelos índices de confiabilidade referência (Tabela 13) e é apresentada na Figura 2, traduzida mais especificamente na Tabela 15.

Figura 2: Matriz de risco Método MAIS.

Matriz de Risco		Consequência			
		Baixa	Média	Alta	Muito alta
Probabilidade de falha	Muito alta	0,84	0,52	0,25	0,00
	Alta	1,28	0,84	0,52	0,25
	Média-alta	2,32	1,28	0,84	0,52
	Média	3,09	2,32	1,28	0,84
	Baixa	3,72	3,09	2,32	1,28
	Muito baixa	4,00	3,72	3,09	2,32

Os níveis de confiabilidade são uma boa régua que mostra quantitativamente o risco daquele elemento, classe ou estrutura colapsarem. Esse valor nos indica quais elementos possuem maior urgência de sofrer. A Tabela 15 apresenta a classificação dos Fatores de Integridade do elemento e da estrutura.

Tabela 15: Classificação dos níveis de confiabilidade para elementos (local), classes e estrutura (global).

Risco	Confiabilidade	Ações a serem tomadas
Extremamente Alto	0 a 0,24	Inspeção especial emergencial. Intervenção imediata.
Alto	0,25 a 0,68	Inspeção especial detalhada emergencial. Planejar intervenção em curto prazo (máx. 2 meses).
Médio-alto	0,69 a 1,8	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em curto prazo (máx. 6 meses).
Médio	1,81 a 3,41	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em médio prazo (máx. 1 ano).
Baixo	3,42 a 3,72	Definir prazo/natureza para nova inspeção (máx. 1 ano).
Extremamente Baixo	3,73 a 4	Estado aceitável. Manutenção preventiva.

3.2. Método MAIS – Modo 2

No modo 2 do Método MAIS, a integridade da estrutura é analisada via *software* especializado de análise estrutural. O levantamento de dados é feito também via inspeção *in loco* e, assim como no Modo 1, os mesmos passos devem ser seguidos até encontrar o Índice de Integridade de cada elemento (item 3.1.5).

Sabendo disso, é possível passar para o *software* modelando a estrutura normalmente. O diferencial é que no momento do *input* de cada elemento, a sua integridade é considerada na sua rigidez (EI). Ou seja, uma nova rigidez é encontrada através da Equação 9.

$$(EI)_{\text{modificado}} = (EI)_{\text{original}} * Int_e \quad \text{Equação 9}$$

Então, no momento do input dos dados, o módulo de elasticidade (E) e/ou inércia (I) é multiplicado pelo seu correspondente Índice de Integridade do elemento (Int_e), espelhando a sua deterioração. Em seguida roda-se o *software* normalmente. Recomenda-se também rodar a estrutura em seu estado íntegro. O Modo 2 é interessante pois visualiza-se graficamente os deslocamentos das estruturas e a redistribuição dos esforços.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AD STRAUB. Dutch standart for condition assessment of buildings. Structural Survey. Ed. Emerald Group Publishing Limited. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento. Rio de Janeiro (RJ), 2004.

FIB Bulletin 62: Structural Concrete – Manual -Texbook on behaviour, design and performance. Volume 5. 2nd Ed. Fédération Internationale du Béton (fib), Lausanne, Switzerland. (2010).

FONSECA, R. P. DA. A estrutura do Instituto Central de Ciências: aspectos históricos, científicos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e proposta de manutenção. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental - Universidade de Brasília (UnB). Brasília (DF). 2007.

ANEXO B

FOTOS DOS ELEMENTOS VISTORIADOS

Estudo de Caso: CLS 105, Asa Sul, Brasília (DF)

(Oliveira, 2021)

PAVIMENTO TÉRREO

P1 – Loja *i*



Figura 1. Pilar P1i.



Figura 2. Armadura exposta e corroída; cobertura deficiente.



Figura 3. Desagregação; deslocamento; concretagem deficiente.



Figura 4. Sinais de esmagamento.

P2 – Loja i



Figura 5. Pilar P2i.



Figura 6. Armadura exposta e corroída; cobrimento deficiente.



Figura 7. Desagregação; armadura exposta.



Figura 8. Desagregação; falha na concretagem.

P3 – Loja i



Figura 9. Pilar P3i.



Figura 10. Armadura exposta e corroída; cobrimento deficiente; desagregação; deslocamento; falhas de concretagem.



Figura 11. Base do pilar bem deteriorada e com armaduras desconectadas.



Figura 12. Armadura da base do pilar exposta, corroída e sem conexão com vigas ou fundação.

P4 – Loja i



Figura 13. Pilar P4i.



Figura 14. Armadura exposta; cobrimento deficiente; desagregação.



Figura 15. Armadura exposta e corroída; cobrimento deficiente; desagregação; falha na concretagem.



Figura 16. Armadura exposta e corroída; cobrimento deficiente; desagregação; falha na concretagem.



Figura 17. Pilar P5i.



Figura 18. Desagregação; deslocamento.



Figura 19. Cobrimento deficiente;
falha na concretagem.



Figura 20. Desvio de geometria (pilar do lado
esquerdo).



Figura 21. Pilar P6i.



Figura 22. Falha na concretagem.



Figura 23. Armadura exposta e corroída; cobertura deficiente; desagregação; deslocamento.



Figura 24. Armadura da base do pilar exposta, corroída e sem conexão com vigas ou fundação.

V1A – Loja *i*



Figura 25. Viga V1Ai.



Figura 26. Armadura exposta e corroída; cobertura deficiente; falha na concretagem.



Figura 27. Armadura exposta; desagregação; deslocamento.



Figura 28. Armadura exposta e corroída; desagregação.

V1B – Loja i



Figura 29. Viga V1Bi.



Figura 30. Armadura exposta, solta e corroída; cobrimento deficiente; falhas de concretagem.



Figura 31. Armadura exposta e corroída; cobrimento deficiente; desagregação; deslocamento.



Figura 32. Armadura exposta e corroída; cobrimento deficiente; desagregação; deslocamento.

V2A Baixo – Loja i



Figura 33. Viga V2AiBAIXO.



Figura 34. Armadura exposta e corroída; cobrimento deficiente; falha de concretagem.



Figura 35. Armadura exposta e corroída, cobrimento deficiente; falha de concretagem; desagregação.



Figura 36. Armadura exposta e corroída, cobrimento deficiente; falha de concretagem; desagregação.

V2A Cima – Loja *i*



Figura 37. Viga V2AiCIMA.



Figura 38. Desagregação; deslocamento; falhas de concretagem.



Figura 39. Desagregação; deslocamento; cobrimento deficiente; armadura exposta.



Figura 40. Desagregação; deslocamento.



Figura 41. Viga V2BiBAIXO.



Figura 42. Armadura exposta e corroída; cobrimento deficiente; falhas de concretagem.



Figura 43. Armadura exposta e corroída; cobrimento deficiente; falhas de concretagem; desagregação.

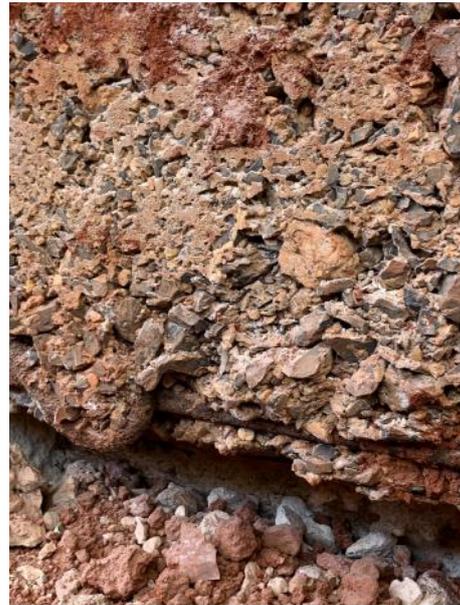


Figura 44. Armaduras expostas e corroídas; cobrimento deficiente; falhas na concretagem.



Figura 45. Viga V2BiCIMA.



Figura 46. Desagregação; deslocamento; falhas de concretagem.



Figura 47. Desagregação; deslocamento; falhas de concretagem.



Figura 48. Desagregação; deslocamento; falhas de concretagem.



Figura 49. Viga V3i.



Figura 50. Desagregação; armação solta; falhas de concretagem.



Figura 51. Armadura exposta e corroída; cobrimento deficiente falhas de concretagem.



Figura 52. Armadura exposta e corroída; cobrimento deficiente; falhas de concretagem.

V4 – Loja i



Figura 53. Viga V4i.



Figura 54. Armadura exposta e corroída; cobrimento deficiente; desagregação; deslocamento; falhas de concretagem.



Figura 55. Estrutura muito deteriorada; armadura exposta e corroída; cobrimento deficiente; falhas de concretagem.



Figura 56. Estrutura muito deteriorada; armadura exposta e corroída; cobrimento deficiente; falhas de concretagem.

V5 – Loja i



Figura 57. Viga V5i



Figura 58. Armadura exposta e corroída; cobrimento deficiente; desagregação; deslocamento; falhas de concretagem



Figura 59. Armadura exposta e corroída; cobrimento deficiente; falhas de concretagem



Figura 60. Armadura exposta e corroída; cobrimento deficiente; desagregação

1º ANDAR

P101 – Loja i



Figura 61. Pilar P101i.



Figura 62. Estrutura da base do pilar muito deteriorada; armadura exposta e corroída; cobrimento deficiente; desagregação.



Figura 63. Armadura exposta e corroída; cobrimento deficiente; falhas de concretagem.



Figura 64. Falhas de concretagem.



Figura 65. Pilar 102i.



Figura 66. Falhas de concretagem.



Figura 67. Armação exposta e corroída;
desagregação.



Figura 68. Armação exposta e corroída;
desagregação.



Figura 69. Pilar P103i.



Figura 70. Desagregação; falhas de concretagem.



Figura 71. Armadura exposta e corroída; cobrimento deficiente; falhas de concretagem.



Figura 72. Armadura exposta e corroída; cobrimento deficiente; falhas de concretagem.



Figura 73. Pilar P104i



Figura 74. Desagregação; falhas de concretagem



Figura 75. Desagregação; falhas de concretagem



Figura 76. Desagregação; falhas de concretagem



Figura 77. Pilar P105i.



Figura 78. Armadura exposta e corroída; cobrimento deficiente; falhas de concretagem.



Figura 79. Desagregação, deslocamento; falhas de concretagem.



Figura 80. Desagregação, deslocamento; falhas de concretagem.



Figura 81. Pilar P106i.



Figura 82. Desplacamento; falhas de concretagem.



Figura 83. Armadura exposta e corroída; cobrimento deficiente; desagregação; deslocamento; falhas de concretagem.



Figura 84. Armadura exposta e corroída; cobrimento deficiente; falhas de concretagem.

V101A – Loja *i*



Figura 85. Viga V101Ai.



Figura 86. Armadura exposta e corroída; cobrimento deficiente; desagregação; deslocamento; falhas de concretagem; manchas.



Figura 87. Armadura exposta e corroída; cobrimento deficiente; desagregação; deslocamento; falhas de concretagem; manchas.



Figura 88. Estrutura da parte inferior da viga encontra-se muito deteriorada; armadura exposta e corroída; cobrimento deficiente; desagregação; deslocamento; falhas de concretagem.



Figura 89. Viga V101Bi.



Figura 90. Armadura exposta; desagregação; deslocamento; falhas de concretagem.



Figura 91. Armadura exposta e corroída; desagregação; deslocamento; falhas de concretagem.



Figura 92. Estrutura da parte inferior da viga muito deteriorada; armadura exposta e corroída; cobrimento deficiente; desagregação; deslocamento; falhas de concretagem.

V102A – Loja i



Figura 93. Viga V102Ai.



Figura 94. Armadura exposta e corroída; cobrimento deficiente; desagregação; deslocamento; falhas de concretagem.



Figura 95. Desagregação; deslocamento; falhas de concretagem.



Figura 96. Estrutura da parte inferior da viga muito deteriorada; armadura exposta e corroída; cobrimento deficiente; falhas de concretagem.



Figura 97. Viga 102Bi.



Figura 98. Armadura exposta e corroída; cobrimento deficiente; falhas de concretagem.



Figura 99. Armadura exposta e corroída; cobrimento deficiente; falhas de concretagem.



Figura 100. Desagregação; deslocamento.

V103 – Loja i



Figura 101. Viga 103i.



Figura 102. Desagregação; deslocamento; falhas de concretagem.



Figura 103. Desagregação; deslocamento; falhas de concretagem.



Figura 104. Armadura exposta e corroída; cobrimento deficiente; desagregação; deslocamento; falhas de concretagem.



Figura 105. Viga 104i



Figura 106. Armadura exposta e corroída; cobrimento deficiente; desagregação; deslocamento; falhas de concretagem



Figura 107. Armadura exposta e corroída; cobrimento deficiente; desagregação; deslocamento; falhas de concretagem



Figura 108. Desagregação; deslocamento; falhas de concretagem

V105 – Loja i



Figura 109. Viga V105i



Figura 110. Ensaio de carbonatação realizado na viga, identificando que na área há carbonatação



Figura 111. Deslocamento



Figura 112. Deslocamento



Figura 113. Laje 101i.



Figura 114. Armadura exposta e corroída; cobrimento deficiente; desagregação; deslocamento falhas de concretagem.



Figura 115. Armadura exposta e corroída; cobrimento deficiente; desagregação; deslocamento falhas de concretagem.



Figura 116. Armadura exposta e corroída; cobrimento deficiente; desagregação; deslocamento falhas de concretagem.

L102 – Loja *i*



Figura 117. Laje L102i.



Figura 118. Armadura exposta e corroída; cobrimento deficiente; falhas de concretagem.



Figura 119. Armadura exposta e corroída; cobrimento deficiente; desagregação; deslocamento; falhas de concretagem.

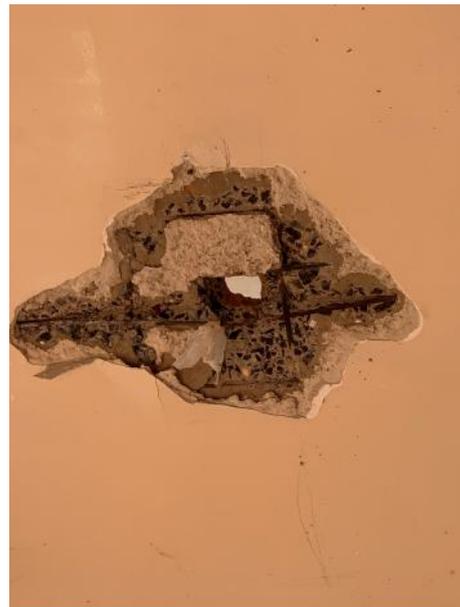


Figura 120. Armadura exposta e corroída; cobrimento deficiente; desagregação; deslocamento; falhas de concretagem.

