

**DISSERTAÇÃO**  
Bruna Barbosa de Lima

**Sistema de Revestimento em Mármore nas Fachadas do Congresso Nacional  
Cenários do Estado de Conservação**

Orientadora  
Vanda Alice Garcia Zanoni



Brasília | 2019

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

Dissertação de Mestrado

---

**SISTEMA DE REVESTIMENTO EM MÁRMORE NAS FACHADAS DO  
CONGRESSO NACIONAL –  
CENÁRIOS DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO**

**BRUNA BARBOSA DE LIMA**

**ORIENTADORA: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. VANDA ALICE GARCIA ZANONI**

BRASÍLIA  
2019



**BRUNA BARBOSA DE LIMA**

**SISTEMA DE REVESTIMENTO EM MÁRMORE NAS FACHADAS DO  
CONGRESSO NACIONAL –  
CENÁRIOS DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO**

Dissertação de Mestrado apresentada como requisito obrigatório para a obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília.

**Área de Concentração:**

Tecnologia, Ambiente e Sustentabilidade

**Linha de Pesquisa:**

Tecnologia de Produção do Ambiente Construído

**Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Vanda Alice Garcia Zanoni**

BRASÍLIA  
2019

**Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos pela autora:**

Bs                   Barbosa de Lima, Bruna  
                      Sistema de Revestimento em Mármore nas Fachadas do  
Congresso Nacional - Cenários do Estado de Conservação /  
Bruna Barbosa de Lima; orientador Vanda Alice Garcia  
Zanoni. -- Brasília, 2019.  
                      167 p.

                      Dissertação (Mestrado - Mestrado em Arquitetura e  
Urbanismo) -- Universidade de Brasília, 2019.

                      1. arquitetura moderna. 2. edifícios altos. 3. rocha de  
revestimento. 4. estado de conservação. 5. Palácio do  
Congresso Nacional. I. Garcia Zanoni, Vanda Alice, orient.  
II. Título.

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

LIMA, BRUNA BARBOSA. (2019). SISTEMA DE REVESTIMENTO EM MÁRMORE NAS FACHADAS DO CONGRESSO NACIONAL – CENÁRIOS DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 167p.

## **CESSÃO DE DIREITOS**

AUTOR: Bruna Barbosa de Lima

TÍTULO: Sistema de revestimento em mármore nas fachadas do Congresso Nacional – Cenários do estado de conservação.

GRAU: Mestre           ANO: 2019

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

Brasília, 30 de agosto de 2019  
Dissertação de Mestrado defendida no Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília e aprovada pela Banca Examinadora constituída pelos membros:

Orientadora  
**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Vanda Alice Garcia Zanoni**  
Departamento de Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo  
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – PPGFAU/UnB

Examinador Interno  
**Prof. Dr. Elcio Gomes da Silva**  
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – PPGFAU/UnB

Examinador Externo  
**Prof. Dr. Fernando Diniz Moreira**  
Departamento de Arquitetura e Urbanismo  
FAU/UFPE

Suplente  
**Prof. Dr. José Manoel M. Sánchez**  
Departamento de Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo  
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – PPGFAU/UnB

À minha filha Gabriela.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Miguel, meu companheiro de vida, pela compreensão e parceria. À minha família e rede de apoio: minha mãe, Soraia, meu pai, Pedro, minhas irmãs, Maíra e Luísa, meus sogros, Eny e Miguel.

À minha orientadora, Vanda, pelos ensinamentos valiosos, pela inspiração e a amizade.

Aos amigos que me acompanharam nesse percurso, alguns mais de perto e outros à distância, mas sempre presentes quando precisei.

Aos colegas da Câmara dos Deputados pelo suporte e pela disponibilidade de dialogar a respeito da pesquisa e dos trabalhos conduzidos, em especial Catharina Delgado, Artur Sampaio, Elcio Silva, Fábio Chamon e Paulo Barreiros, e àqueles que gentilmente cederam informações quanto à gestão do patrimônio edificado do órgão, Maurício Matta, Pedro Roriz, Eduardo Reis e Marisa Braga, entre outros. A Flávia Cohen e toda a equipe da SEPEC envolvida na gestão e nas atividades do Acervo de Plantas Técnicas da Câmara dos Deputados, cujas plantas digitalizadas foram um material de inestimável valor para o desenvolvimento da presente pesquisa.

Aos colegas do Senado Federal, que viabilizaram as prospecções e o fornecimento de amostras fundamentais à pesquisa, principalmente ao arquiteto Juliano Carvalho que esteve sempre disposto a esclarecer dúvidas quanto aos serviços de manutenção conduzidos pelo órgão.

À equipe do Instituto de Geologia da UnB, em especial ao professor Nilson Botelho e à pesquisadora Isabela, e todos os envolvidos nos ensaios laboratoriais realizados.

Aos colegas do ramo da Arquitetura e Engenharia que responderam ao questionário para balizar a seleção de critérios na formulação do método da pesquisa: Diogo Agum, Rodrigo Figueiredo, Jônatas Barreto, Orovaldo Colchon, Eduardo Reis, Ismael Guimarães, Shirley Vieira e Maria Cláudia Salomão e Matheus Leoni.

Reitero os agradecimentos à minha irmã Luísa pela revisão atenciosa dos meus escritos. E agradeço ainda a Andrea Lucena e Amanda Rodrigues pelo auxílio com a vetorização dos danos e a diagramação das pranchas anexas.

Agradecimentos especiais à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília e à comunidade universitária como um todo, incluindo professores, alunos, pesquisadores, servidores e técnicos, por possibilitar o desenvolvimento dessa e de tantas outras pesquisas, ainda que os obstáculos por vezes possam parecer de difícil transposição. Que a Universidade enquanto ambiente de pesquisa, educação e cultura nos permita ampliar os horizontes e vislumbrar futuros melhores.

## RESUMO

O edifício em altura se consolidou como tendência construtiva no século XX, período em que também se destacaram as pesquisas por materiais novos e materiais tradicionais aplicados de modos inovadores. A rocha, por exemplo, que historicamente foi adotada nas construções como blocos voltados ao suporte de cargas, passa a integrar sistemas de revestimento em placas esbeltas aplicados em grandes superfícies de fachada nos edifícios modernos. Alguns desafios estão associados à conservação desses sistemas, sobretudo no caso dos edifícios altos. Acresce que são ainda insuficientes os estudos com uma abordagem integrada, que considerem o sistema de revestimento e sua relação com as soluções arquitetônicas, estruturais e construtivas do edifício. Nesse sentido, propõe-se um método para avaliação e monitoramento contínuo do comportamento de edifícios altos modernos, focado na conservação dos sistemas de revestimento de fachada em placas de rocha. O método proposto adota procedimentos e técnicas no âmbito da visão integrada estabelecida, mediante a composição de um banco de dados e tendo como referencial metodológico a ISO BS EN 60812, fundamentada na análise de risco. Conceitos, critérios, técnicas e convenções gráficas foram sistematizados, e os procedimentos metodológicos organizados nas etapas de levantamento de dados, análise do estado de conservação e discussão dos resultados. O Palácio do Congresso Nacional foi escolhido para testar o método, por ser um exemplar de grande relevância no cenário da arquitetura moderna. Tombado pelo Iphan desde 2017, o edifício do Congresso Nacional apresenta o mármore branco como elemento fundamental na sua expressão arquitetônica, ao conferir destaque às empenas das torres de 29 andares, ao mesmo tempo em que dialoga com os demais palácios originais de Brasília. Em um primeiro momento, o sistema de mármore do Congresso Nacional foi levantado quanto ao percurso histórico, aos aspectos físico-materiais e às condições de exposição. Na fase de levantamento fotográfico, o uso do VANT para a captura de imagens permitiu o registro dos trechos mais altos das fachadas da torre sul, e os mapas de danos foram gerados a partir da documentação visual obtida. Como levantamentos complementares, foram realizadas prospecções e ensaios laboratoriais, possibilitando a caracterização do sistema e suas partes – contribuições relevantes desta pesquisa por sua originalidade. As análises petrográfica e mineralógica em amostra do mármore original mostraram a presença da forsterita (da família das olivinas), que confere maior dureza e resistência à rocha. Na etapa de análise, foram produzidos os quadros-resumo dos danos e níveis de risco, como síntese dos dados obtidos para cada trecho do sistema, permitindo elaborar as matrizes de criticidade e de correlação. Nessa etapa, foi comprovada uma tendência de distribuição uniforme dos danos, e de risco moderado no sistema de revestimento em mármore, sem evidenciar, contudo, diferenças significativas de degradação entre os trechos analisados. As análises estatísticas, por seu turno, demonstraram o envelhecimento do edifício como um todo e, sobretudo, o comportamento do edifício em altura, que tende a uma maior concentração de danos nos pavimentos mais altos. Evidenciaram também que a orientação solar é um fator decisivo para a degradação no sistema, já que a empena Noroeste apresentou maior criticidade de danos em comparação à Sudeste. Finalmente, foram identificadas as Zonas de Tensão como resultado da interação do sistema de revestimento de fachada com o sistema estrutural e de vedação, e ainda com a arquitetura do edifício – expressa pelo partido arquitetônico e sua materialidade. Em conclusão, os Cenários do Estado de Conservação apontaram que as soluções arquitetônicas e as práticas construtivas, tais como a vedação dupla da empena independente da estrutura, as juntas de movimentação e o mármore especial, favoreceram a durabilidade do sistema. Como cenários futuros, enfatiza-se a importância da gestão integrada do edifício e de ações planejadas de monitoramento, no escopo de um Plano de Conservação. Conclui-se que o método proposto, além de ter viabilizado a composição de um banco de dados sobre o estado de conservação atual das empenas da torre sul do Congresso Nacional, atende ao objetivo de investigar e monitorar o sistema de fachada estudado, favorecendo a compreensão do comportamento do edifício e o planejamento das ações relativas à sua conservação.

Palavras-chave: arquitetura moderna; edifícios altos; sistemas de fachada; rochas de revestimento; estado de conservação; Congresso Nacional.

## ABSTRACT

The high-rise building was a constructive trend in the 20th century, when stands out the researches on new materials and traditional materials applied in innovative ways. Rock, for example, which historically has been adopted in buildings as loadbearing blocks, now integrates cladding systems on large surfaces in modern buildings façades. Some challenges are associated with the conservation of these systems, especially in the case of the high-rise building regarding access for inspection. In addition, there are insufficient studies about its conservation with an integrated approach that consider the cladding system related to the building's architecture, structural and constructive solutions. In this sense, it was proposed a method for continuous assessment and monitoring of the behavior of modern high-rise buildings, focused on the conservation of stone cladding facades systems. The proposed method adopts procedures and techniques within the integrated vision established by means of the composition of a database, based on risk analysis (ISO BS EN 60812). The methodological procedures, according to concepts, criteria, techniques and graphic conventions systematized, were organized in three stages: data collection, state of conservation analysis and discussion of research findings. The Brazilian Palace of Congress was chosen to test the method, as an example of great relevance in the modern architecture scenario. Listed as architectural heritage by Iphan (Brazilian preservation institute) since 2017, the building of Brazilian Congress presents the white marble as a fundamental element in its architectural expression, giving prominence to the gables of the 29-story towers and, at the same time, unity in the context of the Palaces of Brasilia. At first, the marble cladding system of the Brazilian Palace of Congress was investigated regarding the historical narrative, the physical-material aspects and the conditions of exposure. In the photographic survey phase, the image capture by means of UAV allowed the surveying of the highest regions of the south tower's facades, and the elaboration of damage maps from the visual documentation obtained. As complementary surveys, prospects at external and internal points of the gables and laboratory tests carried out on marble samples allowed the characterization of the system and its parts – original and relevant contributions of this research. The petrographic and mineralogical analyzes of the original marble showed the presence of the forsterite mineral (from olivine family), which confers greater hardness and resistance to the rock. In the analysis stage, the summary-tables (*quadros-resumo*) of damage and risk scale presented a synthesis of the data obtained for each region of the system studied, allowing the elaboration of the criticality and correlation matrices. At this stage, a tendency of uniform distribution of damage and moderate risk in the marble cladding system were verified, without evidence, however, of significant differences of degradation between the analyzed regions. Statistical analyzes, in turn, demonstrated the aging of the building as a whole and, above all, the behavior of the tall buildings, which tend to concentrate damage to the higher floors. They also showed that solar orientation is a decisive factor for the system degradation, since the gable Northwest presented greater criticality of damage when compared to the Southeast. Finally, Stress Zones were identified as a result of the interaction of the facade cladding system with the structural and the sealing masonry systems, and with the building architecture as well – expressed by the architectural design and its materiality. In conclusion, the State of Conservation Scenarios pointed out that architectural solutions and construction practices, such as the structure-independent gable double sealing, movement joints and special marble, favored the system's durability. As future scenarios, it is emphasized the importance of integrated building management and planned monitoring actions within the scope of a Conservation Plan. It concludes that the proposed method besides making possible the composition of a database about the current state of conservation of the Brazilian Palace of Congress South tower's gables, serves the purpose of investigation and monitoring for the studied facade system, favoring the understanding of the building behavior and the planning of actions related to its conservation.

Keywords: modern architecture; high-rise buildings; façade systems; marble cladding systems; state of conservation; Brazilian Palace of Congress.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Palácio do Congresso Nacional em Brasília, 1958-1960, Oscar Niemeyer. ....	4
Figura 1.2: Diagrama que representa o enquadramento da pesquisa.....	9
Figura 1.3: Estrutura da dissertação em capítulos.....	10
Figura 2.1: Edifício do Secretariado das Nações Unidas em Nova Iorque, 1949-1959, Wallace Harrison e equipe, da qual fez parte Oscar Niemeyer. ....	18
Figura 2.1(a) Vista do edifício na época de sua construção .....	18
Figura 2.1(b) Detalhe do sistema de revestimento em mármore, associado a solução de aquecimento por serpentina .....	18
Figura 2.2: Palazzo Montecatini em Milão, 1937-1938, Gio Ponti .....	19
Figura 2.2(a) Vista da fachada atualmente. ....	19
Figura 2.2(b) Detalhe do sistema de revestimento em rocha .....	19
Figura 2.3: Soluções de fixação para sistemas de revestimento em placas de rocha, manuais do séc. XX... ..	20
Figura 2.3(a) Adoção de bloco ou placa de maior espessura para apoio a cada pavimento, de 1939. ....	20
Figura 2.3(b) Indicação de arames e sulcos no tardo da placa de rocha, de 1964. ....	20
Figura 2.3(c) Detalhes retirados do Manuale dell'Architetto, 1962.....	20
Figura 2.4: Fachada cortina em placas de mármore e estrutura em aço da Igreja de St Pius em Meggen, 1966, Franz Fueg. ....	21
Figura 2.4(a) Vista externa do sistema de fachada. ....	21
Figura 2.4(b) Vista interna e a passagem de luz natural através das placas de mármore.....	21
Figura 2.4(c) Detalhe do sistema de revestimento em mármore; d) detalhe do pilar de aço que estrutura as placas. ....	21
Figura 2.5: Finlândia Hall em Helsinque, 1967-1971, Alvar Aalto. ....	23
Figura 2.5(a) Deformação côncava e convexa de placas de mármore instaladas em momentos distintos, 2001. ....	23
Figura 2.5(b) Protótipos adotados para investigar as características físico-mecânicas das variedades de mármore. ....	23
Figura 2.6: Palácio Gustavo Capanema (antigo MES) no Rio de Janeiro, 1945, projeto desenvolvido por Lúcio Costa, Oscar Niemeyer, Afonso Reidy, entre outros, e Le Corbusier como consultor. ....	26
Figura 2.6(a) Sistema de revestimento em placa de rocha na platibanda do auditório. ....	26
Figura 2.6(b) Fissura contínua preenchida com mastic e acabamento final com pintura mimetizando a rocha. ....	26
Figura 2.7: Edifício do IRB no Rio de Janeiro, 1941-1944, MMM Roberto .....	27
Figura 2.7(a) Vista da fachada. ....	27
Figura 2.7(b) Injeção do produto adesivo Compound para consolidação das placas. ....	27
Figura 2.8: Panteão Tancredo Neves em Brasília, 1986, Oscar Niemeyer. ....	29
Figura 2.8(a) Destacamento de placa e armadura exposta. ....	29
Figura 2.8(b) Mancha de oxidação devido à corrosão dos elementos de fixação e ancoragem das placas.....	29
Figura 2.9: Sistema de revestimento em mármore nas torres do Palácio do Congresso Nacional em Brasília, 1960, Oscar Niemeyer. ....	30
Figura 2.9(a) Paginação das placas, redesenho sobre ortomagem de trechos da fachada. ....	30
Figura 2.9(b) Vista das empenas Noroeste. ....	30
Figura 2.10: Sistema de revestimento aderido.....	35
Figura 2.10(a): Exemplo de destacamento de placa de rocha fixada ao substrato com argamassa de assentamento... ..	35
Figura 2.10(b): Desenho esquemático das camadas.....	35
Figura 2.11: Sistema não aderido: seção típica de ancoragem por pino para sistema de revestimento em rocha. ....	36
Figura 3.1: Métodos de análise dos modos de falha (FMEA) e sua criticidade (FMECA). ....	63
Figura 3.2: Matriz de Criticidade.....	64
Figura 3.3: Fluxograma do método proposto. ....	65
Figura 3.4: Fluxograma para a etapa de Levantamento Fotográfico. ....	66
Figura 3.5: Fluxograma da etapa de Análise do Estado de Conservação.....	73
Figura 3.6: Classificação de severidade dos danos .....	74
Figura 3.7: Exemplo de malha de 25x25cm para a quantificação dos danos. ....	75
Figura 3.7(a) Ortoimagem. ....	75

Figura 3.7(b) Representação gráfica do mapa de danos com a malha sobreposta.....	75
Figura 3.8: Diagramação sugerida para quadro-resumo. ....	77
Figura 3.9: Exemplo de matriz de criticidade. ....	78
Figura 3.10: Exemplo de matriz de correlação entre trechos e danos.....	78
Figura 3.11: Diagrama das variáveis analíticas para o delineamento dos Cenários do Estado de Conservação.....	80
Figura 4.1: Vista aérea do Palácio do Congresso Nacional, situado ao final do Eixo Monumental e da Esplanada dos Ministérios de Brasília.....	82
Figura 4.2: Palácio do Congresso Nacional - Implantação. ....	83
Figura 4.3: Torres do Congresso Nacional. ....	84
Figura 4.3(a) Vista a partir do espelho d'água, a Sudeste. ....	84
Figura 4.3(b) vista das fachadas internas de esquadrias e das passarelas de ligação entre as torres. ....	84
Figura 4.4: Planta do pavimento-tipo (andares 2-10, 13, 17, 19, 20, 22-26) das torres anexas do Congresso Nacional.....	85
Figura 4.5: Construção das torres anexas do Congresso Nacional, 1958. ....	87
Figura 4.5(a) Detalhe das vigas e pilares de aço. ....	87
Figura 4.5(b) Vista do esqueleto de aço a partir da rampa de acesso à cobertura plataforma (cobertura do Edifício Principal) .....	87
Figura 4.6: Serviços de assentamento das placas de mármore das torres anexas, 1959. ....	89
Figura 4.7: Fotos de momentos históricos do Congresso Nacional. ....	91
Figura 4.7(a) Cisnes no espelho d'água, 1984. ....	91
Figura 4.7(b) Parte frontal, ainda sem o espelho d'água, 1993. ....	91
Figura 4.7(c) id.(b), com destaque para as juntas de movimentação marcadas na torre Sul, à direita. ....	91
Figura 4.8: Planta e Elevação de trecho da Torre Sul, fachada Noroeste.....	94
Figura 4.9: Detalhe do sistema de revestimento de mármore no trecho de embasamento das torres do Congresso Nacional. . ....	96
Figura 4.9(a) Planta do subsolo e corte AA. ....	96
Figura 4.9(b) Redesenho.....	96
Figura 4.10: Fotos do levantamento de campo do sistema de revestimento em mármore das Torres do Congresso Nacional. ....	96
Figura 4.11: Comparação entre imagens obtidas com o VANT DJI Phantom 3 Pro e o 4 Pro. ....	99
Figura 4.12: Levantamento fotográfico por meio de VANT na empena Noroeste da torre Sul do Congresso Nacional.....	101
Figura 4.13: Planejamento das linhas de voo para a Fachada Sudeste da Torre Sul.....	101
Figura 4.14: Planta com as distâncias estabelecidas para tomadas fotográficas. ....	102
Figura 4.15: Teste de voo e captura de imagens. ....	103
Figura 4.15(a) fotografias tiradas em três pontos do embasamento da empena Noroeste. . ....	103
Figura 4.15(b) Ortoimagem produzida mediante processamento digital por nuvem de pontos. ....	103
Figura 4.16: Etapas para geração da ortorectificação com o Photoscan. ....	104
Figura 4.16(a) Construção da nuvem de pontos densa. ....	104
Figura 4.16(b) Modelo digital de elevação.....	104
Figura 4.16(c) Aplicação da textura. ....	104
Figura 4.17: Tela do Autocad na fase de mapeamento de danos. ....	106
Figura 4.18: Prospecção 01. ....	108
Figura 4.18(a) falhas na argamassa de assentamento. ....	108
Figura 4.18(b) arremate com a esquadria.....	108
Figura 4.19: Prospecções 02 e 05. ....	109
Figura 4.19(a) Arame de fixação de aço galvanizado 1/8, outubro de 2018. ....	109
Figura 4.19(b) Camada de impermeabilização em trecho junto ao espelho d'água, abril de 2019.....	109
Figura 4.20: Prospecção 06 a partir de ponto interno da empena Noroeste, torre Sul, novembro de 2018. ....	109
Figura 4.20(a) Foto no vão entre a parede dupla, com destaque para o afastamento do pilar com relação à parede externa. ....	109

Figura 4.20(b) Foto a partir do ambiente interno, com destaque para a estrutura de aço do pilar. ....	109
<b>Figura 4.21: Ensaios laboratoriais. ....</b>	<b>111</b>
Figura 4.21(a) Amostras 1, 2 e 3 ensaiadas. ....	111
Figura 4.21(b) Análise pela lupa binocular. ....	111
<b>Figura 4.22: Produtos dos ensaios laboratoriais para a amostra 01. ....</b>	<b>111</b>
Figura 4.22(a) Imagem da composição mineral. ....	111
Figura 4.22(b) EDS da calcita. ....	111
Figura 4.22(c) EDS da dolomita. ....	111
<b>Figura 4.23: Ensaios laboratoriais para a amostra 01. ....</b>	<b>112</b>
Figura 4.23(a) Imagem da composição mineralógica (o ponto 003 corresponde à forsterita) ....	112
Figura 4.23(b) EDS da forsterita (olivina). ....	112
<b>Figura 4.24: Imagens do relevo da superfície da amostra 02. ....</b>	<b>113</b>
Figura 4.24(a) Face interna. ....	113
Figura 4.24(b) Face externa. ....	113
<b>Figura 4.25: Detalhe do sistema de revestimento em mármore. ....</b>	<b>114</b>
Figura 4.25(a) Planta. ....	114
Figura 4.25(b) Seção vertical. ....	114
<b>Figura 4.26: Exemplo de prancha de quantitativos com a malha sobreposta para o trecho 03 da fachada Noroeste. ....</b>	<b>117</b>
<b>Figura 4.27: Quadro-resumo para o Trecho 3 da Fachada Noroeste. ....</b>	<b>118</b>
<b>Figura 4.28: Matrizes de Criticidade para a Fachada Noroeste, danos D1.2, D1.3, D1.4. ....</b>	<b>120</b>
<b>Figura 4.29: Matrizes de Criticidade para a Fachada Noroeste, danos D1.5, D2.2, D4.1. ....</b>	<b>121</b>
<b>Figura 4.30: Matrizes de Criticidade para a Fachada Noroeste, danos D5.1, D6.1, D6.2. ....</b>	<b>122</b>
<b>Figura 4.31: Matrizes de Criticidade para a Fachada Noroeste, danos D6.3, D8.1, D9.1, D9.2. ....</b>	<b>123</b>
<b>Figura 4.32: Matrizes de Criticidade para a Fachada Sudeste, danos D1.2, D1.3, D1.4. ....</b>	<b>124</b>
<b>Figura 4.33: Matrizes de Criticidade para a Fachada Sudeste, danos D1.5, D2.2, D4.1. ....</b>	<b>125</b>
<b>Figura 4.34: Matrizes de Criticidade para a Fachada Sudeste, danos D5.1, D6.1, D6.2. ....</b>	<b>126</b>
<b>Figura 4.35: Matrizes de Criticidade para a Fachada Sudeste, danos D6.3, D8.2, D9.1, D9.2. ....</b>	<b>127</b>
<b>Figura 4.36: Matriz de correlação entre trechos e danos para a Fachada Noroeste. ....</b>	<b>128</b>
<b>Figura 4.37: Matriz de correlação entre trechos e danos para Fachada Sudeste. ....</b>	<b>129</b>
<b>Figura 4.38: Matrizes de correlação entre trechos e danos para as bordas da fachada Noroeste. ....</b>	<b>130</b>
Figura 4.38 (a) Borda Nordeste. ....	130
Figura 4.38(b) Borda Sudoeste. ....	130
<b>Figura 4.39: Matrizes de correlação entre trechos e danos para as bordas da fachada Sudeste. ....</b>	<b>131</b>
Figura 4.39(a) Borda Sudoeste. ....	131
Figura 4.39(b) Borda Nordeste. ....	131
<b>Figura 4.40: Matrizes de correlação entre trechos e intervenções. ....</b>	<b>132</b>
Figura 4.40(a) Fachada Noroeste. ....	132
Figura 4.40(b) Fachada Sudeste. ....	132
<b>Figura 4.41: Agrupamentos Gr_1 e Gr_2, exemplificados para a Fachada Noroeste. ....</b>	<b>133</b>
<b>Figura 4.42: Histograma da Classe de Risco para as Fachadas Noroeste e Sudeste. ....</b>	<b>134</b>
<b>Figura 4.43: Boxplot da Classe de Risco por Trecho, Fachadas Noroeste e Sudeste. ....</b>	<b>135</b>
<b>Figura 4.44: Boxplot da Classe de Risco por Fachada. ....</b>	<b>135</b>
<b>Figura 4.45: Boxplot da Classe de Risco por Tipo de Dano para a Fachada Noroeste. ....</b>	<b>136</b>
<b>Figura 4.46: Boxplot da Classe de Risco por Tipo de Dano para a Fachada Sudeste. ....</b>	<b>136</b>
<b>Figura 4.47: Boxplot da Classe de Risco por Trechos (Agrupamento Gr_1), Fachadas Noroeste e Sudeste. ....</b>	<b>137</b>
<b>Figura 4.48: Mapa de Correlação entre os Tipos de Danos para a Fachada Noroeste. ....</b>	<b>138</b>
<b>Figura 4.49: Mapa de Correlação entre os Tipos de Danos para a Fachada Sudeste. ....</b>	<b>139</b>
<b>Figura 4.50: Histograma da Classe de Risco nas Bordas, independente da fachada (Análise trecho a trecho). ....</b>	<b>140</b>
<b>Figura 4.51: Histograma da Classe de Risco na borda NE da Fachada Noroeste (Análise trecho a trecho). ....</b>	<b>140</b>
<b>Figura 4.52: Histograma da Classe de Risco na borda SO da Fachada Noroeste (Análise trecho a trecho). ....</b>	<b>141</b>
<b>Figura 4.53: Histograma da Classe de Risco na borda NE da Fachada Sudeste (Análise trecho a trecho). ....</b>	<b>141</b>
<b>Figura 4.54: Histograma da Classe de Risco na borda SO da Fachada Sudeste (Análise trecho a trecho). ....</b>	<b>141</b>

Figura 4.55: Boxplot da Classe de Risco por Trecho (Análise trecho a trecho) – Bordas SO e NE. ....	142
Figura 4.56: Boxplot da Classe de Risco por trecho (Agrupamento Gr_1) – Bordas SO e NE .....	142

## LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1: Especificações técnicas das câmeras fotográficas. ....	100
Tabela 4.2: Teste de Kruskal Wallis de comparação das Classes de Risco entre Fachadas e Trechos.....	137
Tabela 4.3: Anova da Classe de Risco por Trecho e Fachada (Agrupamento Gr_1). ....	138
Tabela 4.4: Anova da Classe de Risco Trecho e Borda nas Fachadas Noroeste e Sudeste.....	143
Tabela 4.5: Teste de Tukey para a diferença de trechos nas bordas. ....	143

## LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1: Requisitos de desempenho para mármore e granitos .....	34
Quadro 2.2: Soluções para sistemas de revestimento não aderido em placas de rocha.....	37
Quadro 2.3: Ensaios laboratoriais para sistemas de revestimento em rocha.....	41
Quadro 2.4: Agentes de degradação das rochas.....	43
Quadro 2.5: Manifestações patológicas nos sistemas de revestimento em rocha.....	47
Quadro 2.6: Convenções gráficas para danos em rocha na bibliografia.....	53
Quadro 3.1: Classificação dos Danos (D) no sistema de revestimento em mármore.....	68
Quadro 3.2: Classificação das Intervenções (I) no sistema de revestimento em mármore.....	70
Quadro 3.3: Representação gráfica para intervenções e manifestações patológicas no sistema de revestimento em mármore.....	71
Quadro 3.4: Critérios de classificação do Índice de Severidade da falha (S) .....	74
Quadro 3.5: Critérios de classificação do Índice de Ocorrência da falha (O) .....	75
Quadro 3.6: Exemplo de tabela com Classe de Risco (CR) .....	76
Quadro 4.1: Cronograma de Obras para as Torres do Congresso Nacional. ....	87
Quadro 4.4: Prospecções nas Torres anexas do Congresso Nacional. ....	107
Quadro 4.5: Identificação e descrição das amostras de mármore do sistema de revestimento de mármore das fachadas do Congresso Nacional.....	110
Quadro 4.6: Resultados dos ensaios laboratoriais para as amostras 1, 2 e 3.....	113
Quadro 4.7: Componentes do sistema de revestimento em mármore do Congresso Nacional <sup>1</sup> .....	115

## LISTA DE ABREVIATÕES

<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>APT</b>	Association for Preservation Technology International
<b>CD</b>	Câmara dos Deputados
<b>Cedi</b>	Centro de Documentação e Informação (Câmara dos Deputados)
<b>Cetem</b>	Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) do MCTI
<b>Cproj</b>	Coordenação de Projetos de Arquitetura (Câmara dos Deputados)
<b>Detec</b>	Departamento Técnico da Câmara dos Deputados
<b>Docomomo</b>	International Working Party for Documentation and Conservation of Buildings, Sites and Neighbourhoods of the Modern Movement
<b>FMEA</b>	Failure Mode Effects Analysis
<b>FMECA</b>	Failure Mode, Effects and Criticality Analysis
<b>ICCROM</b>	The International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property
<b>Icomos</b>	International Council of Monuments and Sites

<b>IG</b>	Instituto de Geologia
<b>Iphan</b>	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
<b>ISCS</b>	International Scientific Committee for Stone
<b>ONU</b>	Organização das Nações Unidas
<b>MCTI</b>	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
<b>MES</b>	Ministério da Educação e Saúde
<b>Novacap</b>	Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil
<b>Sinfra</b>	Secretaria de Infraestrutura (Senado Federal)
<b>SF</b>	Senado Federal
<b>SRONE</b>	Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste
<b>STF</b>	Supremo Tribunal Federal
<b>UnB</b>	Universidade de Brasília
<b>Unesco</b>	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.2	PROBLEMATIZAÇÃO E QUESTÃO DE PESQUISA	2
1.3	JUSTIFICATIVA	3
1.4	OBJETIVOS	5
1.4.1	OBJETIVO GERAL	5
1.4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
1.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	5
1.6	ENQUADRAMENTO	6
1.7	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	9
<b>2</b>	<b>SISTEMAS DE REVESTIMENTO EM PLACAS DE ROCHA NA ARQUITETURA MODERNA</b>	<b>12</b>
2.1	ARQUITETURA MODERNA E SUA CONSERVAÇÃO	12
2.2	OS SISTEMAS INOVADORES DE FACHADA NA ARQUITETURA MODERNA	14
2.3	EVOLUÇÃO DA TÉCNICA DE APLICAÇÃO DA ROCHA NA ARQUITETURA	16
2.4	O CONTEXTO BRASILEIRO: SISTEMAS DE REVESTIMENTO EM ROCHA NA ARQUITETURA MODERNA	25
2.5	DURABILIDADE E CONSERVAÇÃO DOS SISTEMAS DE REVESTIMENTO EM ROCHA	31
2.5.1	O MATERIAL ROCHOSO	31
2.5.2	SISTEMAS DE REVESTIMENTO DE ROCHA EM PLACAS	35
2.5.3	REQUISITOS DE DESEMPENHO DOS SISTEMAS DE REVESTIMENTO EM ROCHA	39
2.5.4	ENSAIOS <i>IN SITU</i> E LABORATORIAIS	40
2.5.5	AGENTES E MECANISMOS DE DEGRADAÇÃO	43
2.5.6	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS E CONVENÇÕES GRÁFICAS DE IDENTIFICAÇÃO DE DANOS	46
2.5.7	INSPEÇÃO DE FACHADA E MANUTENÇÃO	56
2.6	CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO	60
<b>3</b>	<b>MÉTODO PROPOSTO</b>	<b>62</b>
3.1	REFERENCIAL TEÓRICO METODOLÓGICO: FMEA E FMECA	62
3.2	APRESENTAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO	64
3.2.1	ETAPA 1: LEVANTAMENTO DE DADOS – IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO	65
3.2.2	ETAPA 2: ANÁLISE DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO	73
3.2.3	ETAPA 3: DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	79
<b>4</b>	<b>CONGRESSO NACIONAL: APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO</b>	<b>81</b>
4.1	LEVANTAMENTO DE DADOS	81
4.1.1	APRESENTAÇÃO DO ESTUDO DE CASO: O PALÁCIO DO CONGRESSO NACIONAL	81
4.1.2	PESQUISA DO HISTÓRICO	86
4.1.3	LEVANTAMENTO FÍSICO	93
4.1.4	LEVANTAMENTO FOTOGRÁFICO	99
4.1.5	LEVANTAMENTOS COMPLEMENTARES – PROSPECÇÕES	106
4.1.6	LEVANTAMENTOS COMPLEMENTARES – ENSAIOS LABORATORIAIS	110
4.1.7	CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE REVESTIMENTO DE MÁRMORE	114
4.2	ANÁLISE DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO	115
4.2.1	ANÁLISE POR TRECHO	116

4.2.2	MATRIZES DE CRITICIDADE.....	119
4.2.3	MATRIZES DE CORRELAÇÃO .....	128
4.2.4	TESTES ESTATÍSTICOS.....	132
<b>4.3</b>	<b>DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>143</b>
<b>4.3.1</b>	<b>IDENTIFICAÇÃO DAS ZONAS DE TENSÃO .....</b>	<b>147</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>149</b>
<b>5.1</b>	<b>SOBRE OS OBJETIVOS E A QUESTÃO DE PESQUISA.....</b>	<b>149</b>
<b>5.2</b>	<b>DELINEAMENTO DOS CENÁRIOS DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO .....</b>	<b>150</b>
<b>5.3</b>	<b>CONTRIBUIÇÕES DA PESQUISA .....</b>	<b>151</b>
<b>5.4</b>	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>151</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>153</b>

## **APÊNDICES**

<b>APÊNDICE A:</b>	<b>EXEMPLO DE FICHA DE IDENTIFICAÇÃO DE DANOS .....</b>	<b>161</b>
<b>APÊNDICE B:</b>	<b>QUESTIONÁRIO DE DELIMITAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE CRITICIDADE .....</b>	<b>162</b>
<b>APÊNDICE C:</b>	<b>CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO DO ÍNDICE "O" PARA AS BORDAS .....</b>	<b>165</b>
<b>APÊNDICE D:</b>	<b>MÉDIAS PARA A CLASSE DE RISCO ADOTADAS NAS ANÁLISES ESTATÍSTICAS .....</b>	<b>166</b>

## **ANEXOS**

<b>ANEXO A:</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DO MÁRMORE BRANCO ITALVA .....</b>	<b>167</b>
-----------------	--	------------

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O edifício em altura se consolidou como tendência construtiva no século XX, impulsionada pelos avanços no cálculo de estruturas e fundações, a invenção do elevador e as pesquisas envolvendo os materiais de construção (FICHER, 1991). A arquitetura desse período é caracterizada por sistemas pioneiros, seja devido à adoção de novos materiais e componentes oriundos da produção industrial ou em razão do uso de materiais tradicionais aplicados de modos inovadores (MACDONALD, 1996).

As placas esbeltas de rochas revestindo grandes superfícies de fachadas exemplificam os sistemas inovadores do período e a mudança no paradigma construtivo quanto ao uso desse material, viabilizada pelas novas técnicas de beneficiamento e de ancoragem à base. A rocha, um dos materiais mais antigos na prática construtiva, era até então adotada predominantemente em vedações, colunas e alicerces na forma de blocos, de uso associado a elementos maciços voltados ao suporte de cargas nas edificações.

Esses sistemas de revestimento estão presentes em exemplares importantes da arquitetura moderna nacional, a exemplo da sede da Associação Brasileira de Imprensa e o Ministério da Educação e Saúde, ambos construídos no Rio de Janeiro entre 1935 e 1945, além dos Palácios de Brasília, que emergem no início da segunda metade do século XX sob o discurso do pioneirismo e da inovação no cenário de construção da nova capital do país.

A partir da década de 1970, ganham força as discussões sobre o reconhecimento e a conservação do estoque de edifícios modernos, até então considerados eternos e comumente tratados como se prescindissem de manutenção, o que impactou o modo como envelheciam. Segundo Prudon (2008), os desafios na preservação da arquitetura moderna perpassam questões afeitas à materialidade e à funcionalidade, e incluem a falta de rotinas de manutenção e a dificuldade de aceitação da pátina.

Moreira (2011) relata a prática ainda comum na América Latina de se intervir em um edifício apenas quando seus sistemas atingem níveis críticos de degradação, o que invariavelmente resulta em ações de restauração tardias e mais radicais. Macdonald (2009) alerta para a possibilidade de esse quadro desafiar princípios fundamentais da conservação, como a intervenção mínima e a reversibilidade. Tais questões se intensificam nos sistemas de revestimento das fachadas modernas quando os partidos arquitetônicos próprios do período podem oferecer obstáculos à manutenção, caso dos edifícios em altura.

Com a aplicação das rochas como placas de espessura cada vez mais reduzida em sistemas de revestimento de fachada, tornam-se recorrentes manifestações patológicas específicas que

requerem investigação quanto aos agentes, às causas e aos processos de degradação instalados. Poretti (2003) e Barelli et al. (2003) mencionam problemas como fissuras, descolamento e destacamento de placas decorrentes da solução comumente adotada na década de 1930, que consistia no uso de grandes placas de mármore assentadas com o mínimo de juntas, e a substituição da ancoragem tradicional por argamassa e poucos grampos.

Oliveira (2016) afirma haver um distanciamento dos arquitetos com relação ao conhecimento das técnicas de aplicação da rocha nos edifícios, bem como da ciência de conservação relativa ao material rochoso. A revisão bibliográfica sobre o tema da conservação da rocha de revestimento evidencia a predominância de estudos sob o prisma dos processos químicos de alteração do material, tanto no campo da conservação do patrimônio histórico quanto na Geologia, sendo comum também a ênfase na pedra de cantaria, como é possível observar em Haas e Ribeiro (2012) e Oliveira (2011; 2016).

Nesse sentido, nota-se uma lacuna existente na bibliografia quanto à rocha no âmbito da arquitetura moderna, ou seja, estudos que associem as medidas para permanência do patrimônio arquitetônico moderno e a conservação desses sistemas de revestimento, particularmente para os edifícios altos.

## **1.2 PROBLEMATIZAÇÃO E QUESTÃO DE PESQUISA**

Apesar da relevância da rocha na arquitetura moderna, notam-se lacunas nos estudos que tratam de sua conservação, com dois enfoques predominantes: a pedra de cantaria do patrimônio histórico tradicional e a abordagem do material rochoso de modo isolado do sistema, geralmente a partir dos processos químicos de degradação. Observa-se, sobretudo, a falta de uma abordagem integrada que considere o sistema de revestimento de fachada e sua relação com o sistema estrutural, de vedação e demais elementos de interface, ou seja, com a arquitetura do edifício, que inclui as decisões projetuais, o partido arquitetônico e a sua materialidade.

Outro ponto observado consiste na ausência de uma abordagem metodológica voltada à conservação desses sistemas de fachada, ou seja, que sistematize os aspectos relativos à durabilidade desses sistemas, quais sejam: as características técnicas, as camadas e os componentes, bem como seus requisitos de desempenho; as condições de exposição atuantes; os agentes e mecanismos de degradação instalados ou que podem vir a ocorrer; e as manifestações patológicas resultantes.

Em suma, um dos problemas enfrentados nas ações de conservação para os sistemas de revestimento em placas de rocha nas fachadas de edifícios altos modernos consiste na falta de um pleno entendimento das características técnicas do sistema, dos processos de degradação (instalados e potenciais) e dos danos que deles resultam, e, por fim, das condições de uso e

exposição – o contexto em que o sistema se encontra. Desse modo, a presente pesquisa foi motivada pela seguinte questão: “Como investigar e monitorar o estado de conservação dos sistemas de revestimento em placas de rocha nas fachadas de edifícios altos modernos?”

### 1.3 JUSTIFICATIVA

Observa-se na gestão do patrimônio edificado uma cultura que prioriza a manutenção corretiva à preventiva. A realização de intervenções apenas quando se chega a níveis críticos de degradação resulta em modificações mais radicais nos edifícios e seus sistemas. Como solução, é necessário estabelecer procedimentos de monitoramento e planejar ações preventivas com vistas à conservação das fachadas nos edifícios altos modernos, em que pese a relevância dessa tipologia no panorama arquitetônico do período.

Os sistemas de fachada estão mais sujeitos à ação dos agentes climáticos de degradação, além de serem mais sensíveis às questões patrimoniais, uma vez que configuram o aspecto externo da obra (o que se agrava no caso de edifícios tombados). Acresce que, no caso da edificação em altura, há maior dificuldade em se acessar os trechos mais altos das fachadas no escopo das atividades de inspeção e monitoramento.

Soma-se a isso a relevância que a rocha de revestimento em sistemas de fachada adquire no contexto da arquitetura moderna, em escala internacional e nacional. O material rochoso por si só agrega certa complexidade à conservação do sistema de revestimento devido à grande variação nas características e no comportamento em função do tipo e jazida de origem. Além disso, a bibliografia carrega conflitos e terminologias dúbias a respeito de sua conservação. Não obstante, identificou-se a necessidade de se pensar a conservação da rocha de modo a considerar o sistema, mediante o entendimento das condições de exposição e dos processos de degradação, mas considerando também o seu contexto no edifício, influenciado pelo partido arquitetônico e os demais sistemas e elementos de interface.

Como resposta às lacunas e aos desafios identificados, é proposto um método de investigação e monitoramento do estado de conservação em sistemas de revestimento em rocha, sendo eleito como estudo de caso para a sua aplicação o Palácio do Congresso Nacional, mais especificamente suas torres. A escolha do edifício é motivada por vários fatores: a relevância no contexto da arquitetura moderna e o reconhecimento como patrimônio artístico nacional<sup>1</sup>, o enquadramento na tipologia de edifício em altura, o papel fundamental dos revestimentos de mármore na expressão

---

<sup>1</sup> O palácio é protegido por uma série de instrumentos legais, tendo sido tombado pelo Iphan em 2017 na escala do edifício. Na escala urbana, é notadamente um elemento do conjunto urbanístico de autoria de Lúcio Costa, reconhecido como Patrimônio da Humanidade pela Unesco em 1987.

de sua arquitetura, e a ausência de estudos aprofundados e sistematizados quanto à conservação do sistema em questão, inclusive frente aos parâmetros normativos atuais.

O Congresso Nacional se destaca como monumento de grande relevância enquanto marco na construção de Brasília. Seu partido arquitetônico consiste fundamentalmente na plataforma horizontal, sobre a qual repousam as duas cúpulas, e as lâminas verticais que conformam as torres anexas de 29 andares (Figura 1.1). Ficher e Schlee (2010, p. 67) destacam a relevância do edifício no contexto do Eixo Monumental de Brasília, no que se refere aos valores urbanístico e simbólico a ele atribuídos:

*(...) trata-se de edificação-chave na concepção espacial e simbólica do Eixo Monumental de Brasília e uma das mais importantes obras do arquiteto [Oscar Niemeyer]. Simultaneamente simples e revolucionária, a concepção plástica do Congresso Nacional é um exercício na busca do equilíbrio, tanto entre a plataforma horizontal e os dois volumes que afloram sobre ela como entre esse corpo relativamente baixo e as duas lâminas verticais que abrigam sua administração (Anexo I) (...)*



Figura 1.1: Palácio do Congresso Nacional em Brasília, 1958-1960, Oscar Niemeyer.  
Foto: Autora, 2017.

Às formas arquitetônicas, concebidas por Niemeyer e descritas pelas estruturas de Joaquim Cardozo, estão associados sistemas que lhes conferem a feição externa a ser preservada, entre os quais se destacam os sistemas de revestimento em placas de mármore branco assentadas com juntas alternadas e as esquadrias modulares de vidro e caixilhos metálicos. Os grandes panos revestidos de mármore nas empenas das torres do palácio, cuja materialidade e estereotomia<sup>2</sup> são um testemunho da produção arquitetônica da época de sua realização, conferindo o branco de destaque e, ao mesmo tempo, coesão no contexto dos terraços e demais monumentos da Praça dos Três Poderes.

<sup>2</sup> A estereotomia (do grego *stereos*, sólido, e *tome*, corte) pode ser definida como a arte de dividir e cortar com rigor os materiais de construção (FRAMPTON, 2001). O termo é comumente associado ao estudo das formas de corte das pedras, uma das técnicas tradicionais relacionadas por Semper (AMARAL, 2009).

Parte-se da premissa que é possível estabelecer as bases para a conservação do sistema de revestimento em mármore das fachadas das torres do Congresso Nacional, mediante o levantamento das camadas do sistema e das funções desempenhadas, o conhecimento das intervenções históricas (no que afeta a materialidade), a identificação das condições de uso e exposição e o entendimento das relações de causas e efeitos nos processos de degradação.

O presente trabalho deve contribuir na área de tecnologia e de conservação da arquitetura moderna ao propor procedimentos para o monitoramento de sistemas de revestimento em placas de rocha em edifícios altos, analisados a partir das Zonas de Tensão e dos Cenários do Estado de Conservação. Pretende-se que a análise dos resultados favoreça a reflexão a respeito das ações de conservação para o caso em estudo, em uma visão integrada do sistema de fachada e sua interface com as soluções construtivas, o sistema estrutural e a arquitetura em si.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo geral**

O objetivo geral desta pesquisa é propor um método de investigação e de monitoramento do estado de conservação do sistema de revestimento em placas de rocha nas fachadas de edifícios altos modernos.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

Como objetivos específicos, pretende-se:

- i. selecionar e adaptar um modelo teórico passível de ser adotado para a análise do estado de conservação de sistema de revestimento em rocha em edifícios altos;
- ii. testar o método proposto em uma situação real;
- iii. reunir um banco de dados para o caso em estudo;
- iv. identificar as Zonas de Tensão como expressão de uma visão integrada entre sistema de revestimento, sistema estrutural e arquitetura;
- v. delinear os Cenários do Estado de Conservação, como uma síntese do percurso do edifício na sua longevidade.

## **1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

A pesquisa foi dividida em quatro etapas. A seguir, é apresentada uma síntese dos procedimentos metodológicos a serem seguidos em cada etapa, a fim de alcançar o objetivo geral e os objetivos específicos propostos.

- **Fundamentação teórico-conceitual metodológica**

Nesta etapa, é estabelecida a base teórica-conceitual da pesquisa. Na revisão bibliográfica, são exploradas as seguintes temáticas: conservação da arquitetura moderna e de seus sistemas de fachada; durabilidade do patrimônio edificado e condições de exposição; caracterização e aspectos relacionados à conservação dos sistemas de revestimento em rocha.

- **Seleção e adaptação de um modelo teórico**

Em seguida, para a seleção e adaptação de um modelo teórico, foram pesquisados fundamentos e referenciais metodológicos. Foi, então, estabelecido o conjunto de diretrizes, de critérios, de requisitos e de técnicas recomendadas, que constituem o método proposto, a ser detalhado em capítulo específico.

- **Aplicação do método proposto a uma situação real**

Nesta etapa, o método proposto foi testado em uma situação real, e os resultados obtidos passaram a integrar o banco de dados para o caso em estudo.

- **Discussão dos resultados**

Na etapa final, procedeu-se à análise e à discussão dos resultados obtidos na etapa anterior. A discussão se deu mediante a identificação das Zonas de Tensão e, como síntese do sistema, foram delineados os Cenários do Estado de Conservação.

## 1.6 ENQUADRAMENTO

Para esta pesquisa, pressupõe-se que a arquitetura moderna requer uma abordagem específica nas ações relacionadas à sua conservação, sobretudo devido às mudanças nos paradigmas de construção, que se refletem na tipologia de edificação em altura e nos sistemas inovadores de revestimento de fachada. Como fundamentação, são adotados os Anais dos Congressos do Docomomo, as publicações da APT (*Association for Preservation Technology International*), além de autores como Macdonald (2003), Muñoz Viñas (2003), Prudon, (2008), Moreira (2011) e Silva (2012b).

Quanto ao tema da durabilidade e do estado de conservação do patrimônio edificado quando submetido às condições de exposição, importa entender as relações de causa e efeito para os processos de degradação e aspectos relacionados ao desempenho e à vida útil, além de levantar as metodologias e as técnicas para inspeção e monitoramento, particularmente para os sistemas de revestimento de fachadas. Nessa temática, foram consultadas fontes que tratam de critérios de

avaliação e de análise qualitativa e quantitativa do estado de conservação, e ainda métodos e técnicas de monitoramento.

Para os sistemas de revestimento em rocha, foi investigado o uso da rocha de revestimento na arquitetura, a caracterização do material e dos sistemas de revestimento, e os aspectos que envolvem a sua conservação, incluindo o entendimento dos mecanismos de degradação, os agentes e as manifestações patológicas que deles resultam, bem como os requisitos de desempenho.

Os trabalhos mais relevantes adotados como aporte bibliográfico nessas temáticas, além dos já mencionados, são:

- Zaroni (2015), John e Sato (2006), Jernberg et al. (2004), Carrió (1997) e a norma internacional BS ISO 15686 e suas partes (BS ISO, 2011; 2012) para o estabelecimento de base teórica conceitual acerca das condições de exposição e durabilidade das edificações, abordando conceitos como vida útil, mecanismos e agentes de degradação e manifestações patológicas;
- Carvalho (2018) e Rios (2019), entre outros trabalhos que abordam a durabilidade e o estado de conservação de fachadas, desenvolvidos no grupo de pesquisa da área de Tecnologia do Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília – PPG/FAU-UnB, além de Silva (2014) e outros do Laboratório de Ensaio de Materiais da Universidade de Brasília – LEM-UnB, voltados à quantificação da degradação em sistemas de revestimento de fachada;
- Córias (2009), Flores-Colen (2009), Silvestre e Brito (2009; 2010), pesquisadores portugueses que abordam critérios de avaliação para sistemas de fachada e as relações de causa e efeito para as manifestações patológicas recorrentes;
- O Manual Técnico do Iphan/Monumenta (GOMIDE et al., 2005), o Instituto Brasileiro de Avaliação e Perícias de Engenharia – IBAPE, de São Paulo (2012), Lichtenstein (1986) e a norma americana ASCE/SEI 30 – *Guideline for Condition Assessment of the Building Envelope* (ASCE, 2014), que sugerem procedimentos básicos para a inspeção com vistas à identificação do estado de conservação de sistemas arquitetônicos;
- Melo Júnior (2016), Costa (2014), Córdoba (2012), Costa e Amorim (2009) e Groetelaars (2011, 2015), que investigam os métodos e técnicas como o VANT e a fotogrametria para a inspeção de fachadas e a geração de mapas de danos;
- Prudon (2008), Team (2005), Muñoz Viñas (2003), Scheffler (2001), Redding (1997), o dossiê 6 do Docomomo (DOCOMOMO, 2003), os anais da conferência de 1996 do Docomomo a respeito do restauro das *stone curtain walls*, e no âmbito nacional Flain

(2017), Almeida (2012), Lacerda e D'affonseca (2009) e Castro e Bauer (2015), que trazem casos de edifícios do período moderno com sistemas de revestimentos em placas de rocha e discussões sobre sua conservação;

- Icomos (ICS-ICOMOS, 2010), Iphan (2012) e as normas italianas NORMAL 1/88 (CNR-ICR, 1990) e UNI 11182:2006, que consistem em textos normativos com convenções para a identificação e representação de danos no material rochoso;
- Oliveira (2011, 2016), Haas (2003) e Aires-Barros (1991), que abordam a conservação do material rochoso no campo da preservação do patrimônio arquitetônico; além de Lama (2016), Frascá (2003, 2014), os anais do SRONE e as publicações do Cetem, que apresentam estudos sobre a caracterização tecnológica, propriedades, alterações e requisitos de desempenho da rocha;
- Silva (2009), Silva, Brito e Gaspar (2011), que estudam a vida útil de rochas em sistemas de revestimento de fachadas e elencam os principais agentes de degradação e os danos mais recorrentes nesses sistemas.

Existem poucos estudos que investigam o comportamento dos sistemas de fachada em edifícios altos. Esse recorte da pesquisa se fundamenta em Ficher (1991), que identifica a relevância da tipologia como uma tendência construtiva que se consolidou no período em que se enquadra a presente pesquisa. Além disso, Macdonald (2003) menciona os edifícios em altura como exemplo de partido arquitetônico próprio do período moderno e que agrega dificuldades nas ações de conservação.

Encontra-se no cerne desta pesquisa a dimensão material e construtiva da edificação, em alinhamento com a abordagem tectônica de Frampton (2001) para analisar e descrever a arquitetura moderna. Nesse sentido, pretende-se adotar nas discussões sobre a conservação dos sistemas de revestimento de fachada uma visão abrangente e integrada – quanto às camadas integrantes, e, inclusive, no tocante à relação do sistema de revestimento de fachada com o sistema estrutural, de vedação e a arquitetura do edifício.

Uma vez que é adotado como estudo de caso para testar o método proposto o Palácio do Congresso Nacional, a principal fonte bibliográfica para o levantamento do seu histórico e como subsídio à compreensão dos elementos arquitetônicos e dos sistemas estruturais consiste em *Os Palácios Originais de Brasília*, de Silva (2012a), que traz uma visão ampla do seu processo de projeto e da construção, pautada na análise de registros documentais e projetos originais. Macedo e Silva (2011) também constitui fonte relevante ao caracterizar o ordenamento tectônico da edificação. Pesquisas, relatórios técnicos e editais de contratação e aquisição desenvolvidos pelas equipes de Arquitetura e Engenharia da Câmara dos Deputados e do Senado Federal também são consultados.

Diante do exposto, este trabalho enquadra-se na área de concentração “Tecnologia, Ambiente e Sustentabilidade”, mais especificamente na linha de pesquisa “Tecnologia de Produção do Ambiente Construído”, na medida em que explora os sistemas de revestimento em rocha, sua caracterização e seu comportamento frente às condições de uso e exposição. Permeia, ainda, o campo da Conservação do Patrimônio Moderno, devido às investigações relativas à conservação da arquitetura moderna e seus sistemas de fachada.

Os temas que representam a delimitação desta pesquisa constam na Figura 1.2, que evidencia os dois campos abordados: a Conservação da Arquitetura Moderna e a Durabilidade do Patrimônio Edificado. Em síntese, os sistemas de revestimento em placas de rocha nas fachadas dos edifícios altos modernos são investigados a partir dos aspectos relacionados ao desempenho e vida útil e às condições de exposição. O diagrama contém ainda palavras-chave que permeiam esses dois campos: o “monitoramento”, que só é possível devido à alimentação e ao registro de informações em “banco de dados”, e a “visão integrada”, com relação às diferentes disciplinas envolvidas e à abordagem do sistema de fachada enquanto parte da arquitetura, com o comportamento influenciado pelo contexto arquitetônico e sistemas de interface.



Figura 1.2: Diagrama que representa o enquadramento da pesquisa.  
Fonte: Autora, 2019.

## 1.7 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação foi estruturada em cinco capítulos, conforme o esquema da Figura 1.3 (a,b).

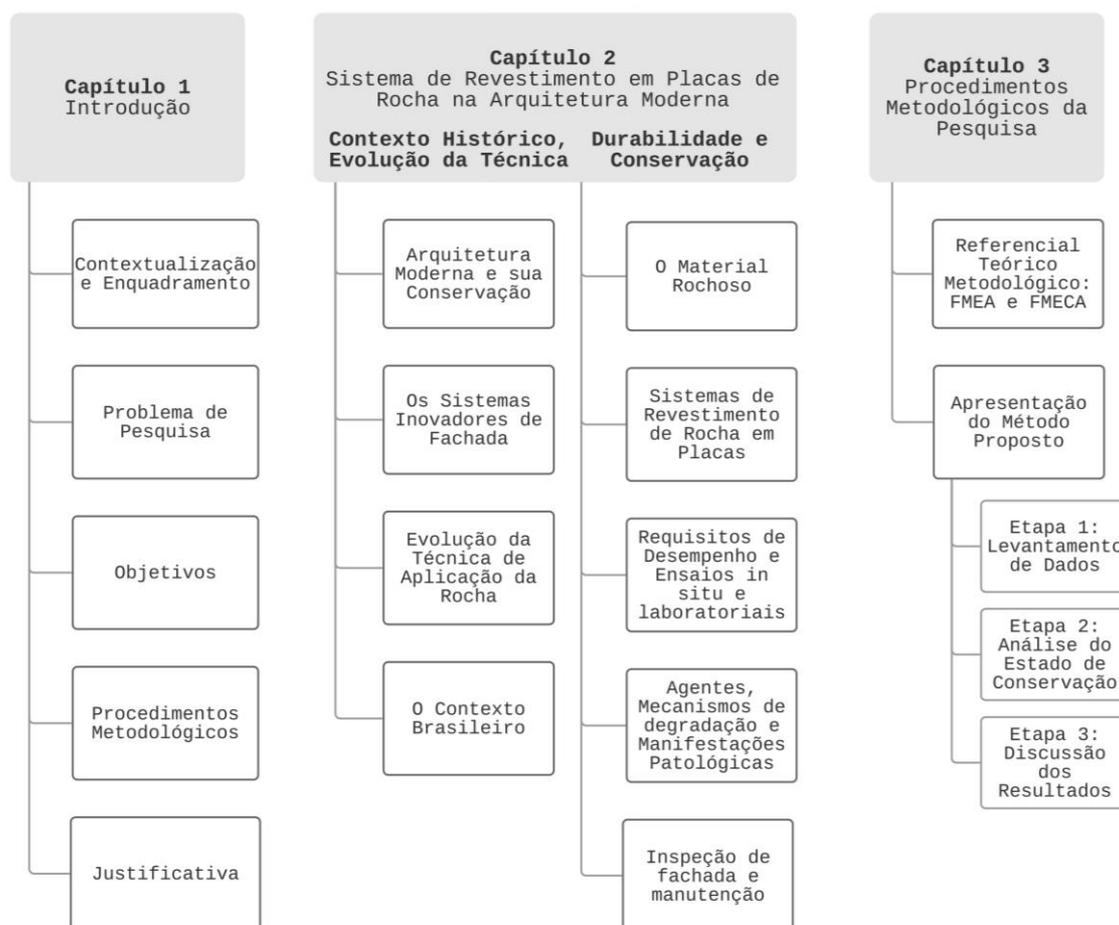
No Capítulo 1, a Introdução apresenta a contextualização do tema do trabalho e a questão de pesquisa. Neste capítulo, estão presentes a problematização, os objetivos a serem atingidos, uma síntese dos procedimentos metodológicos e a justificativa, com possíveis contribuições e os motivos para as opções quanto à condução da pesquisa.

No Capítulo 2, é apresentada a base conceitual acerca do tema do patrimônio arquitetônico moderno, com conceitos relacionados à conservação do patrimônio edificado com foco nas condições de exposição, agentes e mecanismos de degradação e desempenho. Engloba, ainda, revisão bibliográfica sobre a rocha, panorama histórico da sua aplicação na arquitetura, estudos sobre a conservação e características técnicas enquanto integrantes de sistemas de revestimento.

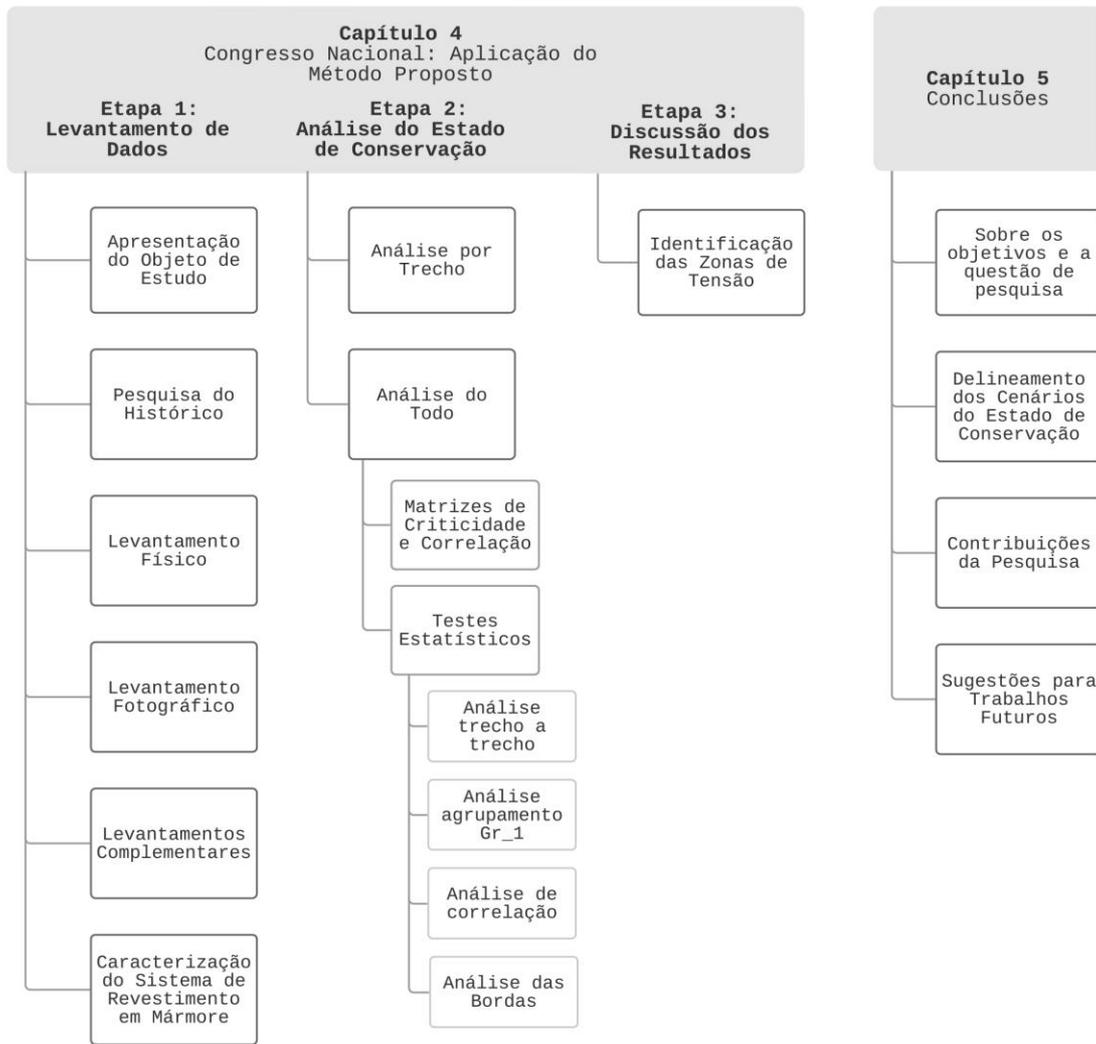
No Capítulo 3, são expostos os fundamentos e os referenciais metodológicos que embasaram o método proposto na pesquisa. Em seguida, é apresentado o método, incluindo procedimentos, técnicas, critérios e requisitos para análise do estado de conservação de sistemas de revestimento em rocha.

No Capítulo 4, é feita a aplicação do método proposto ao sistema de revestimento em mármore nas empenas das torres anexas do Congresso Nacional. Na discussão dos resultados, são identificadas as Zonas de Tensão.

Finalmente, o Capítulo 5 apresenta as conclusões quanto ao atendimento dos objetivos e à questão de pesquisa, às contribuições da pesquisa e recomendações para trabalhos futuros, incluindo ainda o Cenários do Estado de Conservação como síntese do percurso do edifício estudado.



(a)



(b)

Figura 1.3: Estrutura da dissertação em capítulos.  
Fonte: Autora, 2019.

## 2 SISTEMAS DE REVESTIMENTO EM PLACAS DE ROCHA NA ARQUITETURA MODERNA

Esse capítulo aborda os sistemas de revestimento em rocha nas fachadas de edifícios altos da arquitetura moderna, pontuando o contexto de surgimento e as discussões que permeiam a conservação dos sistemas de fachadas no patrimônio moderno, em especial os que adotam a rocha de revestimento. Em um primeiro momento, é dado um breve histórico das soluções técnicas, desde as paredes como suporte de carga, aos sistemas inovadores viabilizados pelos avanços próprios do período, ilustrando com exemplares de maior relevância no contexto do Movimento Moderno global e nacional. Em um segundo momento, os conceitos de durabilidade do patrimônio edificado são abordados, com enfoque nos fatores que afetam o estado de conservação dos sistemas de revestimento de fachada em rocha, incluindo sua caracterização técnica, os agentes, os mecanismos de degradação e as manifestações patológicas. Por último, são apresentados os conceitos e as práticas de manutenção e inspeção prediais voltados a garantir a longevidade dos sistemas em estudo, em conformidade com os requisitos de desempenho atuais.

### 2.1 ARQUITETURA MODERNA E SUA CONSERVAÇÃO

Nesta pesquisa, convencionou-se chamar arquitetura moderna aquela afiliada ao Movimento Moderno, desenvolvida no século XX, no contexto descrito a seguir.

Os avanços tecnológicos e os debates sobre a conservação<sup>1</sup> do patrimônio estão entre os principais fatores que nortearam a sociedade do século XX e sedimentaram os caminhos para o desenvolvimento da modernidade (JOKILEHTO, 2003). Nesse período, mudanças na técnica e na tecnologia transformaram o modo de se construir edificações e, a partir das últimas décadas do século XX, a preocupação de como valorar e manter esse estoque de edifícios se fortalece.

A Declaração de Eindhoven (*Eindhoven-Seoul Statement*, DOCOMOMO, 1990), publicada na primeira conferência do Docomomo, define a arquitetura moderna como inovadora em três dimensões: a estética, a técnica e a social. O documento ressalta, ainda, a necessidade de divulgação dessa arquitetura e de produção de conhecimento por meio de pesquisa, da identificação e do desenvolvimento de técnicas apropriadas à sua conservação.

O Documento de Madri (ICOMOS, 2011), redigido especificamente para tratar do patrimônio arquitetônico do século XX, estabelece critérios de identificação, conservação, intervenção e gestão, reforçando a necessidade de se refletir a respeito das intervenções no patrimônio arquitetônico do passado recente. Para tanto, algumas particularidades devem ser consideradas.

---

<sup>1</sup> Conservação é considerada a atividade que consiste em adotar medidas para garantir a perenidade de um bem, de modo que ele experimente a menor quantidade possível de mudanças, mesmo que isso implique intervir de modo a alterar ou melhorar certas características (MUÑOZ VIÑAS, 2003).

A temática da conservação de edifícios modernos é abordada por diversos autores, como Macdonald (1996; 2003; 2009), Allan (2007), Prudon (2008) e Moreira (2011), que destacam aspectos que distinguem a arquitetura produzida no passado recente da tradicional, entre eles as questões da funcionalidade e da materialidade.

O aspecto da funcionalidade é premente na necessidade de adaptar o edifício e seus sistemas aos novos usos e requisitos técnicos, a exemplo das atuais demandas por acessibilidade universal, desempenho energético e segurança e combate ao incêndio. A perda de funcionalidade pode estar relacionada, ainda, ao fim da vida útil de componentes de sistemas arquitetônicos, o que resulta na necessidade de reposição.

No âmbito da materialidade, a questão de preservação da matéria original é um desafio, sobretudo no caso da arquitetura moderna, em virtude do seu caráter tecnológico<sup>2</sup> e dos sistemas oriundos de produção industrial e sujeitos à obsolescência. Este é o caso de sistemas com componentes produzidos em série e que podem ser descontinuados pelo fabricante, impossibilitando a reposição no caso de perda de funcionalidade. Esse quadro se agrava em um cenário de falta de manutenção preventiva, que poderia estender a vida útil dos sistemas e suas partes (MACDONALD, 2003; PRUDON, 2008; MOREIRA, 2011).

Há diferentes abordagens quanto à conservação da arquitetura moderna. Apesar de reconhecer que, em determinadas ocasiões, a conservação dessa arquitetura pode se distinguir dos casos tradicionais, Silva (2012b) ressalta que os princípios básicos da conservação estarão sempre presentes para embasar o processo decisório nas ações relativas a esse patrimônio, com destaque para os conceitos da integridade e da autenticidade<sup>3</sup>. Por outro lado, Allan (2007) defende que deve ser adotada uma caixa de ferramentas específica para lidar com o moderno, uma analogia aos critérios para intervenção e às soluções técnicas distintos do patrimônio tradicional. Para Bardelli (2003), o processo decisório deve ser fundamentado em uma análise criteriosa do envelhecimento dos elementos construtivos. Por fim, no entendimento de Macdonald (2009), cada caso deve ser avaliado mediante o aprofundamento técnico a respeito dos sistemas específicos e dos métodos de intervenção.

Nota-se atualmente uma vertente que adota os conceitos da autenticidade de modo mais amplo para incluir a intenção original e os aspectos imateriais, o que foi sedimentado com a Carta de

---

<sup>2</sup> O caráter tecnológico atribuído à arquitetura moderna refere-se, principalmente, aos avanços na técnica construtiva resultantes das pesquisas com os materiais.

<sup>3</sup> Mediante uma síntese das discussões na literatura, Silva (2012b) propõe um procedimento para se obter princípios norteadores de julgamento das ações de conservação que afetam a integridade e a autenticidade dos atributos de edifícios da arquitetura moderna. Conceitua integridade como completude, caráter intacto e continuidade do cenário, enquanto autenticidade se relaciona à genuinidade dos aspectos material, da organização do espaço/forma e da função (SILVA, 2012b, p. 38).

Burra e o Documento de Nara para autenticidade<sup>4</sup>. Os princípios básicos estabelecidos na doutrina da preservação, como mínima intervenção, distinguibilidade e reversibilidade<sup>5</sup>, são revisitados por Muñoz Viñas (2003) em sua Teoria Contemporânea da Restauração, que afirma que o estado autêntico de uma obra se relaciona com cada tempo, conforme a alteração dos materiais e a intenção do autor do projeto, e que, uma vez que o original não é algo que possa ser recuperado, só é possível resgatar a autenticidade do que é presente no objeto.

Prudon (2008) alinha-se com Muñoz Viñas (2003) em uma visão mais abrangente da autenticidade, ao extrapolar a questão material e incluir o intangível no trato da arquitetura moderna. Para ele, as significâncias arquitetônica, histórica e cultural devem ser consideradas no processo decisório de intervenção nesse patrimônio. Se historicamente a significância fundamentou-se na realidade física do edifício, o conceito passa a ser mais afeito à intenção do autor e à documentação de projeto (PRUDON, 2008).

Frente ao exposto, percebe-se que a ação de conservação deve ser um ato crítico bem fundamentado nas diversas teorias estabelecidas, resultado, sobretudo, de uma investigação aprofundada a respeito de cada caso específico. Deve-se buscar um equilíbrio quanto à adoção dos princípios básicos da conservação (como a reversibilidade e a retenção da matéria original) e a leitura da unidade da obra (integridade) e de seu valor simbólico, ou mesmo de sua estabilidade física, caso esteja em risco.

## 2.2 OS SISTEMAS INOVADORES DE FACHADA NA ARQUITETURA MODERNA

A arquitetura moderna promoveu mudanças nas formas arquitetônicas, nos processos construtivos e de planejamento e no uso dos materiais tradicionais. No contexto de transformações nas práticas e técnicas construtivas do período, surgiram sistemas construtivos chamados inovadores, por adotar materiais e componentes industrializados (MACDONALD, 1996, 2009; MOREIRA, 2011). Essa experimentação que marcou o período, segundo Bardelli (2003) requeria um exercício de imaginação, não apenas quanto aos valores que as novas soluções assumiriam dentro do repertório da escola modernista, mas também quanto ao seu futuro, no que se refere ao modo como envelheceriam.

Santos (2016) atribui as alterações na envoltória dos edifícios à padronização de materiais e de elementos construtivos decorrentes da industrialização. Nesse contexto, os edifícios em altura se

---

<sup>4</sup> A Carta de Burra (ICOMOS, 1980) traz o entendimento de significância cultural, superando a preocupação com a autenticidade material para englobar valores estéticos, históricos, científicos, sociais do passado, presente e gerações futuras. O documento de Nara (ICOMOS, 1994), por sua vez, amplia o entendimento acerca da autenticidade, e extrapola a integridade material. Atribui, assim, um caráter mais abrangente e relativizado ao termo, relacionado ao contexto cultural do patrimônio.

<sup>5</sup> Mínima intervenção, distinguibilidade e reversibilidade são conceitos trazidos pela Carta de Veneza (ICOMOS, 1964) e na Teoria da Restauração de Brandi (2004).

apresentavam como uma oportunidade para experimentações quanto às soluções estruturais e aos sistemas de fachada, particularmente as fachadas cortina (SANTOS, 2016).

O termo fachada cortina<sup>6</sup>, do inglês *curtain-walls*, é usualmente adotado para se referir a fachadas leves, dispostas externamente à estrutura do edifício e compostas por estrutura metálica e vidro, podendo ser adotado também para denominar sistemas de revestimento com rochas em placas esbeltas fixadas por meio de estrutura auxiliar metálica (JONGE; DOOLAR, 1997). Assim como já pontuado, o dilema de se manter uma materialidade que perdeu sua funcionalidade, sem prejuízo à permanência do testemunho que este patrimônio representa, faz-se evidente no caso da necessidade de substituição de componentes de esquadrias quando a indústria deixa de produzi-los, em especial aquelas compostas por perfis de alumínio extrudado (LIMA et al., 2016; MACEDO et al., 2013).

Além das questões relativas à materialidade e à funcionalidade, a falta manutenção rotineira e a dificuldade de aceitação da pátina são citadas como desafios inerentes à arquitetura do século XX. Ao tratar do patrimônio de modo geral, Muñoz Viñas (2003) reconhece a importância das ações preventivas para a redução de intervenções nos sistemas, o que chama de conservação preventiva. Apesar de reconhecer que a rotina de manutenção impacta a longevidade de edifícios de qualquer período e não apenas o moderno, Macdonald (2003, 2009) atribui os quadros de degradação dos edifícios do século XX à crença da eternidade dos novos materiais e sistemas, que prescindiriam de manutenção, além da falta de conhecimento sobre o seu ciclo de vida.

Acresce que, no caso da arquitetura moderna, há desafios no tocante ao acesso para a inspeção dos sistemas de fachada, caso dos edifícios altos, que podem onerar e dificultar as ações de conservação. A falta de manutenção leva ao envelhecimento do edifício – sobretudo sua envoltória, mais exposta aos agentes climáticos de degradação – que ultrapassa a simples pátina, o que resulta em soluções que vão de encontro à intervenção mínima e à reversibilidade defendidas por teóricos do campo do patrimônio (MACDONALD, 2009). Em contraposição à prática predominante no Brasil de priorizar a manutenção corretiva sobre a preventiva, Moreira (2011) defende o estabelecimento de rotinas de inspeção e de manutenção, bem como de um sistema de gestão do patrimônio edificado com vistas à conservação e à sustentabilidade.

Apesar dos desafios relacionados aos sistemas inovadores modernos no que se refere a falta de informações sobre seu desempenho, comportamento e ciclo de vida, Macdonald (2009) afirma que se avançou no repertório de práticas e conhecimentos que tratam da conservação desse patrimônio, ressaltando o papel do Docomomo e do APT (*Association for Preservation Technology*

---

<sup>6</sup> A fachada cortina ou *curtain-wall* é constituída de uma ou mais camadas, posicionada de modo totalmente externo à estrutura do edifício (à face exterior das lajes de borda), de modo a configurar uma pele sobre ele (OLIVEIRA, 2009). A NBR 10821 define a fachada cortina como “esquadrias interligadas e estruturadas, com função de vedação, que formam um sistema contínuo, desenvolvendo-se no sentido da altura e/ou da largura da fachada da edificação, sem interrupção, por pelo menos dois pavimentos” (ABNT, p.1, 2017a).

*International*) nos estudos sobre sistemas como o concreto aparente, as esquadrias metálicas e os sistemas de revestimento em rocha. Destaca, ainda, a adaptação de métodos de reparo contemporâneos às necessidades da prática de conservação.

Percebe-se, assim, o papel fundamental das ações preventivas no sentido de garantir a longevidade do patrimônio edificado, moderno ou não, a fim de evitar intervenções que possam comprometer sua significância. No âmbito dos sistemas de fachada no patrimônio em estudo, faz-se necessária a compreensão do seu papel na leitura do edifício, das características técnicas, do comportamento frente às condições de exposição e das funções desempenhadas, de modo a equilibrar os requisitos de conservação aos critérios de risco à segurança do usuário e ao meio ambiente, assim como aos parâmetros técnicos normativos.

### **2.3 EVOLUÇÃO DA TÉCNICA DE APLICAÇÃO DA ROCHA NA ARQUITETURA**

Historicamente, o material rochoso é um dos mais antigos utilizados nas construções, prevalecendo, a princípio, o uso como blocos em vedações, alicerces e colunas. A aplicação da rocha nas construções ao longo da história refletiu os avanços nas técnicas de corte, tratamento e beneficiamento, no âmbito do material, culminando na sua associação com outros materiais em sistemas de fachada não aderidos, fachadas cortinas e fachadas ventiladas.

Civilizações antigas como a egípcia e a grega adotaram a rocha na construção de paredes para suporte de cargas, em uma arquitetura caracterizada como colunar, que expressou avanços na técnica de corte dos blocos das colunas e arquiveladas (HERZOG et al. 2004). A arquitetura funerária egípcia evidencia o domínio do manejo e da técnica de trabalho com esses materiais, por vezes rochas de dureza elevada como granitos, basaltos e outras rochas ígneas, que eram trabalhadas com um refinamento até então nunca visto (OLIVEIRA, 2016).

Com os romanos, que geralmente adotavam a rocha calcária, as técnicas para corte foram ainda mais aprimoradas (CARDOSO, 1927, *apud* MACEDO e SILVA, 2011). A prática construtiva foi registrada por Vitruvius em seu tratado sobre arquitetura e a atividade do arquiteto – *De Architectura Libri Decem* (HERZOG et al. 2004). No livro II, são mencionados os efeitos do intemperismo sobre algumas rochas, como o gelo-degelo, a tensão de cristalização de sais solúveis e o *stress* térmico. Seus ensinamentos foram retomados pelos tratadistas de arquitetura do Renascimento, a partir do final do século XV, e são importante fonte para os conhecimentos do passado a respeito das rochas nas construções (OLIVEIRA, 2016).

A base da arquitetura romana eram os arcos e os muros, caracterizados tecnicamente pelas aduelas de cantaria e por alvenarias de blocos de rochas de diferentes tipos solidarizados com argamassa (CARDOSO, 1927, *apud* MACEDO e SILVA, 2011). As rochas já apareciam como

revestimento nas construções romanas datadas de 100 a.C., a exemplo do Coliseu, onde se adotaram rochas de revestimento e tijolo cozido.

Embora a construção com rochas seja uma prática antiga, é a partir do final do século XIX e início do século XX que emergem novas possibilidades de uso desse material. Ainda se faz presente a aplicação em sistemas estruturais e em vedações, mas avanços na técnica construtiva e inovações nos processos de beneficiamento resultantes de pesquisas com os materiais ampliaram seu uso, e a rocha passou a compor sistemas de revestimento (PRUDON, 2008).

Na arquitetura moderna, as peças antes acabadas a mão e assentadas sobre uma parede estrutural evoluíram para sistemas que configuram uma fina camada superficial como envoltória do edifício, chamada de máscara ou *veneer* (PRUDON, 2008). Na Itália da década de 1930 a 1940, destacam-se a *Casa del Fascio* (1928-1936), em Como, o *Palazzo Montecatini*, em Milão (1937-1938), e o *Palazzo della Civiltà Italiana* (1942), em Roma (PORETTI, 2003).

Nos EUA, grandes centros urbanos como Nova Iorque e Chicago iniciaram o século com a nova ideia de modernidade associada à verticalidade dos edifícios: os arranha-céus. O *Empire State Building* (1930-1931) se destaca nesse contexto, com suas fachadas revestidas em placas de rocha de espessura variada. Em momento subsequente, as grandes cidades da América do Sul também passam a erigir seus edifícios altos (SANTOS, 2016).

Nesse momento, era comum o uso de placas de rocha com aproximadamente 10 cm (4") de espessura, fixadas por meio de grampos a paredes que, por sua vez, descarregavam em paredes estruturais internas ou estruturas de aço, de modo a se manter a expressão estética já estabelecida, ou seja, a aparência das alvenarias de blocos de rocha convencionais. No caso do *Empire State*, as placas apresentavam 4, 6 e 8 polegadas de espessura, o equivalente a cerca de 10, 15 e 20 cm de espessura (PRUDON, 2008).

Merece menção o caso do edifício do Secretariado das Nações Unidas em Nova Iorque, com o projeto inicial desenvolvido por Le Corbusier, e o projeto definitivo coordenado por Wallace Harrison, contando ainda com a participação de Oscar Niemeyer. Apesar de construído no final da década de 1940, o edifício adota solução para o sistema de revestimento em rocha que remete à técnica tradicional, mediante o uso de placas de mármore de maior espessura apoiadas a cada pavimento em blocos de rocha, conforme se observa na Figura 2.1b. Uma década depois de sua construção, estaria sendo construído em Brasília o Palácio do Congresso Nacional, que também apresenta empenas dotadas de sistema de revestimento em mármore<sup>7</sup>, porém com a técnica das placas esbeltas sobre sistema aderido, conforme será abordado posteriormente.

---

<sup>7</sup> Silva (2017) traça um paralelo entre os dois edifícios e constata a existência de soluções similares, como as empenas com placas de mármore assentadas com juntas desencontradas. Tal disposição consta dos desenhos de Le Corbusier em seu projeto para a Liga das Nações.

O sistema de revestimento em mármore nas fachadas do edifício do Secretariado demandou, ao longo dos anos de uso e operação, apenas serviços de inspeção e de limpeza (SILVA, 2017). Silva (2017) atribui seu bom estado de conservação à presença de sistema de aquecimento integrado às empenas, que resultou em uma menor variação térmica nas camadas do sistema de revestimento. Contudo, no contexto desta dissertação, entende-se que a solução para fixação e apoio adotada (as placas de 10 cm apoiadas a cada pavimento para estabilização das placas) foi um fator decisivo para a durabilidade do sistema de fachada.

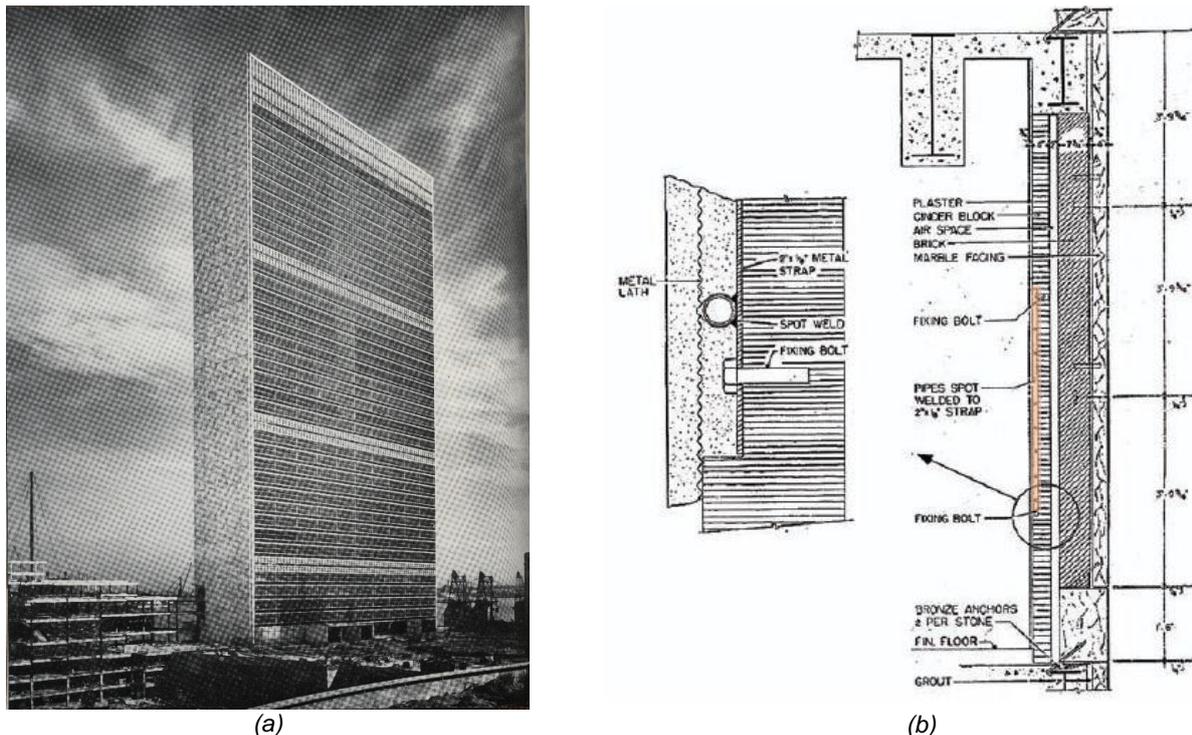


Figura 2.1: Edifício do Secretariado das Nações Unidas em Nova Iorque, 1949-1959, Wallace Harrison e equipe, da qual fez parte Oscar Niemeyer. a) vista do edifício na época de sua construção. Fonte: ARCHITECTURAL FORUM. United Nation Secretariat. New York: Billboard, v. 93, nov. 1959, p. 102. b) detalhe do sistema de revestimento em mármore, associado a solução de aquecimento por serpentina, em destaque na figura. Fonte: Silva, 2017.

A partir da década de 1930, os sistemas de revestimento em rocha foram adquirindo características mais próximas das contemporâneas (BARELLI et al., 2003). Em uma síntese da evolução da aplicação das rochas como revestimento, Prudon (2008) aponta ter havido nessa época uma redução da espessura recomendada das placas de 10 cm (4") para 3,81 cm (1½"), além de variações nas dimensões, no seu acabamento, nos tipos de fixação, no tratamento das juntas quanto ao dimensionamento e ao material selante, além da previsão de camada de impermeabilização. As mudanças nas dimensões das placas demandaram uma revisão das juntas de dilatação, que passaram a ser recomendadas a cada pavimento, e verticalmente a cada 30 pés, que equivale a aproximadamente 9,14 m. O uso de placas maiores demandou, ainda, a substituição da argamassa nas juntas por selantes apropriados, a fim de se permitir a movimentação térmica adequada entre os componentes (PRUDON, 2008).

Os avanços técnicos do período possibilitaram também o aparecimento de substâncias protetoras e selantes, sendo que uma prática recorrente no período era a impermeabilização por meio de membrana aplicada no tardo, além da previsão de sulcos na rocha, voltados para impedir que a umidade ficasse retida e fosse absorvida pelo suporte (PRUDON, 2008). Macdonald (2009) relata a tendência de se adotar impermeabilizantes e outros produtos sem se considerar a possibilidade de esses tratamentos introduzirem novos ciclos de manutenção na conservação do sistema<sup>8</sup>.

Quanto à fixação dos sistemas de revestimento em rocha, Barelli et al. (2003) traz a evolução da técnica com base em manuais de construção europeus dos séculos XIX e XX, identificando uma fase inicial com sistemas aderidos e uso de peças metálicas apenas para estabilização, que duraria até 1930. Nesses manuais, predominavam duas formas de vinculação entre revestimento e parede: uma solidarizada com uso de grampos, na qual o revestimento se tornava parte da parede; e outra, no caso de placas mais finas, na qual o conjunto placa e parede era preenchido por argamassa, com previsão de grampos retentores, de modo a formar uma camada independente (BARELLI et al., 2003).

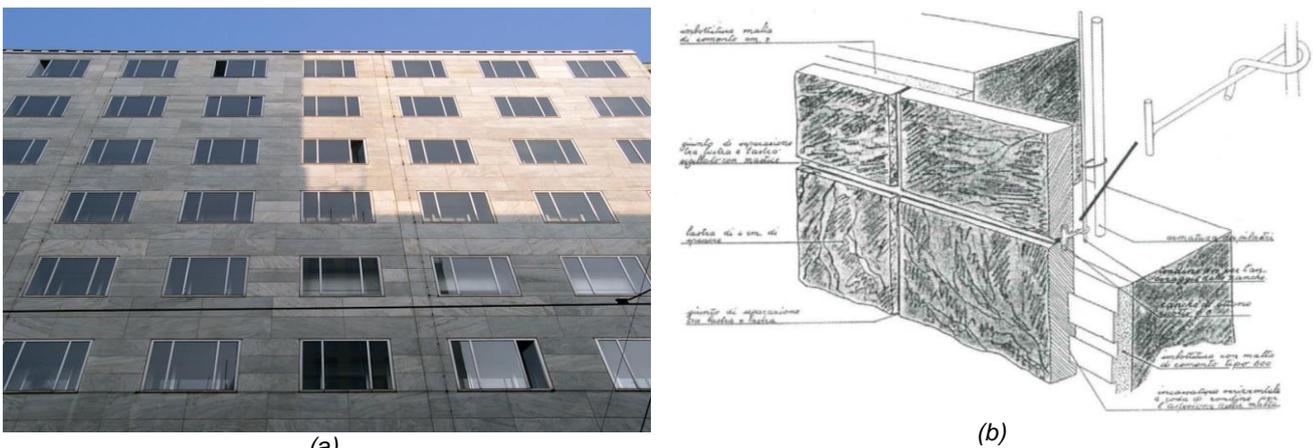


Figura 2.2: Palazzo Montecatini em Milão, 1937-1938, Gio Ponti,: a) vista da fachada atualmente. Fonte: <http://www.ordinearchitetti.mi.it/it/mappe/itinerari/edificio/579/46-gio-ponti/galleria>; b) detalhe do sistema de revestimento em rocha. Fonte: Poretti, 2003.

Os sistemas de fixação eram variados e abrangiam desde soluções derivadas das práticas tradicionais, como as placas mais grossas apoiadas em cada pavimento, ao uso de sistemas mais complexos de ancoragem. O *Palazzo Montecatini* de Giò Ponti, em Milão (1937-1938), por exemplo, apresentava elaborada solução de grampos de latão conectados a barras de aço verticais inseridas na estrutura de concreto armado (Figura 2.2), de modo independente da armadura (BARELLI et al., 2003).

Tornaram-se mais recorrentes os destacamentos das placas de rocha das fachadas de construções do período, o que motivou pesquisas por novos meios de fixação, mediante o uso de estruturas auxiliares, testados quanto ao afastamento e ao dimensionamento das placas e demais

<sup>8</sup> Nesse caso, Macdonald (2009) refere-se especificamente ao concreto aparente, mas a observação pode ser estendida à rocha de revestimento.

componentes, de modo a permitir a movimentação das partes do sistema (PORETTI, 2003; BARELLI et al., 2003).

Os suportes metálicos evoluíram em variedade e tecnicamente, até chegar aos sistemas de revestimento não aderidos e, após a Segunda Guerra, às fachadas ventiladas (PORETTI, 2003). Já na década de 1960, as técnicas de beneficiamento e de corte tornaram viável economicamente placas de mármore e de granito de espessura reduzida, possibilitando que fossem sustentadas pelas tramas metálicas das fachadas cortina (KELLEY, 1997).

No pós-guerra foram desenvolvidas técnicas de ancoragem e amarração em aço inoxidável e galvanizado. Um dos sistemas de ancoragem mais comuns era o grampo de cauda dupla (*Split-tail anchor*), que estabilizava ao mesmo tempo o painel abaixo e suportava o peso do painel acima (PRUDON, 2008). Essa e outras soluções estão ilustradas no *Manuale dell'Architetto*, edição de 1962, que detalha os tipos de materiais, as características da estrutura de sustentação e da argamassa, além das dimensões das placas (Figura 2.3c).

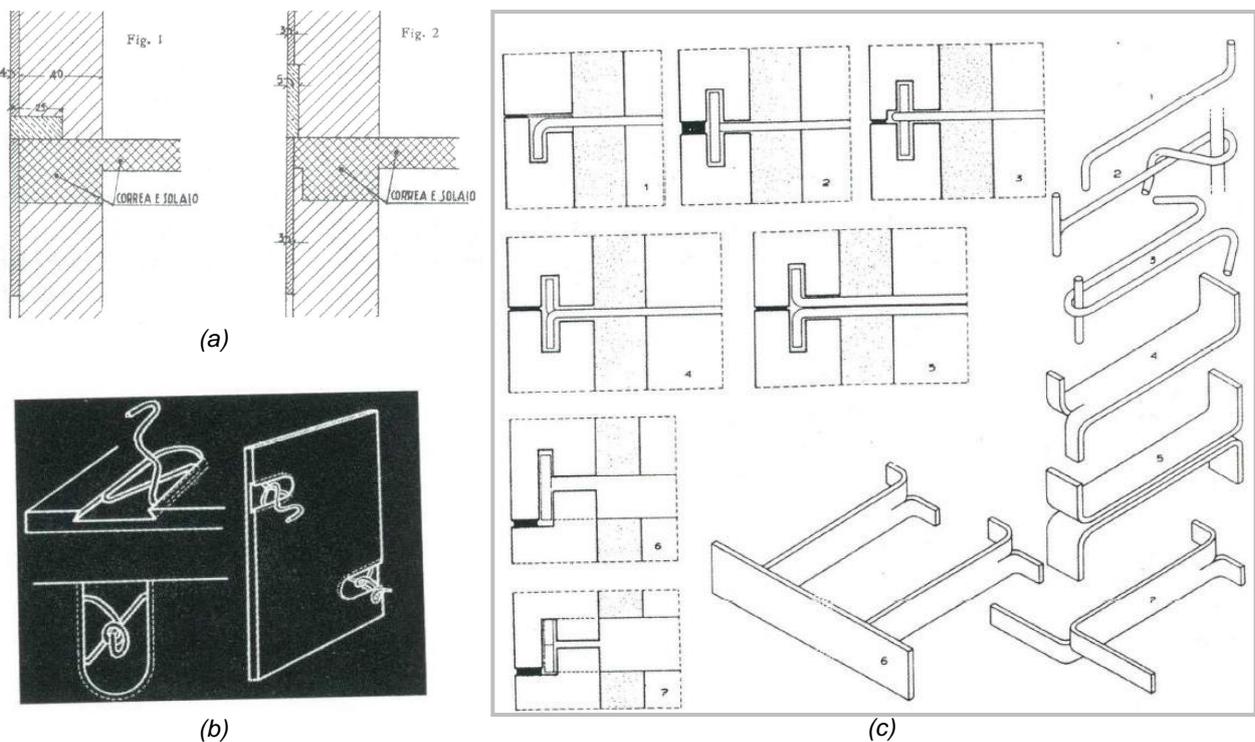
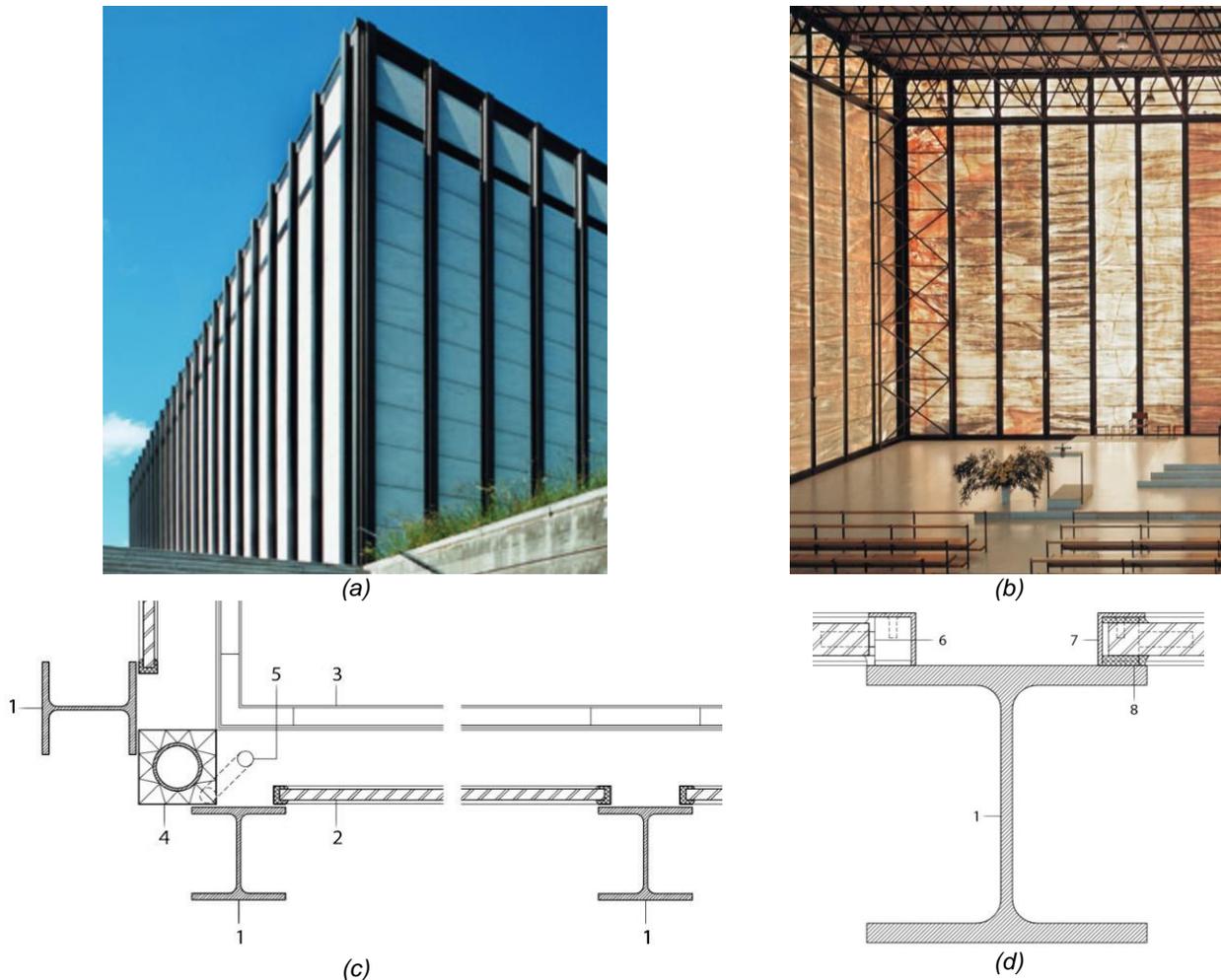


Figura 2.3: Soluções de fixação para sistemas de revestimento em placas de rocha em manuais do século XX: a) adoção de bloco ou placa de maior espessura para apoio a cada pavimento, de 1939; b) indicação de arames e sulcos no tardo da placa de rocha, de 1964; c) detalhes do *'Manuale dell'Architetto'*, 1962. Fonte: Barelli et al., 2003.

Finalmente, as possibilidades técnicas para a ancoragem de rochas de revestimento evoluíram da placa assentada na massa, mediante o uso de argamassa com pinos e arames auxiliares e de pontos de argamassa, para sistemas com estrutura auxiliar metálica compondo fachadas cortina e grandes painéis pré-fabricados de concreto para receber placas de rocha esbeltas (CAMPOSINHOS, 2014; SILVA, 2009; RAGONE, 2003). A Igreja de *St Pius* em Meggen, de Franz Fueg (1966), é um exemplo de fachada cortina viabilizada pelos avanços técnicos, na qual as

placas de mármore de grandes dimensões (150 cm x 102 cm) são fixadas a pilares de aço que conferem ritmo vertical à fachada. Neste caso, a espessura reduzida das placas de 28 mm (e de 21 mm no coroamento), permite a entrada de luz natural no ambiente interior, de modo semelhante a uma cortina (Figura 2.4).



Legenda:

1. Coluna de aço de seção "I"
2. Placa de mármore de 150 cm x 102 cm, de 21 e 28 mm de espessura face externa polida
3. Entrada de ar fresco
4. Caixa de passagem para tubo de queda de águas pluviais
5. Dreno para água de condensação
6. Suporte da placa de mármore em barra de aço de 20 x 20 x 15 mm com apoio de espuma rígida
7. Perfil de aço de 40 x 40 x 4mm
8. Espuma para separar o aço do mármore

Figura 2.4: Fachada cortina em placas de mármore e estrutura em aço da Igreja de St Pius em Meggen, 1966, Franz Fueg.; a) vista externa do sistema de fachada; b) vista interna e a passagem de luz natural através das placas de mármore; c) detalhe do sistema de revestimento em mármore; d) detalhe do pilar de aço que estrutura as placas.

Fonte: Autora, 2019, adaptada de Herzog et al., 2004.

No cenário construtivo brasileiro, os primeiros sistemas de revestimento em placas de rochas com insertos metálicos em fachadas de grandes edifícios foram instalados apenas na década de 1980,

quando a fixação dos componentes metálicos ocorria por meio de um rasgo nas placas de rocha, o que afetava a sua resistência (PAIVA, 2003).

A despeito dos avanços e inovações, quanto mais esbeltas as placas de rocha, maior a dificuldade de suporte da carga das peças dispostas nos níveis múltiplos dos edifícios em altura. Os detalhes construtivos e a própria espessura reduzida tornam os sistemas mais suscetíveis a falhas, a exemplo da corrosão dos grampos de fixação, o que leva ao seu rompimento e resulta na instabilidade no sistema. Para Oliveira (2016), apesar dos instrumentos que a ciência moderna introduziu para se trabalhar o material rochoso, os construtores perderam a intimidade e o conhecimento empírico do material que os antigos possuíam.

Há registros de debates a respeito de problemas relacionados ao emprego de rochas de revestimento nas edificações desde a Renascença. Todavia, pouco se encontra a respeito nos manuais de construção do início do século XX (BARELLI et al., 2003). Prudon (2008) afirma que, embora a rocha de revestimento seja adotada nas construções desde os romanos, guardadas as diferenças na técnica, sua aplicação no período moderno nem sempre logrou sucesso.

Poretti (2003) atribui as recorrentes falhas nos sistemas de revestimento em rocha ao tratamento dado como se fosse uma pele, compostos por placas esbeltas, arranjos geométricos complexos, juntas mínimas e elementos de conexão invisíveis. Contribui também para o quadro de degradação a fixação do sistema restrita ao uso de grampos em quantidade insuficiente e argamassa (BARELLI et al., 2003). Além disso, observam-se diferenças de comportamento entre os tipos de rocha, sendo que alguns se mostravam mais adequados às condições de exposição e à aplicação nos sistemas abordados (PRUDON, 2008).

À medida que problemas como a degradação por ação dos agentes climáticos e o destacamento de placas no sistema se tornaram mais frequentes, a preocupação com a expansão e a contração térmica de placas rochosas de grandes dimensões e pouca espessura se aprofundou (PRUDON, 2008). Nos casos de adoção do mármore na camada de acabamento, a deformação é uma manifestação patológica recorrente (PRUDON, 2008; JOKINEN, 2003; REDDING, 1997). O problema é citado por Redding (1997) ao tratar do envelhecimento dos sistemas do tipo *curtain-wall* com rochas de revestimento no Reino Unido.

Frente aos casos recorrentes de deformação de placas de mármore e de calcário nas fachadas dos edifícios do século XX, foi criado o projeto TEAM (*Testing and Assessment of Marble and Limestone*), que consistiu na pesquisa quanto à durabilidade de sistemas de revestimento de fachada em rocha, com o objetivo de identificar os tipos mais suscetíveis a deformações e de fornecer subsídios para normas técnicas europeias. Para tanto, foram adotados seis edifícios como

estudos de caso, que foram submetidos a procedimentos de monitoramento e de análise de risco (TEAM, 2005)<sup>9</sup>.

O relatório técnico final dessa pesquisa relata que, embora a maior parte dos casos de sistemas de revestimento em mármore apresente um desempenho satisfatório, passados cerca de 50 anos da adoção das placas esbeltas de rocha como revestimento, os problemas de durabilidade começaram a se evidenciar. Alguns exemplos trazidos são o *Amoco Building*, em Chicago, e o *Finlandia Hall*, em Helsinque, para os quais a solução encontrada foi a substituição completa das placas de mármore a custos muito elevados (TEAM, 2005). O *Amoco Building* (1970) de 82 andares era, na época em que foi erigido, o edifício mais alto revestido com mármore. No entanto, as fachadas cortina compostas de placas de pouca espessura não resistiram ao clima rigoroso da cidade (CHIN; STECICH, 1997).

Ao adotar o mármore branco como revestimento de fachada, o arquiteto Alvar Aalto buscou simbolizar o humanismo clássico e a cultura mediterrânea. O material fez parte do seu repertório na Universidade de *Jyväskylä* em meados do século XX e no bloco do Departamento de Arquitetura da Universidade Técnica de Helsinki de 1964. No caso do *Finlandia Hall* (1967-1971) (Figura 2.5), o sistema de revestimento original consistia em placas de mármore Branco Carrara de 3 cm de espessura e 140 cm na maior dimensão, fixadas por sistema de pinos e insertos de aço inoxidável. Entre os problemas apresentados, estão fissuras e desgastes na superfície das placas, e, principalmente, a deformação resultante da ação cíclica de gelo-degelo, acentuada pela restrição à movimentação por parte da solução de fixação (JOKINEN, 2003).

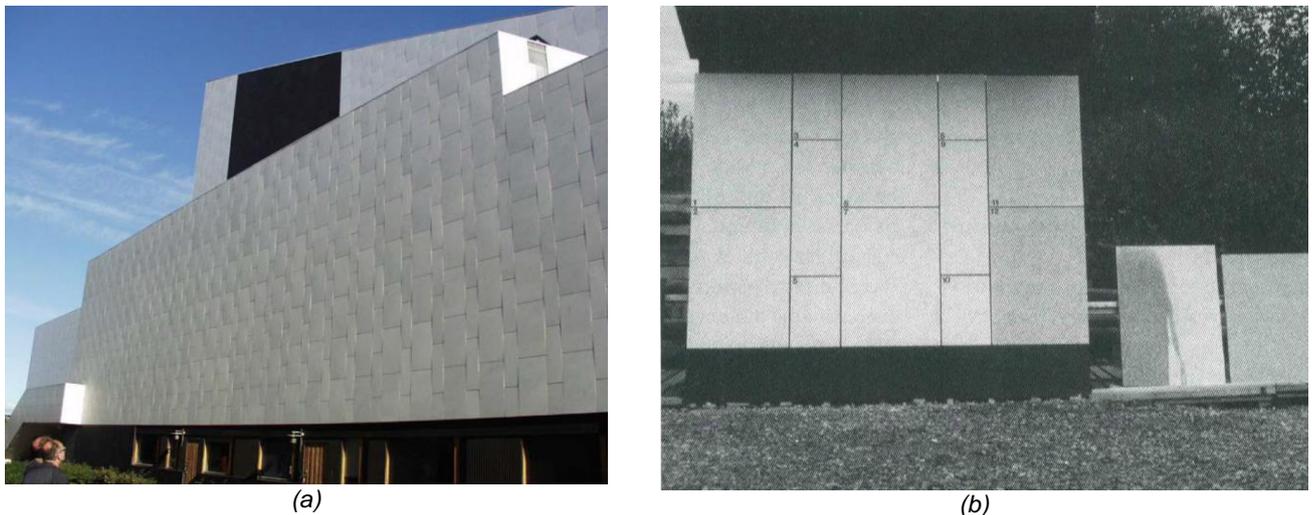


Figura 2.5: *Finlandia Hall* em Helsinque, 1967-1971, Alvar Aalto: a) deformação cônica e convexa de placas de mármore, 2001, Fonte: TEAM, 2005; b) Protótipos adotados para investigar as características físico-mecânicas das variedades de mármore, Fonte: Jokinen, 2003.

<sup>9</sup> O projeto coordenado pelo instituto sueco *Swedish National Testing and Research Institute – SP* foi realizado entre os anos 2000 e 2005 e reuniu representantes de nove países europeus. Dele participaram integrantes de diversos setores envolvidos com sistemas de revestimento de rocha em fachada: produtores de rochas e membros de associações de comércio, laboratórios de testes e padronização, proprietários e administradores de edifícios, e fabricantes de sistemas de ancoragem e de produtos para reparo (TEAM, 2005).

As fachadas do *Finlandia Hall* passaram por diversas intervenções, sendo que, em dado momento, se admitiu o uso de granito como tentativa de obter uma resposta melhor às condições de exposição severas. Após o reconhecimento do edifício como patrimônio arquitetônico em 1993, determinou-se que toda a recomposição ficaria restrita à rocha adotada originalmente na construção. Restava saber quais os requisitos técnicos para nortear a especificação das novas placas com vistas a uma maior durabilidade do sistema, o que foi objeto de pesquisas e ensaios *in loco*, relatados por Jokinen (2003). Como resultado, observou-se que os protótipos de placas de mármore de diferentes regiões da Itália apresentavam variação no comportamento devido ao arranjo microscópico dos cristais, o que gerou princípios para o detalhamento de sistemas de revestimento com placas de rocha e recomendações para o projeto de intervenção<sup>10</sup>.

Estudos de caso evidenciam a adoção de materiais inadequados às tensões decorrentes das condições de exposição que causam movimentações higrotérmicas, devido aos fenômenos gelo-degelo, quente-frio, molhagem-secagem, e cuja ação cíclica leva à fadiga e, por exemplo, perda de aderência entre as camadas do sistema. Nos casos em que o quadro de degradação já se encontra avançado, Bardelli (2003) afirma que a substituição pode ser a única alternativa – seja por um novo tipo de rocha com características iguais ou similares, ou ainda por uma rocha semelhante em aparência, porém de desempenho superior ou mais adequado às condições de exposição. Independente da alternativa adotada, o processo decisório deve estar embasado em análises criteriosas a respeito do sistema, suas partes e aos fatores de degradação que afetam a durabilidade do sistema, especificamente, e do edifício como um todo.

## **2.4 O CONTEXTO BRASILEIRO: SISTEMAS DE REVESTIMENTO EM ROCHA NA ARQUITETURA MODERNA**

Ao descrever o contexto brasileiro, os materiais disponíveis e a sua influência na arquitetura, Bruand (2003) afirma que, apesar de ser o principal material natural adotado na construção, a rocha era um recurso escasso no Brasil. Assim, seu uso em vedações foi substituído pelo tijolo de barro cozido devido à abundância do solo argiloso no território.

A rocha foi introduzida no contexto construtivo brasileiro pelos colonizadores portugueses, inicialmente para edificar alvenarias e ornamentos de fortificações e edifícios religiosos, que adotavam calcários, arenitos, gnaisses, entre outros. Até o século XX, sua extração era realizada em pequenas pedreiras, de modo rudimentar, por todo o território brasileiro (VIDAL et al., 2016). Nessa época, a despeito das jazidas existentes na Bahia, em Minas Gerais e no Rio Grande do

---

<sup>10</sup> Segundo Jokinen (2003), as placas de mármore Branco Carrara instaladas na fachada do *Finlandia Hall* em 1999 apresentaram deformação passados menos de dois anos. Consta no relatório de Team (2005) que enquanto os antigos painéis apresentaram uma deformação côncava, nos novos o dano se manifestou de modo convexo, o que resultou no aspecto que se observa na Figura 2.5(a).

Sul, prevalecia o uso do mármore importado, devido aos custos elevados de produção (VIDAL et al., 2016; BRUAND, 2003).

A partir da primeira década do século XX, a região de Mar de Espanha, em Minas Gerais, dominou a produção da rocha por várias décadas, seguida de Cantagalo e de Italva, no estado do Rio de Janeiro, e das regiões de Sete Lagoas e Ouro Preto, também em Minas Gerais. Assim como Cachoeiro de Itapemirim, no estado do Espírito Santo, essas regiões desempenham papel central no fornecimento das rochas de revestimento adotadas nas fachadas dos edifícios do período. No final da década de 1960, chapas brutas de mármore e, em seguida, de granito eram exportadas do Espírito Santo para o Rio de Janeiro e São Paulo, onde eram beneficiadas, polidas e revendidas (VIDAL et al., 2016).

As fachadas revestidas em rocha nos edifícios altos reúnem a expressão plástica do material e a inovação técnica atribuída aos sistemas em placas, buscadas pelos arquitetos modernos brasileiros, alinhados com o cenário mundial da arquitetura e da indústria da construção. Considerado este recorte, na sequência, são trazidas algumas obras arquitetônicas mais relevantes das quais se obtiveram informações sobre as características e a conservação dos sistemas de revestimento em rocha, a começar pelo Ministério da Educação e Saúde, construído no Rio de Janeiro entre 1936-1946.

O atual Palácio Capanema é considerado obra modelo da arquitetura moderna brasileira. Foi projetado em 1936 por uma equipe de jovens arquitetos brasileiros liderados por Lúcio Costa, da qual faziam parte nomes como Reidy e Niemeyer, tendo Le Corbusier como consultor (FICHER, 1991). Consiste em edifício alto de 16 andares sobre o térreo em pilotis, com a solução de empena revestida em placas de gnaisse, típica da região, além de mármore nas colunas e no bloco do auditório. Bruand (2003) registra o papel fundamental de Le Corbusier na escolha do “granito cinza e rosa” proveniente do Rio de Janeiro para as fachadas do MES. O arquiteto teria se manifestado contrário à importação de rochas, “quando podiam ser encontrados nas proximidades materiais com as mesmas qualidades” (BRUAND, 2003, p. 91).

Inaugurado em 1945, o MES foi tombado pelo Iphan apenas três anos depois e, desde então, passou por diversas intervenções<sup>11</sup>. Na década de 1990, ocorreu o destacamento de algumas placas do revestimento em rocha na fachada Sul, mais exposta à maresia. Nessa ocasião, foram

---

<sup>11</sup> As principais intervenções no edifício do Ministério da Educação e Saúde realizadas no âmbito de um planejamento global voltado à sua conservação ocorreram em três momentos: 1) Projeto de Recuperação e Preservação do Palácio da Cultura (1981-82), que consistiu basicamente no levantamento cadastral e na identificação dos sistemas prediais e elementos arquitetônicos; 2) Projeto de Restauração e Revitalização do Palácio Gustavo Capanema (1994 – 2001), que consolidou e sistematizou as informações coletadas na etapa anterior e tratou de soluções para problemas pontuais; 3) Projeto de Conservação e Modernização (em andamento desde 2012), que teve uma fase interna de estudos e projetos, seguidos da contratação dos serviços, que englobam intervenções nos sistemas de fachada e de cobertura (revestimentos em rocha, em pastilha cerâmica e em azulejos artísticos, as fachadas cortina e a impermeabilização de terraços). Informações obtidas em palestra proferida pelo arquiteto João Leal na Superintendência do Iphan, no Rio de Janeiro, em 20 de junho de 2017, seguida de visita técnica às obras de intervenção no atual Palácio Capanema.

realizados ensaios de percussão por meio de rapel e elaborados mapas de danos. Uma vez que as pedreiras do gnaiss original não estão mais ativas, exigiu-se a reposição por rochas de demolição serradas na mesma direção, obtidas de outras obras. Apesar desses problemas pontuais, os sistemas de revestimento em rocha das empenas são considerados íntegros, em bom estado de conservação<sup>12</sup>.

Em andamento desde 2012, o Projeto de Conservação e Modernização do edifício do MES engloba basicamente as propostas e os serviços para a recuperação dos sistemas de fachada e de cobertura, incluindo os de revestimento em rocha das empenas, da platibanda do auditório e das colunas do pilotis. Em parceria com o Instituto Mineral, foram avaliados os danos e os mecanismos de degradação nos sistemas em questão, sendo a poluição e a maresia os principais agentes de degradação. A platibanda do auditório foi afetada por uma fissura horizontal contínua, acompanhando a altura de laje, propagando fratura e destacamento para as placas, o que levou ao preenchimento da fissura por mastique e à consolidação das placas de gnaiss danificadas por meio de pinos. Na Figura 2.6, observa-se a pintura realizada sobre o mastique, a fim de tornar o reparo menos perceptível. Apesar do tratamento realizado, ainda está prevista uma avaliação estrutural para investigar as causas dos danos mencionados<sup>13</sup>.

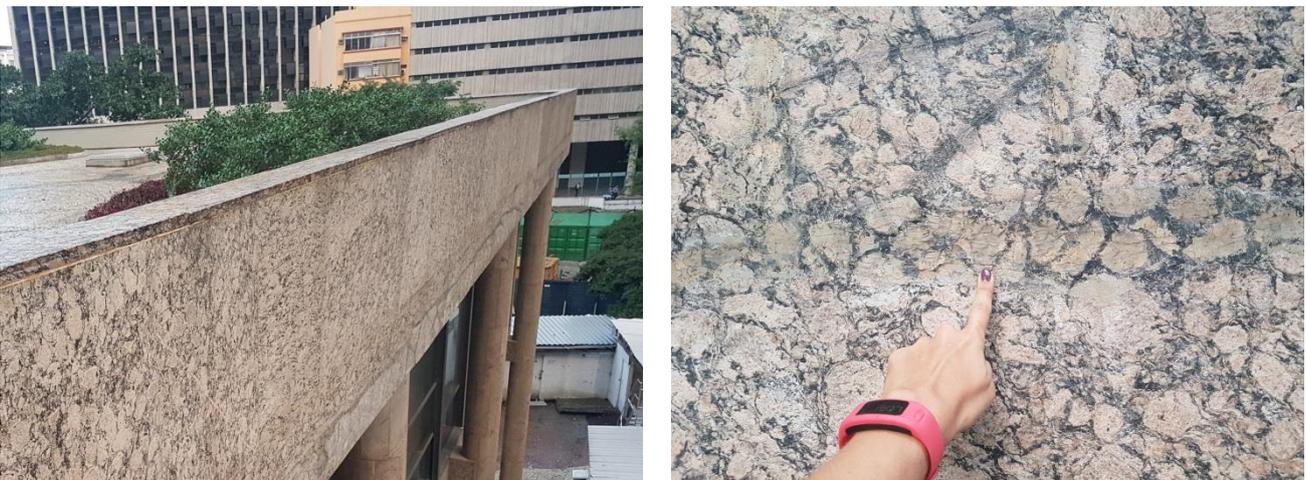


Figura 2.6: Palácio Gustavo Capanema (antigo MES) no Rio de Janeiro, 1945, projeto desenvolvido por equipe que inclui Lúcio Costa, Oscar Niemeyer, Affonso Reidy, entre outros, e Le Corbusier como consultor. a) sistema de revestimento em placa de rocha na platibanda do auditório; b) fissura contínua preenchida com mastique e acabamento final com pintura mimetizando a rocha. Foto: Autora, 2017.

O escritório MMM Roberto, no Rio de Janeiro, também teve notoriedade no cenário da arquitetura moderna brasileira, paralelamente ao início dos eventos que envolveram a concepção do MES. Destacam-se a Sede da ABI (Associação Brasileira de Imprensa) e o edifício do IRB (Instituto Brasileiro de Resseguros), edificações em altura que apresentam sistemas de rocha em placa nas fachadas. A sede da ABI, a mais conhecida deles, foi projetada em 1935 e construída em 1938, no

<sup>12</sup> Segundo o parecer do arquiteto João Leal, do Iphan, em 20 de junho de 2017.

<sup>13</sup> *Idem*.

Rio de Janeiro. Afirma-se, cronologicamente, como a primeira grande obra da arquitetura moderna brasileira (BRUAND, 2003). O edifício com estrutura em concreto armado de 11 andares adota granito tijuca e mármore travertino importado da Argentina nos pilares e fachadas.

Já o edifício do IRB (1941–1944), um dos primeiros a adotar elementos construtivos pré-fabricados no Brasil, tem fachadas configuradas pelos brises, pelas esquadrias e pelo revestimento em mármore, presente no coroamento e nos quadros de esquadrias (Figura 2.7a). Nos anos 2000, o surgimento de danos motivou intervenções no sistema de revestimento em mármore, que foram submetidos a serviços de limpeza, impermeabilização e consolidação das placas ao substrato (LACERDA; D’AFFONSECA, 2009). Os autores identificaram as manifestações patológicas no sistema (manchas, desgastes superficiais, escamação e destacamento das placas, além de falhas no rejunte) e investigaram as condições de exposição e as características da rocha por meio de ensaios (petrografia, absorção, envelhecimento acelerado e testes de sais solúveis), a fim de se detectar as causas para os danos. Foram testados e propostos métodos de limpeza, impermeabilização, consolidação e ancoragem das placas de mármore da fachada. As placas foram aparafusadas, sendo os furos utilizados também para injeção de produto adesivo (Figura 2.7b), com o objetivo de reintegrar a argamassa de assentamento e preencher os vazios entre a placa e o substrato (LACERDA; D’AFFONSECA, 2009).



(a)



(b)

Figura 2.7: Edifício do IRB no Rio de Janeiro, 1941-1944, MMM Roberto: a) vista da fachada. Foto: Leonardo Finotti; b) injeção do produto adesivo Compound para consolidação das placas. Fonte: Lacerda e D’Affonseca, 2009.

Niemeyer integrou a equipe que projetou o MES, mas a adoção dos sistemas de revestimento de fachada em rocha nos seus projetos remonta a fases anteriores da sua produção arquitetônica. Macedo (2008) analisa a produção de Niemeyer, com enfoque nas obras em Minas Gerais entre 1938 a 1955, e identifica que a rocha está presente desde a fase inicial do arquiteto, de influência de Lúcio Costa e referências coloniais, para se assumir como elemento fundamental na expressão formal dos Palácios de Brasília. São exemplos da fase inicial a adoção de quartzito no Hotel de

Ouro Preto (1940) e da rocha de revestimento em assentamento tipo canjiquinha<sup>14</sup> nas residências de Francisco Peixoto (1941) e de Lima Pádua (1943) (MACEDO, 2008).

Nas obras da Pampulha, Niemeyer realiza experimentações com materiais de revestimento, simultaneamente à construção do MES, no início da década de 50. Notam-se nas obras do período dois tipos de tratamento nas vedações verticais: a alvenaria recuada da estrutura e revestida com azulejos, e a parede cega junto ao perímetro do edifício, revestida com granito ou pastilhas (MACEDO, 2008).

Frasca e Neves (2016) investigam os tipos rochosos, em especial o mármore branco, adotado por Oscar Niemeyer nas obras da Pampulha e de Brasília, representativas da arquitetura moderna nacional. As autoras apontam a dificuldade de se localizar informações precisas na literatura a respeito da procedência das rochas, dos critérios de especificação, dos métodos de fixação, bem como orientações quanto às medidas de conservação. Identificam, no entanto, a intenção do arquiteto em privilegiar a adoção de materiais nacionais sobre os importados, conforme expressa em *Minha Experiência em Brasília* (NIEMEYER, 1961).

O Panteão da Liberdade e da Democracia Tancredo Neves<sup>15</sup>, em Brasília, apesar de ter sido uma adição posterior ao conjunto da Praça dos Três Poderes, de 1986, consiste em obra do arquiteto que apresenta sistema de revestimento em mármore branco nas fachadas do edifício principal e da torre com a pira, nos guarda-corpos das rampas, nas passarelas de acesso e nos muros escultóricos curvos. É de especial interesse a investigação de Castro e Bauer (2015) demandada pela Novacap, que indicou, entre outras medidas, a substituição do sistema de revestimento de fachada existente (placas de rocha fixadas por malha metálica embutida à argamassa do substrato) por “projeto com fachada ventilada usando perfis metálicos para a fixação das pedras”<sup>16</sup>.

Castro e Bauer (2015) descrevem a investigação por meio de inspeção visual preliminar com uso de binóculos, inspeção por meio de guindastes – com destaque à menção quanto à dificuldade de acesso às fachadas inclinadas –, e realização de ensaio de aderência do revestimento, a fim de investigar as características da argamassa do substrato à estrutura de concreto de base. As infiltrações de água, principalmente pela cobertura do edifício, foram apontadas como principal motivo para os danos encontrados (descolamentos e destacamentos de placas, eflorescências, corrosão da malha metálica de fixação e manchas) (Figura 2.8).

---

<sup>14</sup> Esse tipo de assentamento também se faz presente no pavimento semienterrado do Palácio da Alvorada, conforme verificado pela autora em visita técnica realizada em 20 de setembro de 2018.

<sup>15</sup> Esta denominação consta na Ficha de Tombamento do Iphan cód. ON 014, 2007, e no site da Fundação Oscar Niemeyer, <<http://www.niemeyer.org.br/obra/pro195>>, acessado em agosto de 2018.

<sup>16</sup> Almeida (2012) menciona entrevista realizada a arquiteto que acompanhou as obras de substituição do sistema de revestimento do Panteão de Brasília por “painéis do mesmo mármore fixados por meio de insertos de aço inox, após serem impermeabilizadas as partes envolvidas no assentamento” (ALMEIDA, 2012, p. 153).



Figura 2.8: Panteão Tancredo Neves em Brasília, 1986, Oscar Niemeyer: a) destacamento de placa e armadura exposta; b) mancha de oxidação devido à corrosão dos elementos de fixação e ancoragem das placas.  
Fonte: Castro e Bauer, 2015.

Nos palácios de Brasília inaugurados em 1960, o uso de rochas de revestimento nas fachadas adquire relevância indiscutível na expressão arquitetônica. A despeito do papel principal da estrutura na expressão formal nessa fase do trabalho de Niemeyer, o uso do “mármore caprichosamente trabalhado e esquadrias ritmadas são dois exemplos dos principais aspectos que conferem evidente unidade aos edifícios” (SILVA, 2012a, p. 79).

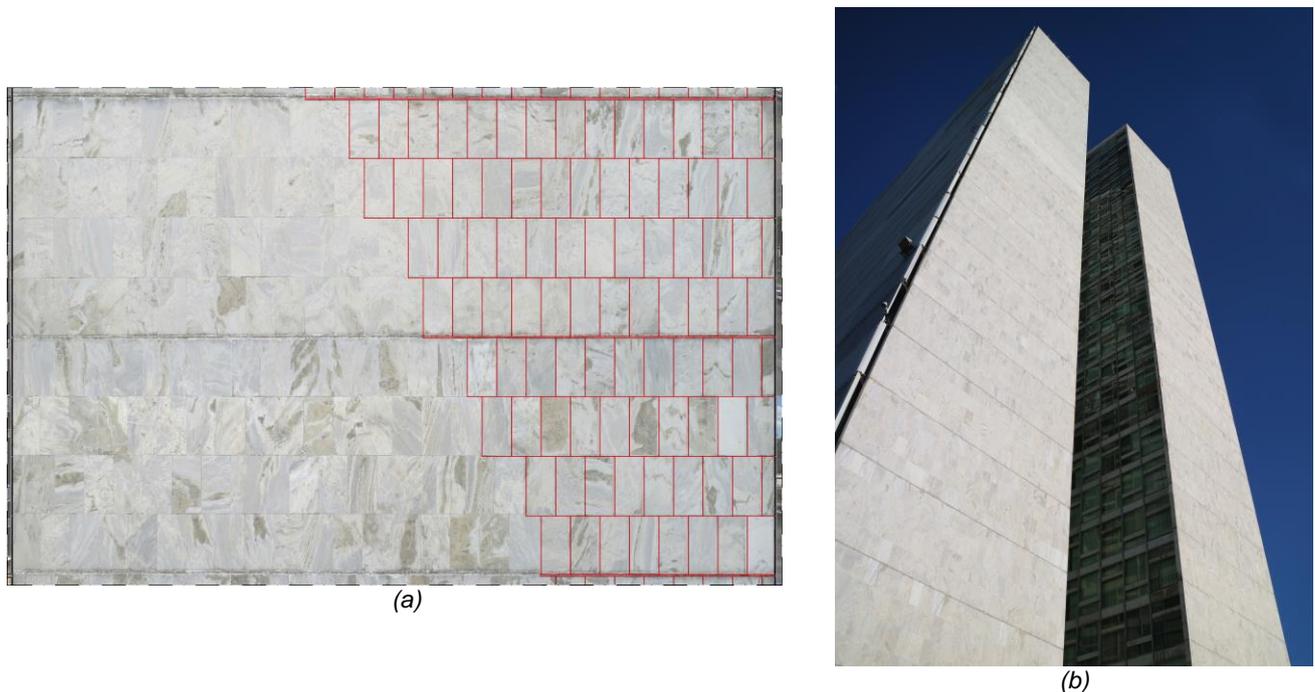


Figura 2.9: Sistema de revestimento em mármore nas torres do Palácio do Congresso Nacional em Brasília, 1960, Oscar Niemeyer. a) paginação das placas, redesenho sobre ortomagem de trechos da fachada, Fonte: Autora, 2019; b) vista das empenas Noroeste. Foto: Autora, 2017.

No contexto da esplanada e da praça cívica da capital do Brasil, destacam-se as empenas revestidas em mármore branco das torres do Congresso Nacional. O assentamento das placas se dá em juntas alternadas, mas prevalecem as juntas que marcam os pavimentos e “parecem

hierarquizar as linhas horizontais resultantes da estereotomia adotada” (MACEDO; SILVA, 2011). Os autores abordam o edifício sob a óptica da tectônica e identificam valores compositivos e construtivos clássicos, presentes inclusive na “escolha e disposição dos revestimentos” (Figura 2.9).

Frente às diferentes estratégias estruturais adotadas no partido arquitetônico do Congresso Nacional com relação ao bloco horizontal, às cúpulas e às torres, é fundamental o entendimento amplo de ordem tectônica como sendo a expressão dos processos construtivos. Assim, para o palácio, esta ordem deve ser lida mediante a articulação coesa de seus elementos construtivos, tais como a malha estrutural de pilares dos blocos constituintes, as esquadrias e os revestimentos em placas de mármore (MACEDO; SILVA, 2011).

## **2.5 DURABILIDADE E CONSERVAÇÃO DOS SISTEMAS DE REVESTIMENTO EM ROCHA**

Durabilidade é a capacidade do edifício e seus sistemas de desempenhar suas funções ao longo do tempo e sob condições de uso e manutenção especificadas, até um estado-limite de utilização (ABNT, 2013b). Influem na durabilidade dos sistemas as características de suas camadas, como a composição e as dimensões, os requisitos de desempenho conforme as funções a serem asseguradas e as condições de uso e exposição atuantes. A seguir, os sistemas de revestimento em rocha serão abordados quanto a esses aspectos.

### **2.5.1 O material rochoso**

Em contraste com outros materiais produzidos pelo homem, a origem natural da rocha contribui para a formação de uma imagem de resistência e durabilidade, que supostamente dispensaria cuidados voltados à obtenção de uma maior longevidade. Acresce que há diversos desafios na especificação e na conservação desse material, em parte devido à grande variação de características e de comportamento entre os tipos existentes.

Cumprir diferenciar a rocha de revestimento (*building stone*), objeto de estudo desta pesquisa, da rocha ornamental (*monumental stone*). A última é definida pela ASTM (2012) como rocha de qualidade adequada para ser lavrada e cortada como rocha dimensionada, tal qual existe na natureza e ser usada pela indústria de monumentos e memorial. Por sua vez, a rocha para revestimento consiste na rocha ornamental submetida a diferentes tipos de beneficiamento e utilizada no revestimento de superfícies, especialmente pisos, paredes e fachadas (ABNT, 2013a). Seu beneficiamento inclui a extração dos blocos, o desdobramento em chapas, o processamento e o corte em placas e ladrilhos (FRASCÁ, 2014).

Quanto à origem, as rochas podem ser classificadas como metamórficas, sedimentares ou magmáticas (ígneas), e dessas três classes derivam diversos tipos. Normalmente, o nome comercial atribuído às rochas de revestimento difere da sua denominação geológica, sendo o granito e o mármore as mais empregadas (HERZOG et al., 2004).

O mármore consiste em rocha metamórfica carbonática, constituída predominantemente por calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) e/ou dolomita  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  (ABNT, 2013a), o que leva à denominação de calcita mármore ou dolomita mármore. Nesse grupo, é comum a inclusão de todas as rochas carbonáticas passíveis de polimento, apesar da composição mineralógica e das origens distintas (SILVA, 2009). Desse modo, o nome “mármore” pode ser adotado de modo a englobar calcários (*limestones*), dolomitos sedimentares e travertinos (como o Bege Bahia, muito difundido no Brasil), que embora sejam rochas carbonáticas, distinguem-se dos mármore propriamente ditos por não terem sofrido recristalização metamórfica, o que interfere nas propriedades físicas, resultando, por exemplo, em um menor índice de lustro e brilho em faces polidas (CHIODI FILHO; RODRIGUES, 2009).

A diversidade de tipos de mármore comerciais demonstra a variação na sua composição e, conseqüentemente, no seu comportamento. O famoso mármore Branco Carrara, oriundo da cidade italiana de mesmo nome, por exemplo, consiste em mármore predominantemente calcítico de cor branca, no qual é comum a presença de sulfetos de ferro (pirita). O mármore Branco Espírito Santo, um tipo comumente encontrado no território nacional, é composto quase que exclusivamente por dolomita (FRASCÁ, 2014). Esse também é o caso da rocha adotada nos palácios de Niemeyer para Brasília, o mármore Branco Italva<sup>17</sup>, predominantemente dolomítico.

No Brasil, há grande diversidade de rochas utilizadas na construção, mas os granitos correspondem a quase metade do total produzido (CHIODI FILHO; CHIODI, 2009). Hoje, o Espírito Santo é o maior produtor de mármore e granitos, especificamente a região de Cachoeiro de Itapemirim, onde ocorre o beneficiamento de quase a totalidade da produção do estado (VIDAL et al., 2016). Minas Gerais, outro importante polo de lavra do país, apresenta produção mais diversificada e inclui granitos, ardósias, quartzitos, pedra-sabão, pedra-talco, serpentinito, itabirito, entre outros (CHIODI FILHO; CHIODI, 2009).

Por ser extraída da natureza, a rocha de revestimento tem características e comportamento que variam bastante em função do tipo e da jazida de origem. Além disso, certas impurezas podem comprometer o uso do produto como rocha de revestimento por alterar a cor e provocar escurecimento da rocha, como, por exemplo, a presença de ferro nas formas de carbonato, óxidos e sulfetos, além da sílica e de matéria orgânica (SAMPAIO; ALMEIDA, 2008). A variação das

---

<sup>17</sup> Na época da construção de Brasília, foram adotados em seus monumentos rochas de diversos tipos, com destaque para o mármore branco proveniente do estado do Rio de Janeiro, mais especificamente do município de Italva e, por isso, denominado mármore Branco Italva (VENEZIANI, 1989; SILVA, 2012; FRASCÁ; NEVES, 2016).

propriedades em um mesmo tipo de rocha dificulta a identificação e o combate dos fenômenos responsáveis pela redução no desempenho dos sistemas que integram.

A correta especificação da rocha de revestimento deve valer-se da observação de aspectos específicos, tais como a disponibilidade, a estética, a presença de veios, a aceitação a determinado processo de acabamento de superfície, a textura, a estrutura, a mineralogia e petrografia, bem como as propriedades físicas e físico-mecânicas (ABNT, 2010).

A disponibilidade na pedreira deve ser considerada para atender à demanda não apenas para a construção do edifício, mas inclusive ao longo do uso e da operação, de modo a se prever eventuais ações de intervenção, no âmbito de sua conservação.

A estética consiste na escolha de cores, de padrão de veios e de características relacionadas ao beneficiamento da rocha, como dimensões de placas e tipos de acabamento (ABNT, 2010). Deve-se verificar, portanto, a aceitação a determinados processos de acabamento, a fim de se obter o aspecto desejado em projeto. Almeida (2012) ressalta que considerar apenas a questão estética na especificação de rochas para sistemas de revestimento de fachada pode levar à perda de desempenho dos componentes, e, por conseguinte, dos sistemas e das edificações.

O beneficiamento da rocha compreende as etapas de: desdobramento ou serragem, quando os blocos são transformados em chapas semiacabadas; e de acabamento, que confere as características do produto final: forma, dimensões e aspecto superficial. Os tipos de acabamentos de superfície são levigamento, flamejamento, apicoamento, polimento e lustro<sup>18</sup> (FLAIN, 2017).

A textura e a estrutura, por sua vez, são parâmetros importantes e por vezes confundidos, contudo distintos, sendo o primeiro relativo aos grãos (partículas) da rocha, seu tamanho, forma e arranjo espacial, enquanto o segundo compreende a orientação e a posição de massas rochosas, além de feições resultantes de processos geológicos específicos (STELLIN, 2007; FRASCÁ, 2014).

Para Oliveira (2011), a textura é um fator fundamental no estudo da conservação das rochas, juntamente da dureza e da susceptibilidade ao intemperismo. Ela reflete o grau de coesão da rocha, de modo a influenciar as resistências mecânicas e a porosidade (FRASCÁ, 2014). Por meio de ensaios *in loco* de diferentes tipos de mármore para o edifício do *Finlandia Hall*, sujeitos às mesmas condições de exposição, Jokinen (2003) conclui que essa propriedade interfere na resistência da rocha à deformação – as placas compostas por grãos irregulares e de maior interconectividade entre si apresentavam melhor desempenho quando comparadas às de grãos de

---

<sup>18</sup> Quanto aos processos de acabamento de superfície, o levigamento é o desbastamento da superfície da rocha por abrasivos, de modo a se obter uma superfície plana e áspera; o flamejamento é um processo, aceito apenas por granitos, de obtenção de efeito áspero por meio de choque térmico; o apicoamento se trata de um processo realizado manual ou mecanicamente para tornar a superfície rugosa (antiderrapante); o polimento retira a aspereza da pedra, deixando-a lisa, porém sem brilho, por meio de processos abrasivos que fecham os poros da superfície da placa; e o lustro fornece brilho superficial (FLAIN, 2017).

formato redondo e arranjo regular. Prado et al. (2013), por sua vez, atribui o grau de interconexão da estrutura interna da rocha e o ambiente externo a uma maior porosidade do material.

A investigação da rocha de revestimento no tocante à mineralogia e à petrografia é fundamental no projeto de sistemas de fachada, com a finalidade de verificar sua adequação ao uso proposto e às condições de exposição às quais está sujeito o edifício. É relevante, ainda, como subsídio à conservação desses materiais, parte dos sistemas de revestimento, na medida em que contribui na compreensão do seu comportamento frente aos agentes de degradação. A composição mineralógica de uma rocha reflete sua composição química e as condições de formação e de alteração de cada mineral que a compõem, fatores que podem influenciar a sua durabilidade (ABNT, 2010; FRASCÁ, 2014). É o caso das manchas de oxidação nas fachadas decorrentes da alteração de minerais ferrosos como a biotita, a granada e a pirita (ALMEIDA, 2012).

Quanto às propriedades físicas e físico-mecânicas, a especificação deve atender ao uso, ou seja, à função que a rocha cumpre na edificação (ABNT, 2010), enquanto camada externa de acabamento de sistemas de revestimento de fachada, conforme a delimitação da pesquisa. Nesse sentido, a densidade, a absorção de água, a porosidade aparente, a capilaridade, a dilatação térmica e a dureza são as principais propriedades físicas a serem consideradas.

A densidade se relaciona ao peso da rocha, parâmetro fundamental no cálculo de cargas em construções, particularmente para o dimensionamento de sistemas de ancoragem (o conjunto base-dispositivos de fixação). A absorção d'água é a capacidade de o material assimilar a água, propriedade importante devido ao seu papel como agente de alteração e degradação. As características intrínsecas das rochas que influenciam nesse quesito são a porosidade aparente, a compacidade, a permeabilidade (ou capilaridade) e a higroscopicidade<sup>19</sup> (FRASCÁ, 2014; SILVA, 2009). O coeficiente de dilatação térmica linear fornece o parâmetro de dilatação e contração, ou seja, de variação nas dimensões e no volume do material rochoso ao aquecer e esfriar. A dureza, por fim, corresponde à resistência do mineral à abrasão, e pode ser medida por meio da resistência oferecida ao risco na superfície do material (FRASCÁ, 2014).

Os parâmetros de resistência mecânica mais relevantes para a delimitação da pesquisa são a resistência à compressão, para o suporte de cargas e do peso próprio, e a resistência à flexão, requerida para suportar a ação do vento em caso de placas ancoradas por estrutura metálica. A estrutura e a granulação aparecem como características que influenciam a resistência mecânica, sendo que rochas com granulação mais fina geralmente são mais resistentes. Também a heterogeneidade dos grãos interfere na resistência, pois cristais maiores configuram pontos de vulnerabilidade, mais suscetíveis à ruptura (FRASCÁ, 2014).

---

<sup>19</sup> A higroscopicidade é tida como a propriedade das rochas de absorverem e armazenarem a umidade existente no ambiente.

O Quadro 2.1 reúne os principais requisitos de desempenho para o mármore, segundo a ASTM C 503 (ASTM, 2015) em comparação aos do granito, retirados da NBR 15844 (ABNT, 2015a), principais rochas adotadas em sistemas de revestimento de fachada<sup>20</sup>.

Quadro 2.1 – Requisitos de desempenho para mármore e granitos

Norma	Tipo de Rocha	$\rho$	$\alpha$	$\sigma_c$	$\sigma_f$
ASTM C 503	Calcita mármore	$\geq 2.595$	$\leq 0,2$	$\geq 52,0$	$\geq 7,0$
	Dolomita mármore	$\geq 2.800$			
ABNT 15844	Granito	$> 2.550$	$< 0,4$	$> 100,0$	$> 8,0$

Em que:  $\rho$  = densidade aparente ( $\text{kg/m}^3$ );  $\alpha$  = absorção d'água (%);  $\sigma_c$  = resistência à compressão uniaxial (MPa);  $\sigma_f$  = resistência à flexão (MPa).

Fonte: Autora, 2019.

Do quadro se apreende que os requisitos para os tipos de mármore diferem entre si quanto à densidade aparente mínima ( $\rho$ ), a depender da predominância do mineral calcita ou dolomita, sendo maior para os mármore predominantemente dolomíticos. Contudo, a absorção de água consiste no fator de maior importância no caso dos mármore: o índice máximo de absorção de água ( $\alpha$ ) admitido para esse tipo de rocha corresponde à metade daquele recomendado para o granito, provavelmente devido à maior porosidade que, em geral, torna o mármore mais suscetível à degradação por ação da água. Por outro lado, os requisitos mínimos de resistências mecânicas para os mármore são menores do que os do granito<sup>21</sup>.

### 2.5.2 Sistemas de revestimento de rocha em placas

Para compreender o comportamento dos sistemas de revestimento em rocha nas fachadas dos edifícios e as medidas necessárias para a sua conservação, é preciso identificar as camadas integrantes. O sistema de fachada em análise é aquele composto pelas camadas de acabamento e fixação (placas de rocha, camada de fixação, juntas de assentamento e rejunte), substrato, preparo de base e base, além das juntas de movimentação e de dilatação.

A depender da aplicação, se em plano predominantemente horizontal ou vertical, a rocha de revestimento pode integrar sistemas de piso ou de parede/fachada, que podem ser classificados em aderidos ou não aderidos, conforme o tipo de fixação da camada de acabamento à base (ABNT, 2017b).

Apesar de os parâmetros normativos atuais não permitirem mais a adoção dos sistemas do tipo aderido como solução para a fixação de placas de rochas em fachadas de edifícios altos, é necessário abordar esse tipo de sistema diante da necessidade de estudar a conservação do

<sup>20</sup> A ABNT não estabelece requisitos para o mármore ou calcário, apenas para o granito, por meio da NBR 15844:2015 (ABNT, 2015a), que remete às normas NBR 15845 partes 2, 5, 6, 7 para a realização dos ensaios correspondentes.

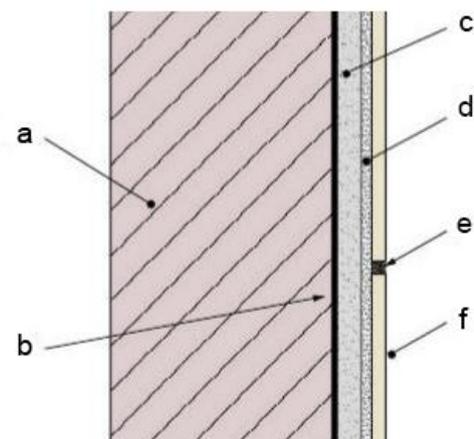
<sup>21</sup> No tocante à comparação entre normas brasileiras e americanas, Frascá (2014) afirma que ambas as normativas adotam abordagens semelhantes na produção de dados, o que torna possível sua comparação. De fato, os valores apresentados pela NBR 15844 (ABNT, 2015a) para o granito são próximos aos trazidos pela norma internacional correspondente, a ASTM C 615 – *Standard specification for granite dimension stone*, conforme se observa em Frascá (2014, p. 83).

patrimônio moderno, no qual seu uso é recorrente. Os motivos para essa mudança normativa se relacionam aos riscos atribuídos aos sistemas que dependem total ou prioritariamente da capacidade de aderência da argamassa de assentamento.

Nos sistemas de revestimento aderidos ou de revestimento fixado em argamassa de assentamento, a camada de acabamento e o substrato formam um conjunto contínuo e rígido (PAIVA, 2003). Caracterizam-se pela base, superfície sobre a qual são aplicadas as demais camadas; o chapisco, camada de preparo da base que uniformiza a superfície quanto à absorção e melhora a aderência do revestimento; o emboço ou substrato, que regulariza a superfície para receber a próxima camada; a camada de fixação com argamassa de assentamento; e a camada de acabamento com a placa de revestimento, a rocha, no caso. Por fim, o rejunte compõe as juntas entre as placas (ABNT, 2017b) (Figura 2.10). Além disso, recursos para proporcionar uma maior aderência das placas de rocha ao substrato podem ser adotados, como a previsão de tela metálica embutida na argamassa do emboço (CHIODI; RODRIGUES, 2009; CASTRO; BAUER, 2015; FLAIN, 2003), ou de grampos, pinos e arames metálicos (SILVA, 2009; PRUDON, 2008; BARELLI et al., 2003).



(a)



(b)

Legenda: a) base; b) chapisco (preparo da superfície); c) emboço ou substrato; d) argamassa de assentamento ou colante (camada de fixação); e) rejunte; f) placa de rocha (camada de acabamento).

Figura 2.10: Sistema de revestimento aderido: a) exemplo de destacamento de placa de rocha fixada ao substrato com argamassa de assentamento. Fonte: Camposinhos, 2014; b) desenho esquemático das camadas do sistema aderido. Fonte: adaptado de ABNT, 2017b.

Camposinhos (2014) menciona as recorrentes falhas devido às tensões geradas pela conexão rígida e a restrição dos movimentos higrotérmicos das camadas, além dos vazios de argamassa decorrentes de problemas no assentamento das placas de revestimento. Paiva (2003) cita a desvantagem da solução de fixação aderida para rochas de revestimento quanto ao aparecimento de danos como fissuras e eflorescências decorrentes da entrada de umidade pela camada de revestimento e percolação às camadas mais internas, até chegar à base – o que não ocorre na utilização de insertos devido ao afastamento entre as camadas.

Quanto aos sistemas de revestimento não aderidos, ocorrem nos casos em que as placas de revestimento são fixadas ao substrato ou base por meio de componentes mecânicos (estrutura secundária, insertos metálicos, pinos, parafusos e outros dispositivos), sendo possível a existência de uma câmara de ar ou de material isolante térmico entre as camadas (ABNT, 2017b; BATISTA; OLIVEIRA, 2016). Segundo Flain (2003), os componentes metálicos incorporados no projeto desse tipo de sistema racionalizam o processo de assentamento.

Conforme o detalhamento, há diversos tipos de soluções de fixação não aderidas para sistemas de revestimento de rocha em fachadas, como a ancoragem por pinos, por parafuso, por insertos inferiores ou retentores, as fachadas cortina e as fachadas ventiladas (CAMPOSINHOS, 2014; BATISTA e OLIVEIRA, 2016). A Figura 2.11 apresenta um exemplo de sistema não aderido com ancoragem da placa de rocha à base por meio de sistema de pino, onde se observam os componentes de fixação e as camadas do sistema de fachada.

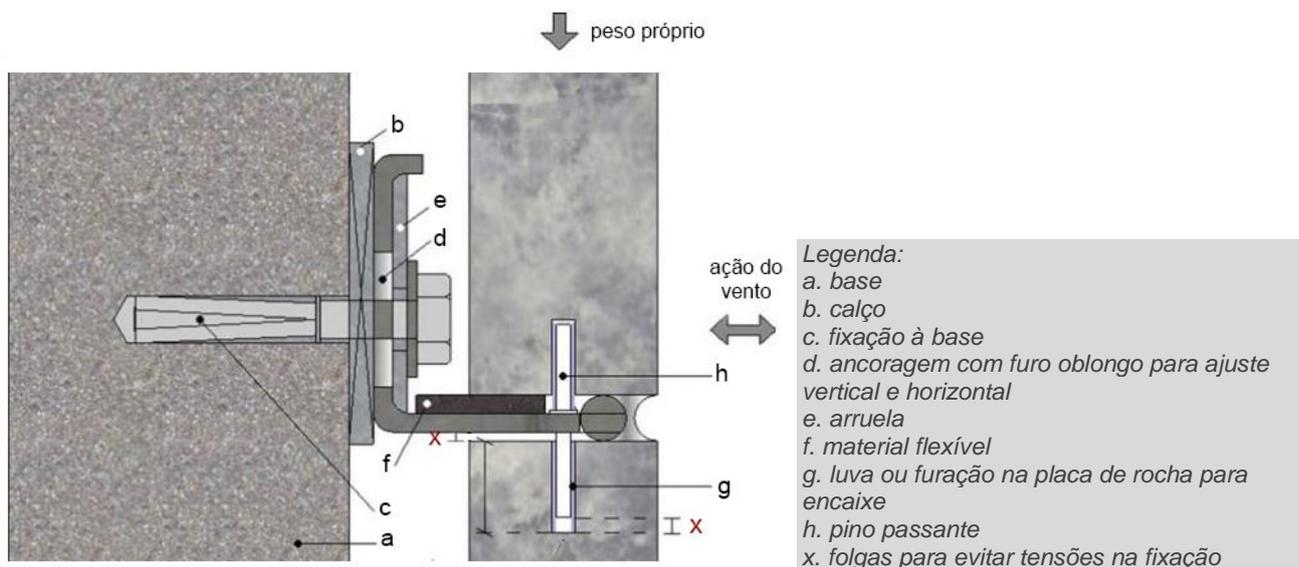


Figura 2.11: Sistema não aderido: seção típica de ancoragem por pino para sistema de revestimento em rocha.  
Fonte: adaptado de Camposinhos, 2014.

A solução de fixação por meio de pinos possibilita a adoção de placas com espessura reduzida, até 2 cm de espessura, e traz a vantagem de eliminar a fragilidade do ponto de contato do inserto com a placa de rocha (PAIVA, 2003). Convém destacar na Figura 2.11 o papel da furação oblonga para ajuste horizontal e vertical (item “d”), tipo de detalhe resultante da evolução da técnica, com a constatação da necessidade de se permitir a movimentação das partes do sistema. A previsão de um ajuste dimensional mínimo nos dispositivos de fixação tem a finalidade de acomodar as deformações decorrentes de variações volumétricas dos componentes, acrescidas do ajuste às tolerâncias de fabricação e de montagem dos componentes (OLIVEIRA, 2009).

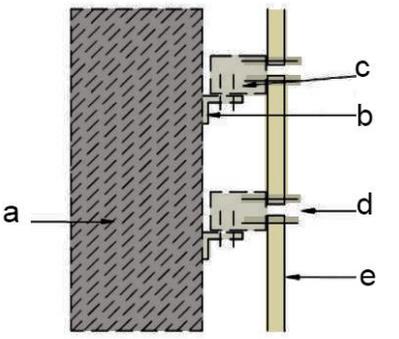
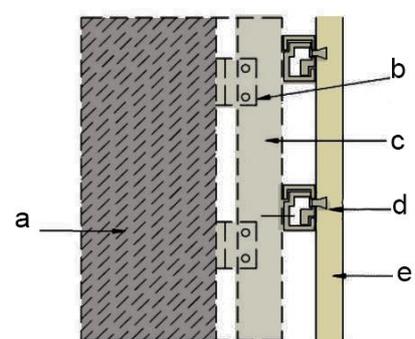
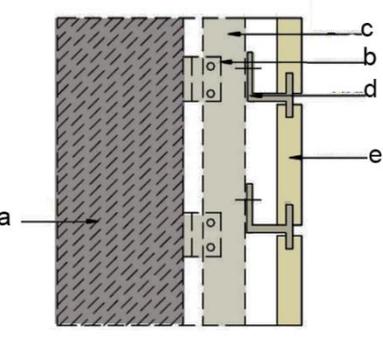
A NBR 15846:2010 (ABNT, 2010) define dois tipos de insertos metálicos para sistemas de revestimento não aderido de acordo com a função: os sustentadores, que suportam o peso das

placas, e os retentores com a finalidade de impedir as peças de caírem. São geralmente constituídos por três partes, que podem ou não integrar uma peça única: 1) a fixação à base, do tipo parafuso ou chumbador; 2) a parte constituída por barra, cantoneira ou outro perfil metálico com dispositivo de regulagem a fim de posicionar adequadamente a placa; e, 3) a fixação às placas, passíveis de serem identificadas na Figura 2.11, respectivamente pelos itens “c”, “d” e “h”.

Diversas vantagens são atribuídas aos sistemas não aderidos em comparação aos aderidos, como o incremento da inércia térmica e a não retenção de umidade nas camadas. Os sistemas desse tipo podem incrementar a estanqueidade da fachada, desde que esse critério seja observado também para o sistema de vedação vertical externa e suas partes. Além disso, demandam um controle tecnológico propiciado pela industrialização no setor construtivo (BATISTA E OLIVEIRA, 2016). Se, de um lado, essas soluções racionalizam a instalação do sistema de revestimento, de modo a economizar tempo de obra, por outro, são geralmente mais onerosas. Por fim, os sistemas de revestimento não aderidos são um recurso a se considerar para os casos de intervenções em edificações existentes, uma vez que sua instalação como uma pele externa à fachada existente é possível, desde que os pontos de sustentação e de estabilização da estrutura sejam cuidadosamente estudados.

As soluções técnicas existentes para sistemas não aderidos foram sistematizadas por Batista e Oliveira (2016), considerando tipos variados de revestimento (madeira, metal, cerâmica, placa cimentícia etc.). O Quadro 2.2 contém as três soluções apresentadas para a rocha de revestimento em placa, com desenho esquemático e descrição dos sistemas, que, conforme se observa, são compostos pela base, a fixação à base, a estrutura secundária (que cumpre a função de regulagem mencionada pela ABNT 2010b), a fixação às placas e a camada de acabamento em placas de rocha.

Quadro 2.2: Soluções para sistemas de revestimento não aderido com placas de rocha.

Solução 01	Solução 02	Solução 03
		
<p>1. Placas de rocha fixadas mecanicamente à estrutura secundária por meio de pregos, parafusos, rebites ou outros dispositivos em aço com proteção contra corrosão, aço inoxidável ou liga de alumínio.</p> <p>2. Placas de rocha fixadas mecanicamente à estrutura secundária por ancoragem posicionada em um rebaixo, sustentada por intertravamento mecânico (mínimo de 4 ancoragens em aço inoxidável).</p> <p>3. Placas de rocha instaladas em estrutura horizontal composta por trilhos de alumínio ou pinos de aço inoxidável, aparafusada à estrutura secundária vertical.</p>		
<p>Legenda: a. base; b. fixação à base; c. estrutura secundária; d. fixação às placas; e. placa de rocha.</p>		

Fonte: adaptado de Batista e Oliveira (2016).

Nos sistemas de revestimento devem ser previstas juntas, detalhes construtivos que visam aliviar as tensões geradas por movimentações das camadas devido às variações na temperatura e na umidade. Recebem a classificação de juntas estruturais, de assentamento, de movimentação e de dessolidarização (ROSCOE, 2008). De modo complementar, a norma NBR 13.755 (ABNT, 2017b) para sistemas de revestimentos cerâmicos sobre parede traz a classificação de juntas em horizontais e verticais.

Por juntas estruturais se entendem aquelas que separam os elementos da estrutura. As juntas de assentamento encontram-se entre as placas de revestimento, devendo aliviar parte das tensões nelas atuantes; enquanto as de movimentação, geralmente mais largas que as anteriores, devem aliviar as tensões adicionais originadas pela movimentação da base ou substrato. Por seu turno, as juntas de dessolidarização são previstas para absorver as tensões na interface de diferentes elementos do sistema de revestimento ou nas mudanças de plano, com o objetivo de se evitar vínculos que resultariam em danos devido às movimentações higrotérmicas das partes e as tensões geradas (ABNT, 2017b; ROSCOE, 2008).

Paiva (2003) sugere para os sistemas de fixação de placas de rocha por meio de insertos metálicos, a execução de uma calafetagem elástica nas juntas, por meio de silicone estrutural de cura neutra, de modo a permitir a movimentação de até 50% da abertura.

### **2.5.3 Requisitos de desempenho dos sistemas de revestimento em rocha**

A Norma de Desempenho NBR 15575-4: Sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE (ABNT, 2013d) estabelece requisitos gerais para vedações verticais externas, que podem ser estendidos aos sistemas de revestimento de fachada, tais como: o desempenho estrutural, a estanqueidade, a durabilidade, o desempenho térmico e acústico, a manutenibilidade, a funcionalidade e a segurança. Esses requisitos devem ser associados às normas específicas de projeto, instalação e conservação dos sistemas em estudo.

As propriedades físico-mecânicas das camadas do sistema, particularmente da base, influenciam as características de ancoragem, condicionando a escolha do tipo de fixação, bem como o dimensionamento das placas de rocha (ABNT, 2017b). A rocha de revestimento, já abordada quanto às características técnicas e requisitos (ver 2.5.1), consiste na camada de acabamento dos sistemas aqui abordados, com as funções de proteção à base, estanqueidade, isolamento térmico e acústico, além de função estética, uma vez que configura o acabamento final aparente das vedações.

No tocante às soluções de fixação, atualmente são adotados os requisitos constantes na norma 15846 (ABNT, 2010) para o projeto, a execução e a inspeção de revestimento de fachadas de

edificações com placas de rochas fixadas por insertos metálicos<sup>22</sup>, que prevê os seguintes itens a serem contemplados nos projetos:

- avaliação dos esforços atuantes por ação dos ventos;
- plantas, cortes e vistas do sistema com indicação dos insertos;
- detalhes construtivos com previsão dos encaixes, ranhuras ou furações nas placas, insertos, juntas de dilatação, tipos de fixação ao suporte etc.;
- memorial descritivo com especificações dos materiais e serviços;
- especificação da tolerância máxima permitida para desvios de prumo, esquadro e planicidade da camada de acabamento;
- observações quanto à segurança e à durabilidade do revestimento, no tocante a eventuais sobrecargas e a alterações por agentes de degradação.

No escopo exigido pela norma, consta a apresentação de um roteiro de inspeções periódicas para se verificar os componentes do sistema: os selantes quanto à continuidade, adesão, coesão e presença de fissuras; os insertos quanto ao surgimento ou não de corrosão; e as placas de rocha com relação a eventuais deslocamentos (ABNT, 2010).

Quanto ao detalhamento dos insertos, recomenda-se o uso de ligas metálicas de elevadas resistências mecânicas e à corrosão, preferencialmente aço inoxidável<sup>23</sup>. Para aqueles que desempenham simultaneamente a função de retentores e sustentadores, devem ser previstas folgas mínimas de 2 mm para garantir a livre movimentação entre eles e as placas de rocha (item “x” indicado na Figura 2.11). Adicionalmente, os furos e as ranhuras previstos nas placas de rocha devem ser maiores em 1 mm no diâmetro ou na largura, e 5 mm na profundidade, de modo a facilitar o encaixe dos pinos e perfis do sistema de ancoragem e mitigar tensões nos pontos de fixação (ABNT, 2010).

Os sistemas auxiliares de fixação devem suportar o peso próprio das placas e as cargas perpendiculares ao plano devido à ação dos ventos, além de serem projetados e especificados para absorver as tensões das diversas camadas existentes (ABNT, 2010; ABNT, 2017b). Para tanto, devem ser previstos todos os tipos de juntas conforme a necessidade – estruturais, de assentamento, de movimentação e de dessolidarização –, devendo haver coincidência em comprimento e largura com as juntas da base (ABNT, 2010). O projeto desses sistemas deve

<sup>22</sup> O assentamento de placas de rochas nas fachadas de edifícios altos por meio de sistemas aderidos é vedado desde a publicação da norma NBR 13707 em 1996 (cancelada e substituída pela NBR 15486:2010), que determinava o uso de “grampos fixados em telas, preferencialmente eletrossoldadas” para a ancoragem das placas de rocha entre 3 e 15 metros, e, acima dessa altura, a fixação por dispositivos metálicos” (ABNT, 1996).

<sup>23</sup> Aço inoxidável do tipo ABNT 304 e ABNT 316 (ou outros tipos de ligas com características iguais ou superiores), o último para atmosferas urbanas mais agressivas, com a presença de cloretos, segundo as normas técnicas ABNT NBR 5601 e ABNT NBR NM 133 (ABNT, 2010).

considerar, ainda, o correto dimensionamento e especificação do material de preenchimento ou selante, de modo a evitar manifestações patológicas como fissuras e destacamentos decorrentes da restrição à dilatação e contração das camadas.

#### 2.5.4 Ensaios *in situ* e laboratoriais

Os indicadores de degradação são atributos preferencialmente quantificáveis que expressam a severidade da degradação e seu impacto no desempenho do produto. Podem ser a variação de cor ou de brilho, a alteração de propriedades físicas como resistência, entre outros (JOHN; SATO, 2006). Ressalta-se a importância de conhecer as características química, física e microestruturais dos materiais, pois sua alteração pode acarretar perda de desempenho.

*A compreensão exata da combinação de agentes de degradação e mecanismos de degradação depende da identificação das alterações das propriedades físico-químicas que a degradação provoca nos materiais (JOHN; SATO, 2006, p. 40).*

Além da inspeção visual, os ensaios *in loco* de aferição de danos nos sistemas de revestimento em rocha incluem teste de percussão, teste de penetração de corantes para detecção de fissuras, testes de resistência para aferir a integridade do sistema e da ancoragem, e testes de propagação de ondas ultrassônicas para detecção de fissuras (ABNT, 2015a; FRASCÁ, 2014; REDDING, 1997).

A perda de aderência entre as camadas do sistema de revestimento (descolamento das placas de acabamento com relação à camada de fixação, ou do substrato com relação à base), pode ser verificada mediante testes de percussão ou inspeção visual, por meio da observação da deformação geométrica (estufamento) do componente que se projeta do plano da fachada (CAMPANTE; BAÍA; 2003).

Além disso, há ensaios laboratoriais específicos voltados para a investigação do tipo de rocha a ser adotado nos edifícios. A análise petrográfica de rochas, por exemplo, é realizada por meio da leitura macroscópica – geralmente o primeiro recurso adotado, que se atém a aspectos como a cor e a estrutura – e da observação microscópica, com a qual são descritas a mineralogia, a textura e a granulação. É uma ferramenta adotada na análise das características técnicas das rochas e permite compreender, por exemplo, diferenças no tocante às propriedades físicas e mecânicas de amostras aparentemente semelhantes. Pesa ainda seu papel no diagnóstico e na caracterização de degradações no material rochoso, na medida em que permite aferir os padrões de alteração intempérica relacionados a modificações na porosidade ou nas resistências mecânicas da rocha (ABNT, 2015b; FRASCÁ, 2014).

Para os ensaios das propriedades físicas e físico-mecânicas das rochas, Frascá (2014) destaca a necessidade de se observar as orientações dos órgãos de normalização, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e, complementarmente, a *American Society for Testing and Materials*

(ASTM), em particular quanto à preparação dos corpos de prova adotados. Os ensaios mecânicos, por exemplo, devem ser realizados em corpos de prova secos e saturados, devido aos estudos que evidenciam a redução da resistência mecânica na rocha quando exposta à presença de água.

Os principais ensaios de verificação das propriedades físico-mecânicas para os sistemas de revestimento de fachada em rocha são o de resistência à compressão, que auxilia não apenas o dimensionamento da rocha para suporte de cargas, mas também fornece dados sobre a integridade física do material; e o ensaio de resistência à flexão (flexão por carregamento em quatro pontos), que simula o efeito do vento em placas fixadas por insertos metálicos (ABNT, 2015a).

Quanto aos dispositivos de fixação das placas de rocha ao sistema de revestimento não aderido, a NBR 15846 (ABNT, 2010) prevê critérios para o projeto, incluindo a exigência da execução de protótipos a fim de testar o seu desempenho (protótipo inserto-chumbador-base e protótipo placa-inserto)<sup>24</sup>.

Como ensaio complementar, a medição da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas longitudinais permite identificar características do material rochoso e, por se tratar de uma técnica não destrutiva, é comumente utilizada na avaliação da degradação de rochas em monumentos históricos (FRASCÁ, 2014).

Os ensaios de envelhecimento ou de alteração acelerada têm a finalidade de estabelecer medidas preventivas de ampliação da vida útil do material rochoso. Ocorrem mediante a simulação em laboratório de situações extremas, por meio da exposição da rocha a agentes de degradação. Os indicadores de degradação são adotados para avaliar os efeitos resultantes e comparar as amostras ensaiadas (FRASCÁ, 2014).

Frasca (2014) menciona também a realização de ensaios para verificar a susceptibilidade do material rochoso a determinados reagentes químicos, e para determinar a resistência às manchas com o objetivo de orientar a especificação de produtos adequados à manutenção, seja para ações rotineiras de limpeza, ou ainda para a proteção contra as intempéries, como é o caso de hidrofugantes, impermeabilizantes e consolidantes.

No Quadro 2.3, estão relacionados os ensaios laboratoriais utilizados na verificação das propriedades dos sistemas de revestimento de fachada em placas de rocha.

---

<sup>24</sup> Os protótipos devem considerar a capacidade da base de resistir aos esforços do tipo arrancamento e momento de engastamento, transmitidos pelos insertos (protótipo do conjunto inserto-chumbador-base); a distância mínima dos pontos de fixação aos cantos ou extremidades da base; a deformabilidade do inserto no caso de movimentação livre das placas; e a capacidade de resistir aos esforços transmitidos pelas placas (protótipo do conjunto placa-inserto) (ABNT, 2010b).

Quadro 2.3: Ensaios laboratoriais para sistemas de revestimento de fachada em rocha.

ENSAIO LABORATORIAL		REFERÊNCIA NORMATIVA	OBSERVAÇÕES
PETROGRAFIA	Análise petrográfica	- ABNT NBR 15845-1:2015 - ASTM C1721 - EN 12407	A análise consiste na observação macroscópica e microscópica de seções delgadas das amostras, estudadas ao microscópio óptico de luz transmitida.
	Densidade (kg/m <sup>3</sup> ) Absorção de água (%) Porosidade aparente (%) (corpos de prova)	- ABNT NBR 15845-2:2015 - ASTM C97 - EN 1936	O ensaio adota estufa, balança, bomba de vácuo e dessecador com substância desidratante e compara à massa seca, massa saturada e massa submersa dos corpos de prova.
PROPRIEDADES FÍSICAS	Capilaridade	- BS EN 1925:1999 - ABNT NBR 15845-2:2015	A determinação do coeficiente de capilaridade indica a máxima absorção da rocha ao ser imersa em água por tempo determinado.
	Permeabilidade ao vapor	- BS EN 13755:2008	A permeabilidade ao vapor é relevante pelo fato de elementos contaminantes poderem ser carregados pelo vapor d'água.
	Dureza	- EN 14205 (Dureza Knoop)	A dureza da rocha influencia o beneficiamento e é referida em uma escala de 1 a 10 (Escala Mohs).
	Coeficiente de dilatação térmica linear (10 <sup>-3</sup> mm/m.°C)	- ABNT NBR 15845-3:2015 - EN 14581	Verificação do quanto a rocha se dilata e se contrai. Importante para o dimensionamento do espaçamento das juntas em revestimentos.
PROPRIEDADES MECÂNICAS	Resistência à flexão por carregamento em quatro pontos (MPa)	- ABNT NBR 15845-7:2015	Simula o efeito do vento em placas de rochas fixadas em fachadas com ancoragens metálicas. Consiste no único ensaio rotineiro que é realizado obrigatoriamente em rocha beneficiada.
	Compressão uniaxial (MPa)	- ABNT NBR 15845-5:2015 - ASTM C170 - BS EN 1926	Determina a tensão (MPa) que provoca a ruptura da rocha quando submetida a esforços compressivos.
	Impacto de corpo duro (m)	- ABNT NBR 15845-8:2010 - EN 14158	Indicativo da tenacidade da rocha. Fornece a resistência ao impacto, por meio da queda de uma esfera de aço sobre a placa.
SISTEMA DE FIXAÇÃO	Resistência nos pontos de ancoragem (conjunto placa-inserto)	- ASTM C1354 - EN 13364	Ensaio de resistência para placas de rocha fixadas por ancoragem mecânica. Determinação da carga de ruptura para furo de pino na placa de rocha ( <i>dowel hole</i> ).
	Resistência à tração e ao cisalhamento dos chumbadores instalados na base (conjunto inserto-chumbador-base)	- ABNT NBR 14827:2002	Ensaio realizado em protótipo na escala real e <i>in loco</i> , a fim de testar a resistência à tração e ao cisalhamento de chumbadores em elementos de concreto e alvenaria.
ENVELHECIMENTO ACELERADO	Intemperismo artificial (umidade e UV)	- -ASTM /G 53	O ensaio realizado em ciclos de 4h, intercalando radiação ultravioleta (UV) e ciclos de condensação.
	Choque térmico (variações térmicas)	- EN 14066	Verificação da eventual queda de resistência da rocha após a simulação de variações térmicas bruscas.
	Exposição a atmosferas salinas	- EN 14147	Realizado em câmaras climáticas, simula ambientes marítimos ricos em sais.
	Ação de poluentes (exposição a atmosferas de dióxido de enxofre)	- FRASCÁ (2003a)	Realizado em câmaras climáticas, simula ambientes urbanos poluídos (presença de umidade e dióxido de enxofre).

	Cristalização de sais	- EN 13919; FRASCÁ (2003a) (imersão parcial) - EN 12370 (saturação e secagem)	Pode ser realizado por imersão parcial de corpos de prova em ácido sulfúrico. Outro ensaio de saturação e secagem consiste em submeter os corpos de prova a ciclos de imersão em solução salina e secagem em estufa.
OUTROS	Propagação de ondas ultrassônicas longitudinais (m/s)	- ASTM D 2845 - EN 14579	Permite avaliar o grau de alteração e de coesão das rochas, além de ser usado para complementar os ensaios de compressão uniaxial e de tração na flexão.

Fonte: Autora, 2019.

### 2.5.5 Agentes e mecanismos de degradação

Os agentes de degradação atuam sobre a edificação e suas partes, afetando o seu desempenho. Podem agir de modo isolado ou em sinergia, de forma simultânea ou não (ZANONI, 2015). Segundo a ISO 15686-2 (BS, 2012), podem ser de natureza mecânica, eletromagnética, térmica, química ou biológica. As alterações decorrentes da ação desses agentes levam à perda de desempenho. Os agentes de degradação do material rochoso, segundo a revisão bibliográfica, estão relacionados no Quadro 2.4.

Quadro 2.4: Agentes de degradação das rochas.

AGENTES DE DEGRADAÇÃO	FONTE
Água Radiação solar Contaminantes atmosféricos (poluição) Vibração Agentes biológicos (plantas, insetos, microrganismos) Vandalismo	Oliveira, 2011
Água Vento Contaminantes atmosféricos (poluição) Tensões externas Vibração Agentes biológicos	Haas, 2003
Água (origens diversas) Contaminantes atmosféricos (poluição) Aerosol marinho Agentes biológicos (organismos e microrganismos)	Dionisio et al., 2004
Água (chuva e umidade) Vento Radiação solar Agentes biológicos	Silva, 2009

Fonte: Autora, 2019

Os mecanismos de degradação explicam a forma como um elemento construtivo reage a alguma ação, isto é, referem-se às alterações químicas, biológicas, físicas ou mecânicas que impactam uma propriedade ou característica de um edifício, ou parte dele, em decorrência da exposição aos agentes de degradação (JERNBERG et al., 2004). Os mecanismos de degradação gerados pela presença de umidade são fundamentais no estudo da conservação dos sistemas de fachada, consideradas as características e propriedades higrotérmicas das camadas e seus componentes (ZANONI, 2015).

Quanto aos mecanismos de degradação atuantes nas rochas, de modo geral, eles se sobrepõem – seus efeitos se somam e as causas se entrecruzam (DIONÍSIO et al., 2004). No material rochoso, em suma, a degradação físico-mecânica se deve a tensões internas ou externas; a degradação química ocorre devido à presença de água e de poluição atmosférica; e a biodegradação pode ocorrer devido à ação mecânica de plantas superiores ou à perfuração por parte de animais (OLIVEIRA, 2011). A dissolução de rochas carbonáticas por chuvas ácidas é um exemplo de mecanismo de degradação (JOHN; SATO, 2006).

A água é destacada na bibliografia como o principal agente de degradação das rochas (DIONÍSIO et al., 2004; SILVA, 2009; OLIVEIRA, 2011; HAAS e RIBEIRO, 2012), envolvida em praticamente todos os processos de degradação. É um agente polivalente devido às mudanças de estado que pode apresentar, atuando como veículo de transporte de outras substâncias, como sais solúveis, contaminantes atmosféricos e organismos vivos (DIONÍSIO et al., 2004).

Oliveira (2011) relaciona a ação da água nas edificações à umidade ascendente, à condensação ou mesmo à ocorrência de chuva dirigida. O autor inclui ainda a radiação solar, os agentes orgânicos (aves, vegetais, fungos, bactérias) e a poluição como possíveis agentes de degradação das rochas.

Enquanto agente de degradação, a água é responsável por mecanismos resultantes de reações químicas ou de caráter físico-mecânico (DIONÍSIO et al., 2004; CARRIÓ, 1997). São decorrentes da ação da água os mecanismos de cristalização de sais, de dissolução de componentes solúveis e o fenômeno de gelo-degelo nos poros (HAAS, 2003; OLIVEIRA, 2011).

A ação da água nas edificações pode variar conforme a fonte e o processo atuante, sendo identificados tipos de umidade distintos: de obra, por capilaridade, de infiltração, acidental e de condensação (CARRIÓ, 1997). São necessárias análises criteriosas na identificação de qual tipo de umidade ocorre em um caso específico, particularmente no caso da umidade de infiltração<sup>25</sup> em empenas ou panos cegos de fachada, que pode ser confundida com a de capilaridade nos trechos de embasamento e, eventualmente, com umidades acidentais devido a vazamentos. Nesses casos, Carrió (1997) ressalta a importância de se conhecer a porosidade dos materiais que constituem o sistema de fachada e, sobretudo, o coeficiente de absorção da camada de acabamento, a fim de verificar a possibilidade de infiltração. Recomenda também a análise de pontos vulneráveis no sistema, como fraturas, fissuras, destacamento de partes, falhas nas juntas e interferências que geram pontos de acúmulo de água.

Para Zanoni (2015), os mecanismos de degradação associados à ação dos agentes climáticos são as movimentações térmicas, a fadiga térmica, o choque térmico, a umidade, as movimentações

---

<sup>25</sup> A umidade de infiltração é proveniente da água de chuva que se projeta sobre a envoltória edificada e penetra através de seus elementos constituintes (ZANONI, 2015).

higroscópicas, as condensações superficiais e intersticiais e a ação do vento. Oliveira (2011) menciona no caso específico da rocha o choque térmico e os mecanismos associados aos movimentos higrotérmicos, que denomina *stress* mecânico ou *stress* térmico.

No tocante aos sistemas de revestimento de fachada, Zanoni (2015) ressalta que os fenômenos cíclicos de dilatação e contração resultantes das variações de temperatura podem conduzir à fadiga do material, levando à perda de aderência entre as camadas. Frente aos recorrentes destacamentos de placas de rocha das fachadas de edifícios modernos, é citado o fenômeno de histerese, quando o sistema ou parte dele (placas de mármore, na maioria dos casos) tende a preservar a deformação mesmo na ausência do estímulo que a gerou, o que geralmente conduz à perda de resistência (PRUDON, 2008; JONGE; DOOLAAR, 1997).

Em suma, os mecanismos de degradação comumente encontrados em sistemas de revestimento em rocha são desencadeados por:

- tensões externas devido a restrições dos movimentos entre as camadas do próprio sistema e com relação a outros sistemas e elementos de interface. As tensões geradas podem resultar em degradação mecânica (OLIVEIRA, 2011), que se manifesta por meio de fissuras, fraturas, descolamento e destacamento<sup>26</sup>;
- tensões internas devido ao comportamento higrotérmico diferenciado dos materiais que compõem as camadas do sistema, cuja ocorrência cíclica pode levar à fadiga (ZANONI, 2015; OLIVEIRA, 2011) e ao surgimento de fissuras, fraturas, descolamento, entre outros;
- colonização biológica, que pode gerar ação mecânica pelo enraizamento das plantas (OLIVEIRA, 2011; CHAROLA, 2016) ou agentes agressivos resultantes do metabolismo de algas e microrganismos, resultando em aumento de porosidade superficial e surgimento de alterações cromáticas (manchas de biodegradação);
- cristalização de sais solúveis, quando a água absorvida pela rocha carrega sais da própria rocha ou outros materiais presentes (argamassas, por exemplo) e, na evaporação, há depósito e formação de eflorescências e subeflorescências (DIONÍSIO et al., 2004; HAAS, 2003). Sua repetição cíclica leva ao acúmulo de sais nas superfícies e nos poros internos, gerando tensões (CHAROLA, 2016), com a evolução para outros danos mais graves.

### **2.5.6 Manifestações patológicas e convenções gráficas de identificação de danos**

Manifestação patológica pode ser entendida como a não conformidade que se manifesta na edificação e suas partes em decorrência de um mecanismo de degradação. É recorrente a adoção

---

<sup>26</sup> As tensões externas que levam ao descolamento, com a possibilidade de evoluir para o destacamento, se devem à frágil aderência entre as camadas que constituem o sistema de revestimento, que resulta na ruptura das ligações na interface entre elas (CAMPANTE; BAÍA; 2003).

do termo “dano”, que, por sua vez, é atribuído à percepção humana de perda de valor de um elemento quando degradado (ICOMOS-ISCS, 2010).

Outro termo que consta da bibliografia sobre o tema é “alteração”, utilizado para descrever a modificação de um material que não implica, necessariamente, a piora de suas características do ponto de vista da conservação (UNI 11182, 2006), como no caso de um acabamento aplicado à rocha de revestimento que gera alteração cromática, passível de remoção (ICOMOS-ISCS, 2010).

Zanoni (2015) lista como manifestações patológicas devido à ação de agentes climáticos de degradação em sistemas porosos de revestimento em fachadas: as fissuras, o descolamento, o destacamento, a eflorescência, as manchas, a perda da cor ou desbotamento, a deterioração de componentes de base orgânica e a degradação biológica. No caso específico de sistemas de revestimento em rocha, há diversos tipos documentados de manifestações patológicas, sendo que as mais recorrentes são: manchas, eflorescências, fissuras, depósitos escuros, colonização biológica, perda de aderência da placa com relação ao substrato, falhas nas juntas de movimentação e nos sistemas de fixação.

Com relação às manchas, há o entendimento de que podem ser causadas, nos sistemas de revestimento em geral, por eflorescência, pela deposição de poluentes ou pela presença da ação diferenciada da água sobre a fachada (ZANONI, 2015). Diferentes tipos de manchas são listados pela literatura, a depender dos agentes e dos mecanismos, tais como mancha de umidade, de oxidação, de sujidade e de biodegradação. Carvalho (2018) considera como manifestações patológicas do grupo de manchas (para fachadas em concreto aparente): sujidade por lavado diferencial, sujidade por depósito, manchas decorrentes de ações humanas fortuitas, manchas de eflorescência, mancha de umidade localizada e mancha de umidade generalizada, às quais atribui uma escala de gravidade crescente.

As manifestações em sistemas de revestimento em rocha podem receber classificação segundo o sintoma, a gravidade ou outro critério. Ao tratar dos danos típicos nas fachadas de edifícios modernos, Redding (1997) os classifica, segundo a gravidade, em: danos estruturais, que englobam fissuras, deformação, descolamento e destacamento; e danos superficiais, que incluem depósitos escuros e sujidades, desbotamento e alteração na textura.

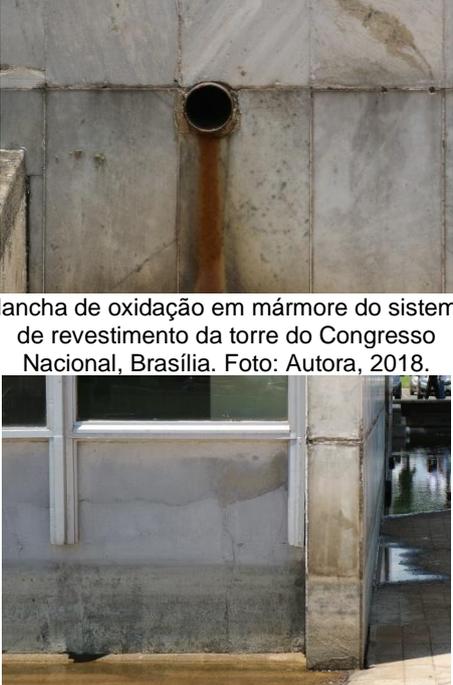
Silva (2009), por sua vez, estuda a vida útil de sistemas de revestimento em pedra natural e classifica os danos a que estão expostos em quatro grupos: danos estéticos (manchas, sujidade, eflorescências, vandalismo, contaminação biológica e irregularidades na superfície); perda de integridade (fratura, fissura e degradação do material); danos no sistema de fixação (degradação das fixações, descolamento e perda de material) e, degradação das juntas.

O Quadro 2.5 contém as manifestações patológicas nos sistemas de revestimento em rocha, as definições segundo a revisão bibliográfica e fotos exemplificativas<sup>27</sup>.

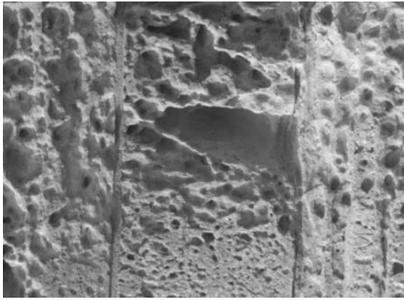
Quadro 2.5: Manifestações patológicas nos sistemas de revestimento em rocha.

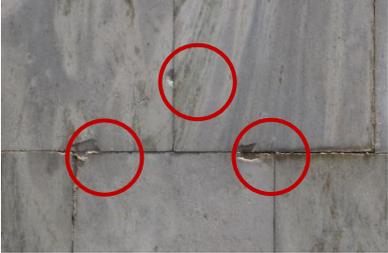
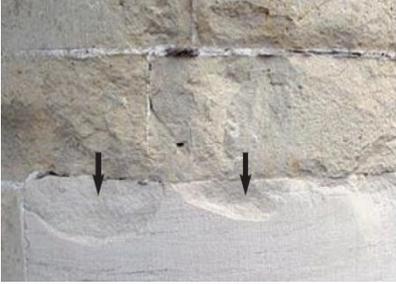
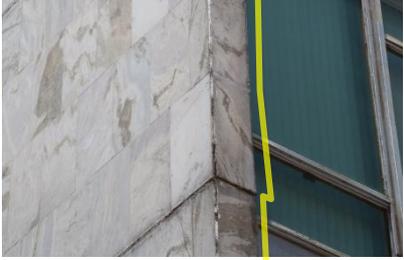
MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	DEFINIÇÃO	EXEMPLOS
<p><b>Depósitos brancos (eflorescência, concreção, incrustação)</b></p> <p>Fontes:</p> <p><u>Eflorescência:</u> Haas (2003); Dionisio et al. (2004); Frascá (2003); NORMAL 1/88; UNI 11182:2006; Iphan (2012); Icomos-ISCS (2010); Silva (2009); Charola (2016).</p> <p><u>Concreção:</u> Haas (2003); NORMAL 1/88; UNI 11182:2006; Iphan (2012); Icomos-ISCS (2010).</p> <p><u>Incrustação:</u> Haas (2003).</p>	<p>Depósitos esbranquiçados na superfície da placa.</p> <p><u>Eflorescência:</u> depósitos salinos esbranquiçados resultantes da lixiviação devida à infiltração ou à presença de água nos materiais componentes da fachada (ZANONI, 2015). Transporte pela água de sais do ambiente externo, da própria rocha ou outros materiais componentes do sistema. Na evaporação, depositam-se os sais, que podem se cristalizar na superfície da rocha ou no seu interior (DIONÍSIO et al., 2004).</p> <p><u>Concreção:</u> depósito esbranquiçado de material calcário (gesso – CaSO<sub>4</sub>) sobre a superfície pétreo (HAAS, 2003).</p> <p><u>Incrustação:</u> depósito estratiforme, compacto e bem aderido ao substrato, composto principalmente de matéria orgânica fóssil (HAAS, 2003)</p>	 <p>Eflorescências no sistema de revestimento em mármore localizado na platibanda de cobertura de torre anexa do Congresso Nacional, Brasília. Foto: Autora, 2018</p>
<p><b>Depósitos escuros (sujidades, depósitos)</b></p> <p>Fontes:</p> <p>Haas (2003); Redding (1997); IPHAN (2012); Icomos-ISCS (2010); Silva (2009).</p>	<p>Acúmulo de materiais estranhos de naturezas diversas, tais como poeira, terra, etc. Tem espessura variável, geralmente de consistência pobre e pouca adesão ao substrato (UNI 11182:2006).</p> <p>Acúmulo de material exógeno, a exemplo de pingos de tinta ou de argamassa, partículas atmosféricas como poeira e dejetos de pássaros ou morcegos (ICOMOS-ICS, 2010).</p> <p>Também chamado de depósito superficial.</p>	 <p>Sujidades no sistema de revestimento em mármore do Panteão da Pátria, Brasília. Foto: Autora, 2018.</p>  <p>Depósito de dejetos de pássaros no sistema de revestimento em mármore do Museu da Cidade, Brasília. Foto: Autora, 2018.</p>

<sup>27</sup> A organização das informações do modo como se apresenta, com o agrupamento de certos danos (caso de “desgaste superficial” e “perda de material”) consiste em sugestão da autora a partir da literatura consultada.

<p><b>Depósitos escuros (crosta negra)</b></p> <p>Fontes:</p> <p>Haas (2003); Dionisio et al. (2004); NORMAL 1/88; UNI 11182:2006; Iphan (2012); Icomos-ISCS (2010).</p>	<p>Sujidade intensa e espessa que se manifesta na cor preta. Quando formada, absorve todo o elemento agregante do suporte, deixando-o pulverulento (HAAS, 2003).</p> <p>Crosta gerada pela formação de gesso resultante da sulfatação das superfícies calcárias, em contato com diferentes oxidantes da atmosfera (contaminantes), com acúmulo de partículas que resultam na cor negra. Ocorre em áreas abrigadas da chuva, como cavidades e reentrâncias (DIONÍSIO et al., 2004).</p>	 <p>Crosta negra em trecho do sistema de revestimento em mármore protegido da chuva, em torre anexa do Congresso Nacional, Brasília. Foto: Autora, 2018.</p>
<p><b>Mancha</b></p> <p>Fontes:</p> <p>Haas (2003); Dionisio et al. (2004); Frascá (2003); NORMAL 1/88; UNI 11182:2006; Iphan (2012); Icomos-ISCS (2010); Silva (2009).</p>	<p>Variação cromática localizada na superfície, relacionada à presença de determinados componentes naturais do próprio material (como a pirita nos mármore) ou ainda à presença de materiais estranhos, tais como água, produtos de oxidação de materiais metálicos, substâncias orgânicas, vernizes, tintas, microrganismos (UNI 11182:2006).</p> <p>Podem incluir as manchas de umidade, de oxidação, de sujidade, de degradação biológica, conforme agentes e mecanismos atuantes.</p> <p><u>Mancha de umidade</u><sup>28</sup> é definida como a penetração de água que se manifesta pela mancha na superfície (HAAS, 2003).</p>	 <p>Mancha de oxidação em mármore do sistema de revestimento da torre do Congresso Nacional, Brasília. Foto: Autora, 2018.</p> <p>Mancha de umidade no trecho em contato com o espelho d'água, Congresso Nacional, Brasília. Foto: Autora, 2017.</p>
<p><b>Colonização biológica</b></p> <p>Fontes:</p> <p>Haas (2003); Dionisio et al. (2004); NORMAL 1/88; UNI 11182:2006; Iphan (2012); Icomos-ISCS (2010); Charola (2016).</p>	<p>Presença visível de micro e/ou macrorganismos, tais como algas, fungos, líquenes, musgos, plantas superiores (UNI 11182:2006).</p> <p>Também chamada degradação biológica (ZANONI, 2015; HAAS, 2003), que vem a ser o resultado dessa colonização.</p>	 <p>Colonização biológica por plantas no sistema de revestimento em mármore da rampa para a plataforma do Congresso Nacional, Brasília. Foto: Autora, 2017.</p>

<sup>28</sup> Também são adotados para referir-se às manifestações decorrentes da ação da água os termos “infiltração” (HAAS, 2003; IPHAN, 2012) e “umidade ascendente” (UNI 11182:2006; IPHAN, 2012; ICOMOS-ISCS, 2010; OLIVEIRA, 2011). Haas (2003) define infiltração como a penetração de água que se manifesta pela mancha de umidade na superfície. Por umidade ascendente, entende-se o mecanismo de degradação no qual a água é o agente, originado da absorção da água presente no solo (ZANONI, 2015), geralmente acompanhada de variações da saturação das cores na superfície úmida, ou seja, manchas (UNI 11182:2006). Tal norma associa a umidade ascendente às eflorações e perda de material.

<p><b>Desagregação</b></p> <p>Fontes:</p> <p>Frasca (2003a); Haas (2003); Dionisio et al. (2004); NORMAL 1/88; UNI 11182:2006; Iphan (2012); Icomos-ISCS (2010).</p>	<p>Perda de coesão manifestada pela transformação do material em poeira ou fragmentos pequenos (UNI 11182:2006).</p> <p>Perda de pequenas partículas similares, em forma e dimensões, aos componentes minerais da rocha (FRASCÁ, 2003a).</p>	 <p>Desagregação em placa de mármore do sistema de piso da plataforma do Congresso Nacional, Brasília. Foto: Autora, 2017.</p>
<p><b>Desgaste superficial (erosão, alveolização, erosão diferencial)</b></p> <p>Fontes:</p> <p><u>Erosão</u> Haas (2003); NORMAL 1/88; UNI 11182:2006; Iphan (2012); Icomos-ISCS (2010).</p> <p><u>Alveolização</u> Haas (2003); NORMAL 1/88; UNI 11182:2006; Iphan (2012); Icomos-ISCS (2010).</p> <p><u>Erosão diferencial</u> Haas (2003); UNI 11182:2006; Iphan (2012); Icomos-ISCS (2010).</p>	<p>Manifestação de diversas cavidades na superfície da placa.</p> <p><u>Erosão</u>: perda de material da superfície, que em geral, ainda se apresenta compacta (UNI 11182:2006). Pode ser física ou química, a depender do mecanismo de degradação.</p> <p><u>Alveolização</u>: presença de alvéolos de dimensões variáveis, comumente interligados e distribuídos de modo irregular (UNI 11182:2006).</p> <p><u>Erosão diferencial</u>, também chamada degradação diferenciada, quando as cavidades formadas evidenciam a heterogeneidade da textura e da estrutura da rocha (UNI 11182:2006). Consiste em planos de descontinuidade dentro do material original (IPHAN, 2012). Para Icomos-ISCS (2010), ocorre quando a erosão não avança com a mesma velocidade em áreas distintas do material rochoso.</p>	 <p>Desgaste superficial em placa de mármore, Museu da Cidade, Brasília. Foto: Autora, 2018.</p>  <p>Alveolização no material rochoso. Fonte: UNI, 2006.</p>
<p><b>Fissura</b></p> <p>Fontes:</p> <p>Haas (2003); Dionisio et al. (2004); Frasca (2003); NORMAL 1/88; UNI 11182:2006; Iphan (2012); Icomos-ISCS (2010); Silva (2009); Redding (1997).</p>	<p><u>Fissura</u>: seccionamento na superfície ou em toda seção transversal de um componente, com abertura capilar, provocado por tensões normais ou tangenciais.</p> <p><u>Trinca</u>: expressão coloquial qualitativa aplicável a fissuras com abertura maior ou igual a 0,6 mm (ABNT NBR 15575-2:2013).</p>	 <p>Fissuras múltiplas nas placas de mármore, Museu da Cidade, Brasília. Foto: Autora, 2019.</p>
<p><b>Fratura</b></p> <p>Fontes:</p> <p>Haas (2003); Iphan (2012).</p>	<p>Falta de continuidade total do material devido à quebra do componente (placa). As fissuras capilares podem evoluir para as fraturas, resultando na separação de uma parte em relação à outra (ICOMOS-ISCS, 2010).</p>	 <p>Fratura na placa de mármore localizada na borda da plataforma do Congresso Nacional, Brasília. Foto: Autora, 2017.</p>

<p><b>Perda de material (dano mecânico, escoriação, lascamento)</b></p> <p>Fontes:</p> <p><u>Dano mecânico</u> Icomos-ISCS (2010); Silva (2009).</p> <p><u>Lascamento</u> Icomos-ISCS (2010).</p>	<p><u>Dano mecânico</u>: perda de material rochoso claramente devido a ações mecânicas. Inclui danos por impacto, incisões, escoriações, abrasão. Na maior parte dos casos, tem origem antrópica (ICOMOS-ISCS, 2010).</p> <p><u>Escoriações</u>: arranhões que envolvem perdas de material com aspecto de linhas induzidas manualmente por um objeto pontiagudo. Podem ser acidentais ou produzidas intencionalmente (ICOMOS-ISCS, 2010).</p> <p><u>Lascamento</u>: pode ocorrer quando a rocha está sujeita a sobrecargas. Consiste em cavidade isolada, e não múltiplas, como no caso do desgaste superficial (ICOMOS-ISCS, 2010).</p>	 <p>Danos mecânicos e perfurações em sistemas de revestimento em mármore de torre anexa do Congresso Nacional, Brasília. Foto: Autora, 2017.</p>  <p>Lascamento em rocha. Fonte: Icomos-ISCS (2010)</p>
<p><b>Deformação</b></p> <p>Fontes:</p> <p>Redding (1997); Icomos-ISCS (2010); Prudon (2008); Jokinen (2003).</p>	<p>Variação do perfil ou da forma do material que afeta toda a sua espessura, como, por exemplo, placa deformada (UNI 11182:2006).</p>	 <p>Deformação em sistema de revestimento de rochas em mármore. Fonte: Icomos-ISCS (2010)</p>
<p><b>Descolamento</b></p> <p>Fontes:</p> <p>Redding (1997); Silva (2009); Poretti (2003); Barelli et al. (2003); Prudon (2008).</p>	<p>Perda de aderência entre os componentes e a base (ABNT, 2013d).</p>	 <p>Descolamento de placa de mármore com relação ao substrato no sistema de revestimento de torre anexa do Congresso Nacional, Brasília. Foto: Autora, 2017</p>
<p><b>Destacamento</b></p> <p>Fontes:</p> <p>Redding (1997); Silva (2009); Poretti (2003); Barelli et al. (2003); Prudon (2008).</p>	<p>É uma consequência do descolamento, quando ocorre a queda de partes do sistema de revestimento (ZANONI, 2015). Também chamado de deslocamento.</p> <p>O conceito está presente na bibliografia que trata danos em sistemas de revestimento em placas de rocha, e difere do termo <i>detachment</i> (ICOMOS-ISCS, 2010) e <i>distacco</i> (NORMAL 1/88; UNI 11182:2006), que tratam de perda de adesão no próprio material rochoso ou argamassa.</p>	 <p>Exemplo de destacamento de placa de mármore em torre anexa do Congresso Nacional, Brasília. Foto: Autora, 2019.</p>

<p><b>Destacamento</b></p> <p>Fontes:</p> <p>Redding (1997); Silva (2009); Poretti (2003); Barelli et al. (2003); Prudon (2008).</p>	<p>É uma consequência do descolamento, quando ocorre a queda de partes do sistema de revestimento (ZANONI, 2015). Também chamado de deslocamento.</p> <p>O conceito está presente na bibliografia que trata danos em sistemas de revestimento em placas de rocha, e difere do termo <i>detachment</i> (ICOMOS-ISCS, 2010) e <i>distacco</i> (NORMAL 1/88; UNI 11182:2006), que tratam de perda de adesão no próprio material rochoso ou argamassa.</p>	 <p>Exemplo de destacamento de placa de mármore em torre anexa do Congresso Nacional, Brasília. Foto: Autora, 2019.</p>
<p><b>Grafitismo ou Grafitti<sup>29</sup></b></p> <p>Fontes:</p> <p>Iphan (2012); Silva (2009); Icomos-ISCS (2010); Haas (2003); UNI 11182:2006.</p>	<p>Aparência indesejável na superfície feito por meio de tintas coloridas (UNI 11182:2006).</p>	 <p>Grafitismo (ato de vandalismo) na placa de mármore do sistema de revestimento do guarda-corpo do Panteão da Pátria. Foto: Autora, 2018.</p>

Fonte: Autora, 2019.

O Quadro 2.5 reuniu as manifestações patológicas constantes nas referências bibliográficas citadas, selecionando aquelas relacionadas ao enquadramento da pesquisa. Apesar de predominar a abordagem no âmbito da degradação do material rochoso, buscou-se organizar informações sobre as placas de rocha e os componentes que integram o sistema de fachada em estudo.

Uma vez apresentadas e definidas as manifestações patológicas que afetam os sistemas de revestimento em rocha, os mapas de danos podem ser adotados como ferramentas de representação gráfico-fotográfica no seu registro e monitoramento. Esse recurso é frequentemente utilizado para comunicar os danos identificados na inspeção dos sistemas de fachada, segundo classificação e convenções pré-estabelecidas. Nesse sentido, são apresentados a seguir os principais textos normativos que convencionam a representação gráfica de manifestações patológicas no material rochoso e, especificamente, no sistema de revestimento em rocha.

*Normas italianas: NORMAL 1/88 e UNI 11182:2006*

As normas italianas NORMAL 1/88 (CNR-ICR, 1990) e UNI 11182:2006 – *Materiali lapidei naturali ed artificiali – Descrizione della forma di alterazione – Termini e definizioni*, são internacionalmente

<sup>29</sup> O termo *grafitti*, herdado das normas italianas, deu origem ao “grafitismo”. Entende-se por grafite um tipo de arte urbana na qual o artista intenciona representar algo por meio da pintura, em local adequado para isso. Difere-se, assim, da pichação, pintura realizada em local indevido, que ocasiona prejuízo da imagem do patrimônio edificado, e considerada, portanto, um ato de vandalismo.

conhecidas, e as convenções gráficas e terminologias trazidas por elas são amplamente adotadas em pesquisas e publicações que abordam o estado de conservação do material rochoso.

O documento técnico NORMAL 1/88, apesar de substituído pela UNI 11182:2006, consiste em importante referência para a representação gráfica por meio de símbolos e padrões de hachura para alterações identificadas na rocha. A norma vigente UNI 11182:2006, por outro lado, estabelece como modo de registro visual a fotografia, sem contemplar a representação gráfica por padrões de hachuras ou símbolos. Ao comparar as duas normas, Carvalho (2018) percebe a existência de compatibilidade visual entre a representação simbólica gráfica e a fotografia da manifestação patológica. Conclui, assim, que houve a preocupação de representar o fenômeno pelo sintoma, ou seja, o efeito visual dele decorrente.

Não obstante, o enfoque desses documentos é claramente a rocha ornamental enquanto bloco de cantaria, adotada em monumentos e esculturas, em vez da rocha beneficiada para revestimento em placas, o que pode ser inferido, inclusive, da análise das fotos ilustrativas.

#### *Glossário ilustrado de padrões de degradação nas rochas – Icomos-ISCS*

Com vistas a padronizar a terminologia adotada e facilitar a comunicação entre os profissionais do campo de restauração, o *International Scientific Committee for Stone* (ISCS) do Icomos publicou um glossário ilustrado de padrões de degradação para material rochoso (ICOMOS-ISCS, 2010). O glossário contém, além das fotografias exemplificativas desses padrões, definições, termos equivalentes e notas acerca das confusões possíveis. Tais padrões de degradação organizam-se em categorias segundo os sintomas apresentados (que por sua vez dividem-se em subcategorias e subtipos):

- I. fissuração e deformação;
- II. destacamento ou perda de adesão;
- III. características induzidas por perda de material;
- IV. alterações cromáticas e depósitos;
- V. colonização biológica.

Assim como a UNI 11182:2006, a fotografia é o recurso de suporte utilizado para a identificação dos danos, sem sugestão de representação gráfica por meio de padrões de hachuras ou símbolos, o que é coerente com a formatação do documento enquanto um glossário ilustrado.

As placas de rocha foram mencionadas nas manifestações patológicas de deformação (categoria I), eclosão (categoria II), e manchamento ou tingimento (categoria IV). Além disso, há referência ao mármore em todas as cinco categorias, utilizado para exemplificar as seguintes manifestações: fissuras tipo craquelado e deformação (categoria I); eclosão e desintegração (categoria II); erosão

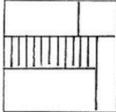
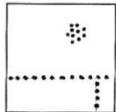
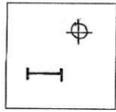
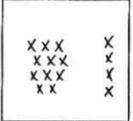
diferencial e *pitting* (categoria III); desbotamento, brilho superficial, pátina de oxalato, *grafitti* e sujeira (categoria IV); e colonização biológica (categoria V).

### Normativa do Iphan

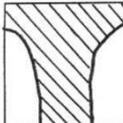
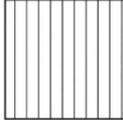
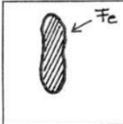
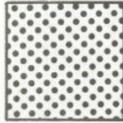
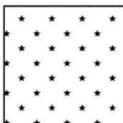
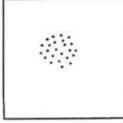
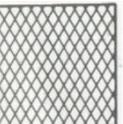
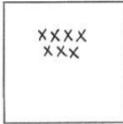
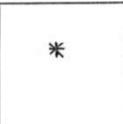
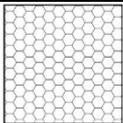
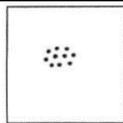
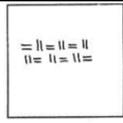
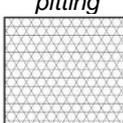
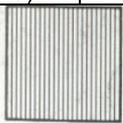
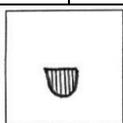
Partindo da metodologia do curso de conservação de rochas do ICCROM-Unesco (*Stone Conservation Course, Venezia, 2009*) e da norma italiana UNI 11182:2006, Catherine Gallois elaborou a normativa do Iphan (2012) que propõe o mapeamento de danos visíveis a olho nu em materiais lapídeos. Nesse caso, é resgatada a representação gráfica da manifestação patológica por meio de hachura sugerida na antiga NORMAL 1/88 (CNR-ICR, 1990), em vez do registro fotográfico constante da norma italiana vigente (UNI 11182:2006).<sup>30</sup>

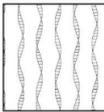
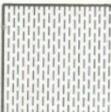
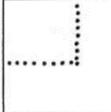
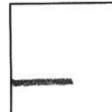
O Quadro 2.6 compara as legendas gráficas propostas pela NORMAL 1/88 (CNR-ICR, 1990) e por Iphan (2012). Nele, observa-se a adoção de padrões de hachuras em preto e branco em ambas as convenções.

Quadro 2.6: Convenções gráficas para danos em rocha na bibliografia.

Manifestação patológica	Legendas			
	NORMAL 1/88		Iphan, 2012	
Inserção de próteses (reparo em mármore)	—		 Inserção de próteses	
Reparos e juntas cimentícias visíveis (reparo não adequado)	—		 Reparos e juntas cimentícias	
Elementos de metal (grampos, pinos etc.)	—		 Elementos de metal	
Pátina artificial, pintura localizada, grafitismo	 Alteração cromática	 Película	 Pátinas artificiais, pinturas, alterações cromáticas	 Pintura localizada/grafitismo

<sup>30</sup> Além do levantamento dos materiais constituintes e de intervenções anteriores, a normativa do Iphan (2012) organiza a representação dos danos em três categorias segundo o sintoma e a gravidade: i) estado de conservação – depósitos na superfície ou através da superfície/alterações cromáticas (crosta negra, concreção, eflorescência e colonização biológica, entre outros); ii) estado de conservação das superfícies – perdas de material (inclui perda de adesão e erosão); iii) alterações das condições estruturais e deformações (fissuras, perda ou parte desconexa, deformação e juntas abertas, entre outros).

Manifestação patológica	Legendas			
	NORMAL 1/88		Iphan, 2012	
Mancha de umidade	 Mancha		 Infiltrações de água	 Umidade ascendente
Mancha de oxidação	 Mancha		 Mancha de oxidação	
Depósitos brancos	 Eflorescências	 Concreção	 Eflorescências	 Concreção
Depósitos escuros	 Crosta	 Depósito superficial	 Sujidades	 Dejetos de pássaros
Colonização biológica	 Colonização biológica	 Presença de vegetação	 Colonização biológica	 Plantas superiores
Desagregação	 Desagregação		 Desagregação granular	
Desgaste na superfície	 Alveolização	 <i>Pitting</i>	 Alveolização – <i>pitting</i>	 Degradação diferenciada
Perda de elementos tridimensionais (perda de material – lascamento, escoriação, perfuração, dano mecânico)	 Erosão ( <i>scagliatura</i> )		 Erosão	
Perda de elementos tridimensionais (perda de material – lascamento, escoriação, perfuração, dano mecânico)	 Perda de elementos tridimensionais		 Perda de elementos tridimensionais	
Fissura	-		 Fissura	

Manifestação patológica	Legendas		
	NORMAL 1/88	Iphan, 2012	
Fratura	 Fraturação ou fissuração	 Rachadura	
Deformação	–	 Deformação	
Perda de aderência	 Descolamento	 Destacamento	 Descolamento (em argamassas)
Falhas nas juntas	–	 Juntas abertas	 Juntas abertas maiores que 3cm

Fonte: Autora, 2019.

Em geral, nota-se um alinhamento entre os termos presentes nos dois documentos. Na norma italiana, não há diferenciação entre tipos de mancha, enquanto em Iphan (2012) se diferenciam as alterações cromáticas das manchas de oxidação e das manifestações decorrentes da ação da água (no caso denominadas “infiltrações” e “umidade ascendente”).

Em Iphan (2012), percebe-se a inclusão dos sistemas de revestimento ao se abordar as falhas nas juntas, e menção às placas de rocha ao listar como um dos danos possíveis a deformação<sup>31</sup>. A manifestação “perda de aderência”, no entanto, se refere a argamassas, e não ao descolamento de placas com relação ao substrato. O documento contém, ainda, sugestões para a representação de intervenções e interferências, o que não se observa na norma italiana. Por fim, a manifestação “perda de elementos tridimensionais” presente em ambas as convenções, refere-se a monumentos e esculturas em rocha ou às paredes de cantaria, e não se aplica à rocha de revestimento beneficiada em placas.

Foram identificados ainda alguns problemas em relação às nomenclaturas adotadas. O termo “juntas abertas”, por exemplo, é utilizado equivocadamente para se referir a uma manifestação patológica, uma vez que é comumente associado à descrição de juntas de sistemas de revestimento não aderidos sem preenchimento com material selante (BATISTA; OLIVEIRA, 2016). Por outro lado, a denominação “rachadura”, para se referir a manifestações patológicas do tipo ruptura superficial do material constituinte, pode ser substituída por “fissura”, “trinca” ou “fratura”,

<sup>31</sup> Consta no relatório do Team (2005) e em Icomos-ISCS (2010) menção ao aparecimento de manifestações patológicas do tipo deformação não apenas nos sistemas de revestimento de fachada, mas também em lápides dos cemitérios, onde é comum a adoção de placas esbeltas de rocha.

termos já estabelecidos nos textos técnicos que abordam o estado de conservação do patrimônio edificado.

Quanto aos padrões gráficos, observaram-se legendas similares para manifestações patológicas distintas, o que pode criar leituras equivocadas das informações. Um exemplo é o padrão proposto para “reparos”, “sujidade” e “alveolização” e o de “colonização biológica” e “pintura localizada/grafitismo” em Iphan (2012).

A convenção gráfica para identificar manifestações patológicas em mapas de danos deve ser clara e legível, de modo a considerar a possível sobreposição de mais de um dano devido à sinergia na ação de agentes e de efeitos. Nesse sentido, o uso de cor pode ser uma maneira de contribuir para a legibilidade da informação. A cor pode informar também a gravidade da manifestação patológica, conforme convencionou Carvalho (2018) em sua proposta de método para representação gráfica de mapas de danos de fachadas modernistas em concreto armado aparente.

### **2.5.7 Inspeção de fachada e manutenção**

Quando se trata da conservação do patrimônio edificado e seus sistemas, as condutas preventivas são sempre as mais indicadas e podem ser implantadas por meio de procedimentos de inspeção e de monitoramento voltados à manutenção. As práticas relativas à inspeção e à manutenção preventiva influenciam a durabilidade do patrimônio edificado e merecem atenção especial no caso dos edifícios em altura.

A NBR 15575 (ABNT, 2013b) define manutenção como o conjunto de atividades a serem realizadas para conservar ou recuperar a capacidade funcional da edificação e de seus sistemas constituintes de atender às necessidades e segurança dos seus usuários. A gestão dos procedimentos relativos à manutenção visa preservar as características originais da edificação e prevenir a perda de desempenho decorrente da degradação.

Os tipos de manutenção consistem em rotineira, corretiva e preventiva. A primeira abrange serviços constantes, padronizados e cíclicos, a exemplo de atividades de limpeza geral; a segunda é caracterizada por serviços que demandam ação imediata, a fim de permitir a continuidade de uso de partes da edificação, ou ainda evitar prejuízos ou riscos aos usuários e ao patrimônio; e a manutenção preventiva, por fim, trata dos serviços programados com antecedência, seja mediante demanda, com base em estimativas de durabilidade dos sistemas, elementos ou componentes da edificação, ou na forma de relatórios produzidos periodicamente (ABNT, 2012).

Estudos de caso encontrados na bibliografia específica contribuem para o repertório de propostas de inspeção, de intervenção e de recuperação das fachadas com sistemas de revestimento em placas de rocha. Oliveira (2011) traz apontamentos sobre procedimentos de conservação do material rochoso do patrimônio arquitetônico tradicional, que incluem limpeza (mecânica, química,

água nebulizada, microjateamento de precisão com abrasivos submetidos etc.), adoção de laser em rochas de cor branca, tratamentos de depósitos específicos e de manchas (como incrustações calcárias e manchas de oxidação), além de consolidação de material degradado por meio de resinas e produtos de proteção. Menciona ainda reintegrações com argamassas, incluindo poliméricas, e por meio de próteses e elementos mecânicos.

No escopo da manutenção, encontram-se as atividades de inspeção e de monitoramento. A inspeção é definida pela NBR 5674 (ABNT, 2012) como a avaliação do estado da edificação e de suas partes constituintes, realizada para orientar as atividades de manutenção. Nesse sentido, a elaboração de um Plano de Inspeção e de um Programa de Manutenção com vistas à conservação dos sistemas do edifício integram as boas práticas de manutenção. O primeiro deve definir um programa de avaliação periódica das condições técnicas, funcionais e de conservação do edifício, enquanto o segundo deve prever rotinas, procedimentos e responsabilidades quanto às atividades de manutenção predial. Ademais, devem ser estabelecidos procedimentos de documentação e de registro das informações relativas às atividades de manutenção predial (ABNT, 2012).

No tocante às metodologias de inspeção voltadas à aferição do estado de conservação dos edifícios e seus sistemas, foram consultados o Manual Técnico do Iphan/Monumenta (GOMIDE et al., 2005), Ibape (2012), Lichtenstein (1986), Cóias (2009), a ISO 15686-2 (BS, 2012) e a norma americana ASCE/SEI 30 – *Guideline for Condition Assessment of the Building Envelope* (ASCE, 2014).

As etapas definidas pelo Programa Monumenta (GOMIDE et al., 2005) para a elaboração de projetos de preservação do patrimônio cultural são: i) identificação e conhecimento do bem, que consiste em levantamentos, incluindo a pesquisa histórica, o levantamento físico e a identificação de materiais e do sistema construtivo por meio de prospecções; ii) diagnóstico, etapa composta por mapeamento de danos, análises do estado de conservação, ensaios e testes; e, iii) proposta de intervenção. No âmbito da primeira etapa, a pesquisa histórica consiste nos procedimentos de anamnese, que Tinoco (2009) define como o processo de observação, na linha do tempo da edificação, voltado à compreensão dos danos.

O Instituto Brasileiro de Avaliação e Perícias de Engenharia – Ibape, de São Paulo (IBAPE, 2012), define as etapas e os critérios para a realização de inspeções prediais. A classificação de grau de risco dos danos encontrados é definida como mínima, moderada ou crítica, como meio de pautar a tomada de decisão quanto aos procedimentos necessários.

Com enfoque na reabilitação de edifícios, Cóias (2009) define que são necessárias as etapas de exame preliminar, exame pormenorizado/diagnóstico, elaboração do projeto, realização da intervenção, avaliação dos resultados e execução do plano de manutenção. O autor ressalta a importância de avaliar o estado ou o comportamento de uma estrutura por meio de monitoramento,

que, mediante uma inspeção preliminar, permite que se determine a necessidade ou não de aprofundar os levantamentos para, então, obter um diagnóstico que subsidie um projeto de intervenção, caso necessário.

A ASCE (2014) sistematiza os procedimentos para inspeção do estado de conservação de envoltórias de edifícios. A norma prevê a necessidade de levantamentos preliminares para subsidiar a tomada de decisão a respeito de se aprofundar ou não as investigações. Caso informações mais detalhadas sejam necessárias, inicia-se a fase de inspeção pormenorizada, que inclui procedimentos como ensaios laboratoriais e prospecções, resultando em dados para avaliação, análise e elaboração de recomendações.

Finalmente, a ISO 15686-2 (BS, 2012) contém a metodologia de previsão da vida útil de componentes de edifício, relevante para esta pesquisa por considerar o contexto, o levantamento dos requisitos de desempenho e a caracterização dos materiais, componentes e sistemas, no que denomina etapa de definição, além de propor a identificação de agentes e mecanismos de degradação e seus efeitos, no escopo da etapa de preparação. A ISO 15686-8 (BS, 2008) apresenta a aplicação de um Método Fatorial para a obtenção da Vida Útil Estimada (ESLC – *Estimated Service Life*) a partir de sete fatores de exposição, a saber: qualidade de materiais e componentes; qualidade de projeto; qualidade construtiva; características do ambiente interior; características do ambiente exterior; condições de serviço (uso e operação); e nível de manutenção.

Quanto aos métodos e técnicas de inspeção dos sistemas de revestimento fachada, os edifícios em altura apresentam trechos de difícil acesso que podem obstaculizar a realização dos levantamentos necessários. Nesses casos, os VANTs (Veículos Aéreos Não Tripulados) são uma alternativa eficaz para a condução das inspeções voltadas às ações de conservação dos edifícios e de seus sistemas de fachada (MELO JÚNIOR, 2016; TONDELO E BARTH, 2019).

O uso do VANT como ferramenta de monitoramento no campo da Arquitetura e Engenharia tem sido tema de diversas pesquisas. Os equipamentos podem ser adotados para acompanhamento de obras, inspeção de edifícios e de sistemas de fachada e levantamentos e medição de elementos arquitetônicos. No tocante aos estudos sobre sua aplicação como suporte ao mapeamento de danos de fachadas, destacam-se Lima e Zaroni (2019), Melo Júnior (2016) e Córdoba (2012), que associam a técnica à fotogrametria à curta distância; Tondelo e Barth (2019), que analisam aspectos construtivos e manifestações patológicas de fachadas industrializadas por meio de VANT; Kim et al. (2017), que adotam o processamento digital das imagens obtidas na identificação de fissuras em estruturas de concreto; e Ham et al. (2016), que trazem uma revisão bibliográfica dos métodos mais recentes de inspeção de obras civis por meio dessa ferramenta.

O plano de voo para a captura de imagens por meio de VANT deve se dar conforme a finalidade do levantamento, o tipo de processamento e a precisão dos resultados esperados. Envolve a escolha do equipamento, a análise da implantação e do entorno, a definição de dia e horário que ofereçam condições favoráveis ao voo e ao registro fotográfico, a definição da distância da câmera até a edificação, a determinação da sobreposição das imagens, bem como da distância entre as tomadas fotográficas (LIMA; ZANONI, 2019a; 2019b; TONDELO; BARTH, 2019; MELO JÚNIOR, 2016).

No levantamento fotográfico, as imagens geradas com a finalidade de subsidiar a produção de mapas de danos devem apresentar resolução ou tamanho de *pixel* conforme o nível de precisão desejado. Para as câmeras digitais, a resolução depende da quantidade de *pixels*, do tamanho do sensor digital, da distância ao objeto e da distância focal (MELO JÚNIOR, 2016). Além disso, deve-se configurar a câmera de modo a regular os parâmetros que influenciam o nível de precisão e a qualidade das imagens: distância focal, abertura do diafragma, tempo de exposição, sensibilidade ISO (LIMA; ZANONI, 2019a; 2019b).

O uso do VANT na inspeção de sistemas de fachada requer também que se observe a distância da tomada fotográfica até o edifício, que deve ser a mínima possível, uma vez assegurados os requisitos de segurança – considerando o equipamento e principalmente o patrimônio edificado. Tondelo e Barth (2019) estabeleceram 80 cm como a distância entre a câmera e o plano da fachada, para estudo de caso de edifício de apenas três pavimentos, enquanto Melo Júnior (2016) recomenda uma distância mínima de 3 metros da aeronave com relação à fachada – e adota, no levantamento das fachadas do Palácio do Congresso Nacional de Brasília, 5 metros. Para o cálculo da distância entre tomadas fotográficas, o autor sugere a fórmula específica em função da sobreposição desejada, da distância entre a câmera e o objeto e o valor do ângulo de visão da lente da câmera (Equação 2.1).

$$B = 2 \tan \frac{\alpha}{2} L \cdot (1 - p/100) \quad (2.1)$$

Na qual: B é a distância entre as posições das câmeras;  $\alpha$  é o ângulo da abertura da lente da câmera (graus); L é a distância da câmera ao objeto (m); e p é o percentual de sobreposição de uma fotografia em relação à outra.

As fotografias carregam uma série de informações e dados passíveis de serem extraídos e explorados em estudos científicos. A fotogrametria é um exemplo de técnica que adota as imagens resultantes do processamento das fotografias para subsidiar a investigação das fachadas de um edifício. É uma ferramenta de registro dos aspectos físicos do sistema inspecionado, dos componentes, das manifestações patológicas e, enfim, do estado de conservação da fachada. A última evolução das técnicas fotogramétricas automatizadas para obtenção de modelos

geométricos consiste no *Dense Stereo Matching* (DSM), que é embasado na correlação automática de conjuntos de *pixels* homólogos em diferentes fotos para a geração da chamada “nuvem de pontos” (GROETELAARS, 2015).

Nesse sentido, Lima e Zanoni (2019b) compõem a documentação visual para o edifício estudado associando o VANT como técnica de levantamento fotográfico à nuvem de pontos. Costa e Amorim (2009) aplicam uma metodologia para mapeamento de danos a partir da fotogrametria digital, que consiste em registro fotográfico do monumento, geração das ortoimagens (imagens retificadas, sem a distorção da perspectiva) e identificação dos danos por meio de vetorização em ferramenta CAD. Os autores concluíram que a utilização da técnica fotogramétrica para a produção de mapas de danos conferiu maior celeridade e racionalidade ao trabalho, apesar de não dispensar a realização de levantamentos complementares como prospecções e ensaios laboratoriais.

## 2.6 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO

O panorama da conservação da arquitetura moderna apresentado evidencia os desafios e as particularidades das soluções arquitetônicas e dos sistemas inovadores próprios do século XX, como é o caso dos edifícios altos e seus sistemas de fachada. Os sistemas de revestimento em rocha beneficiada em placas esbeltas conquistaram relevância no cenário da arquitetura do período. As inovações trazidas na sua produção e nos dispositivos de fixação demandaram um aprofundamento das investigações quanto ao seu comportamento e desempenho.

Apesar das posturas divergentes quanto às ações de conservação no patrimônio moderno, observa-se a importância da avaliação de cada caso específico. Dessa maneira, faz-se necessário um aprofundamento técnico a respeito do sistema analisado e do seu estado de conservação, a fim de embasar a seleção dos procedimentos e das técnicas de intervenção a serem adotados. Nesse escopo, são essenciais as atividades de inspeção e de monitoramento de fachadas.

Como suporte à especificação e, particularmente, à análise do estado de conservação desses sistemas e do seu envelhecimento natural, faz-se necessário não apenas investigar as características petrográficas e mineralógicas do material rochoso, mas, sobretudo, compreender seu comportamento enquanto componente do sistema de fachada. Apesar da complexidade de atributos técnicos e da variação de características da rocha, é possível sistematizar os agentes de degradação, os mecanismos de degradação e as manifestações patológicas mais relevantes no sistema e suas partes.

São poucas as publicações que abordam os sistemas de revestimento em placas de rocha como um estudo sistematizado e integrado quanto ao estado de conservação, incluindo a investigação das camadas, com as respectivas funções e adequação aos requisitos de desempenho, associado à análise e ao diagnóstico das edificações altas da arquitetura moderna, ao longo do seu

envelhecimento natural. Nesse sentido, a partir da revisão bibliográfica realizada e do arcabouço teórico conceitual, propõe-se um método de suporte ao monitoramento de sistemas em rocha nas fachadas de edifícios altos modernos, segundo procedimentos, técnicas, critérios, requisitos e convenções estabelecidos, apresentado no capítulo seguinte.

### 3 MÉTODO PROPOSTO

Frente ao recorte proposto na pesquisa e a partir dos referenciais teóricos e conceituais apresentados no capítulo anterior, foi desenvolvido um método de investigação do estado de conservação de sistemas de revestimento em mármore para edifícios altos de arquitetura moderna. Este capítulo apresenta o método, os principais fundamentos e referenciais metodológicos que embasaram sua formulação, além dos procedimentos para inspeção, caracterização, identificação e convenções gráficas para a representação dos danos. São apresentadas, ainda, as variáveis analíticas e os procedimentos de análise do estado de conservação.

#### 3.1 REFERENCIAL TEÓRICO METODOLÓGICO: FMEA E FMECA

Diversas metodologias já foram aplicadas à análise do estado de conservação de sistemas arquitetônicos, voltadas a investigar a relação entre os danos manifestados, os mecanismos de degradação e os agentes envolvidos. O desenvolvimento do método proposto nesta pesquisa foi embasado nos fundamentos e referenciais metodológicos, a seguir.

A norma internacional BS EN 60812:2006 – *Analysis techniques for system reliability – Procedure for failure mode and effects analysis – FMEA* define o método FMEA (*Failure Mode Effects Analysis*) ou Análise dos Modos de Falha e Efeitos como um procedimento sistematizado para a análise de um sistema com vistas a identificar modos de falha potenciais<sup>1</sup>, suas causas e danos. Com base no FMEA, foi desenvolvido o FMECA (*Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*), ou Análise Crítica dos Modos de Falha e seus Efeitos, que considera a frequência de ocorrência, o nível de gravidade ou grau de risco e a probabilidade de detecção dos modos de falha, possibilitando, assim, a hierarquização do risco (ABNT 1994; MOURA, 2000; SAKURADA, 2001).

O Número de Prioridade de Risco (NPR) ou *Risk Priority Number (RPN)* define a prioridade da falha, resultante do produto dos índices de Ocorrência (O), de Severidade (S) e Detecção (D), conforme Equação (3.1) a seguir.

$$\text{NPR} = S \times O \times D \quad (3.1)$$

Na qual:

NPR – Número de Prioridade de Risco

S – Índice de Severidade: refere-se à gravidade do efeito do modo de falha na funcionalidade do sistema

O – Índice de Ocorrência: refere-se à frequência ou à probabilidade de a falha ocorrer

D – Índice de Detecção: refere-se à facilidade de se detectar uma falha

O escopo do FMEA e sua extensão, o FMECA, inclui a caracterização do sistema, seus componentes e funções; a identificação dos modos de falhas dos componentes, suas causas e

<sup>1</sup> Modos de falha potenciais referem-se à perda de funcionalidade no sistema que decorrem de falhas nos componentes ou camadas. Têm como resultado os efeitos (danos), que consistem na maneira como se manifestam ou são percebidos (SAKURADA, 2001).

efeitos na funcionalidade dos sistemas; e, principalmente, a avaliação crítica dos efeitos dos modos de falha, gerando uma priorização, conforme se observa no fluxograma da Figura 3.1.

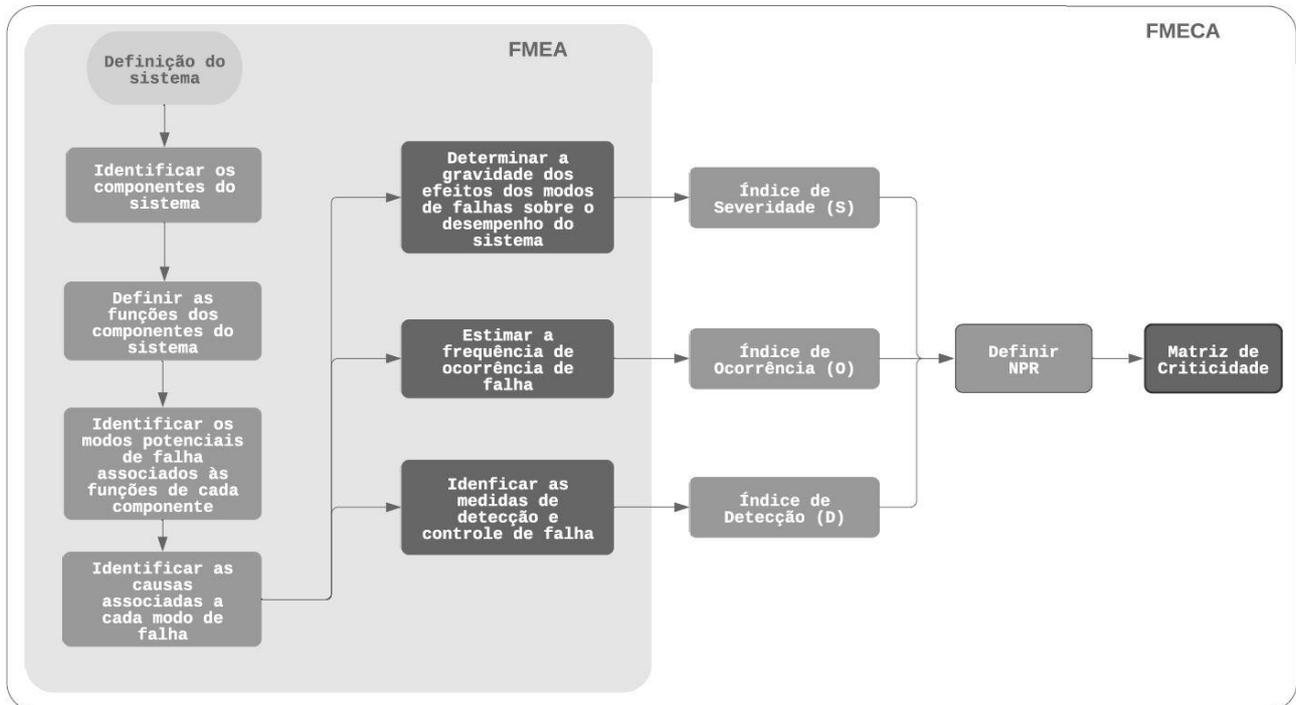


Figura 3.1: Métodos de análise dos modos de falha (FMEA) e sua criticidade (FMECA).  
Fonte: adaptado de Machado (2013) e da BS EN 60812:2006.

A análise dos valores definidos para o NPR permite hierarquizar as prioridades das ações de manutenção preventiva para cada parte integrante do sistema, a fim de reduzir os efeitos atribuídos aos modos de falha. A partir dos Índices de Severidade (S) e de Ocorrência (O) para os danos encontrados, frente a uma situação de variação mínima ou insignificante na facilidade de detecção, é possível desenvolver uma matriz de criticidade (MACHADO, 2013; ZANONI; BUSON, 2015).

As matrizes de criticidade são adotadas como ferramentas de análise da criticidade de danos. A Figura 3.2 contém exemplos de matrizes com a representação da criticidade do risco em escalas atribuídas aos índices “O” e “S”. Zanoni e Buson (2015) avaliam a qualidade construtiva de edificações de um programa governamental e adotam este recurso na análise dos danos causados pela umidade, agente patológico estudado (Figura 3.2a). A matriz de criticidade é utilizada também por Machado (2013) na avaliação do desempenho de sistemas de um edifício hospitalar, sendo que o risco pode ser classificado em aceitável, tolerável e intolerável segundo a criticidade (Figura 3.2b).

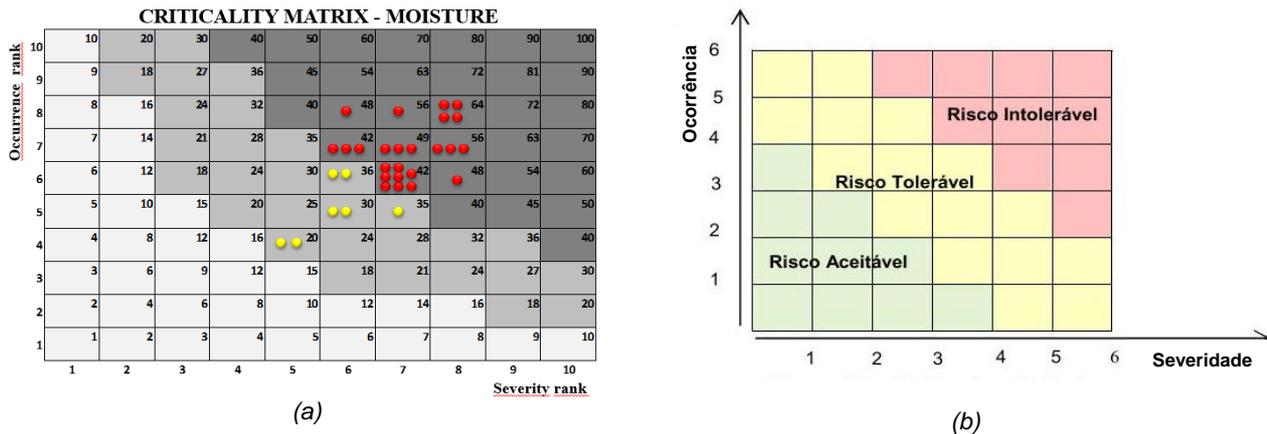


Figura 3.2: Matriz de Criticidade. Fontes: a) Zanoni e Buson (2015); b) Machado (2013).

### 3.2 APRESENTAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO

Como referencial metodológico, foi adotado o método de análise dos modos de falhas e seus efeitos (FMEA) e sua extensão (FMECA) para análise da criticidade (BS, 2006). O método aqui proposto prevê procedimentos para a análise de um sistema com vistas a identificação dos modos de falhas potenciais, suas causas e danos, identificação e análise dos componentes do sistema e dos requisitos de função e desempenho assegurados por cada um deles.

A apresentação do método abrange a descrição das etapas, seus procedimentos e técnicas recomendados e os produtos a serem obtidos. São descritos, ainda, as diretrizes, os requisitos, os critérios e as convenções estabelecidas que integram o método.

São três as etapas de aplicação do método para análise do estado de conservação de sistemas de revestimentos em mármore para edifícios altos modernos:

- I. levantamento de dados;
- II. análise do estado de conservação; e,
- III. delineamento dos cenários de conservação.

O fluxograma a seguir representa as etapas e subetapas que compõem o método (Figura 3.3).

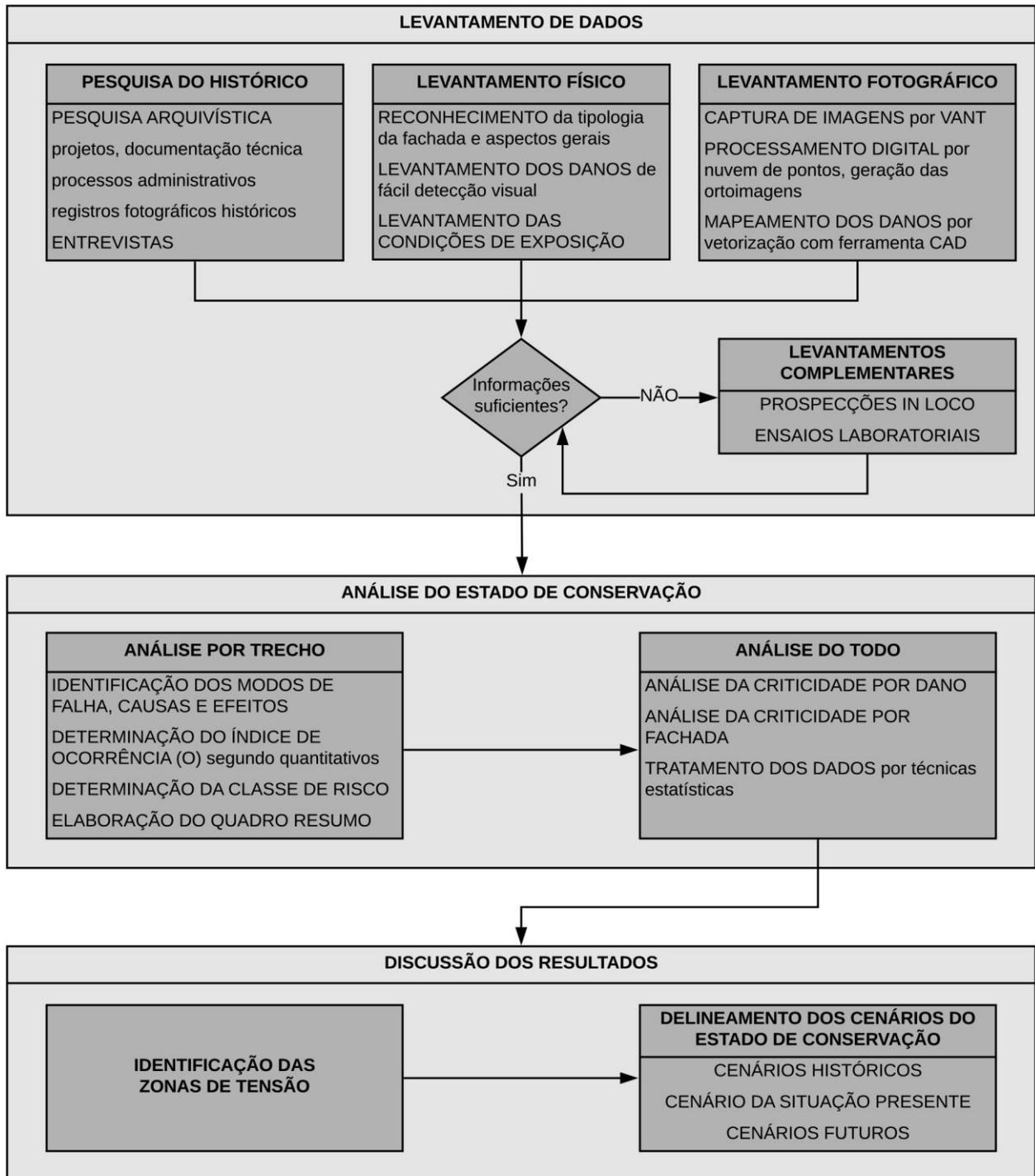


Figura 3.3: Fluxograma do método proposto.  
Fonte: Autora, 2019.

### 3.2.1 Etapa 1: Levantamento de dados

A etapa de levantamento de dados objetiva coletar as informações necessárias para a caracterização técnica do caso em estudo, incluindo os seus componentes e camadas, suas dimensões e funções, com registro, inclusive, dos danos existentes no sistema. Para esse fim, são

adotadas as subetapas de pesquisa do histórico do edifício, levantamento físico e levantamento fotográfico, além dos levantamentos complementares.

A pesquisa do histórico consiste nos procedimentos de anamnese, mediante consulta a projetos e a documentos técnicos, além de entrevistas com os envolvidos na sua conservação ao longo dos anos. Busca-se a obtenção de informações a respeito do sistema de revestimento em mármore por meio do levantamento de sua narrativa histórica, desde a construção, passando pelas intervenções sofridas.

O levantamento físico se dá por meio de técnicas de inspeção visual e registros fotográficos. Essa fase possibilita reconhecer a tipologia da fachada, os aspectos gerais do sistema, as condições de exposição e os danos de fácil detecção visual, de modo a viabilizar o planejamento e a definição do tipo de abordagem para as fases seguintes.

O levantamento fotográfico, por sua vez, consiste na etapa de documentação visual do sistema de revestimento, com base no reconhecimento e no registro da situação atual a partir da associação dos seguintes métodos e técnicas: captura de imagens mediante uso de VANT, geração de ortoimagens das fachadas por meio da fotogrametria digital e vetorização dos danos por ferramenta CAD. A partir das fotografias obtidas por VANT, os modelos por DSM (*Dense Stereo Matching*) são gerados. Por fim, as ortoimagens das fachadas, produtos do processamento digital, subsidiam a produção dos mapas de danos, nos quais, por meio de vetorização, as manifestações patológicas e as interferências no sistema são representadas graficamente (Figura 3.4).

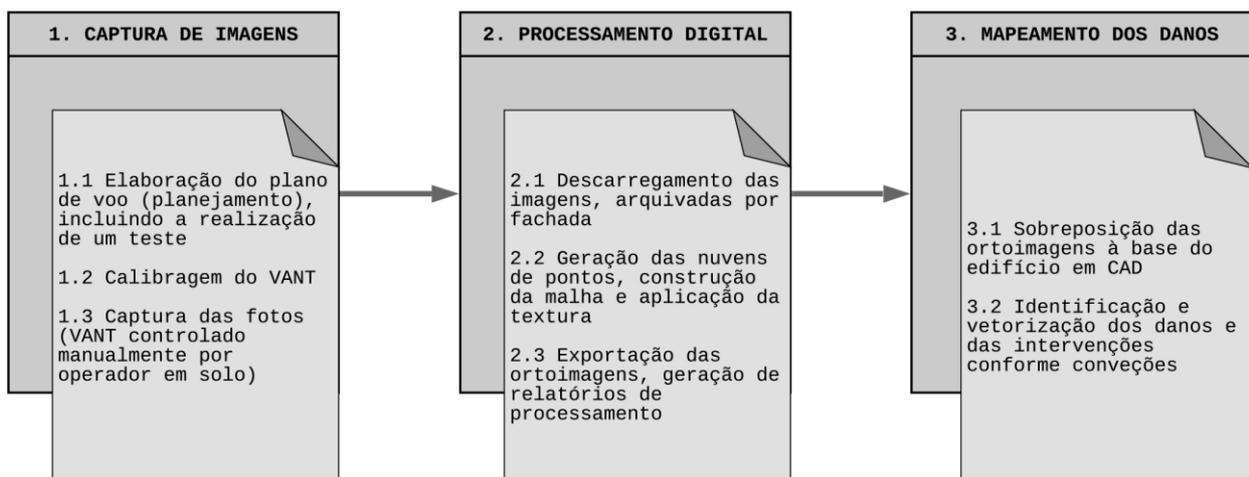


Figura 3.4: Fluxograma para a etapa de Levantamento Fotográfico.  
Fonte: Autora, 2019.

### Captura de imagens por VANT

A captura de imagens por VANT foi selecionada como técnica de levantamento fotográfico. Essa técnica requer a elaboração do plano de voo, que contém procedimentos sugeridos a fim de se

alcançar de modo eficaz o objetivo do levantamento: as imagens com precisão ideal para subsidiar a identificação do estado de conservação do sistema em estudo.

O plano de voo deve considerar a implantação do edifício inspecionado, sua tipologia e o tipo de sistema a ser levantado. Nesse sentido, envolve a análise da implantação, do entorno e do partido arquitetônico, além da definição de dia e horário que ofereçam condições favoráveis ao voo e ao registro fotográfico. Uma vez que o método proposto é voltado ao levantamento de edifícios altos, o trajeto do VANT deve se dar em linhas de voo na fachada com tomadas fotográficas nos dois sentidos, da subida e da descida, a fim de reduzir a necessidade de substituição da bateria do equipamento e otimizar o tempo.

O nível de precisão das fotografias é importante frente à finalidade do levantamento e ao processamento ao qual serão submetidas. Para tanto, importa não apenas a seleção do equipamento, mas o estabelecimento de alguns parâmetros, tais como a distância da câmera à fachada, a sobreposição das imagens lateral e longitudinalmente e a distância entre as tomadas fotográficas. A sobreposição lateral é definida pela distância entre as linhas de voo, e a longitudinal deve ser regulada mediante o equilíbrio entre a velocidade e a frequência de disparo da câmera.

A distância da câmera em relação à fachada deve ser a mínima possível a fim de obter imagens com o máximo de informações possíveis, uma vez assegurados os requisitos de segurança para os usuários, o patrimônio edificado e o equipamento. Para calcular a distância entre tomadas fotográficas, é adotada a Equação (2.1) (p. 60), que considera a sobreposição desejada, a distância entre a câmera e o objeto e o valor do ângulo de visão da lente da câmera. A fim de testar o plano e os parâmetros estabelecidos, sugere-se a realização de um teste preliminar, bem como as adaptações que possam ser fazer necessárias.

#### *Processamento digital*

As fotografias obtidas por VANT são tratadas e processadas por meio da técnica da fotogrametria digital. Primeiramente, elas devem ser descarregadas e arquivadas no computador, organizadas por pastas conforme a fachada, de modo a configurar parte do banco de dados gerado e dar início, então, à fase de processamento por nuvem de pontos. Para esta fase, sugere-se a adoção do *software* PhotoScan, já testado e de uso consolidado em pesquisas no campo da fotogrametria digital. No entanto, programas similares podem ser adotados, uma vez que as etapas de processamento são basicamente as mesmas, a saber:

- i) alinhamento das imagens;
- ii) reconstrução da nuvem de pontos esparsa;
- iii) construção da nuvem de pontos densa;
- iv) construção da malha; e

v) aplicação da textura.

As ortoimagens do sistema de fachada são obtidas como produtos. Mediante a sobreposição dessas imagens tratadas e retificadas ao arquivo base do edifício, procede-se à identificação e à vetorização dos danos e intervenções no sistema.

#### *Mapeamento dos danos*

Algumas convenções, classificações e critérios são necessários na fase de mapeamento de danos, que tem os mapas de danos do sistema estudado como produtos. Primeiramente, as manifestações patológicas são agrupadas em categorias com o mesmo sintoma, ou seja, as categorias foram definidas de modo a englobar os danos que se assemelham visualmente. Isso se deve ao fato de que a determinação precisa dos processos de degradação atuantes demandaria uma investigação mais profunda por meio da realização de ensaios específicos. Encontra respaldo também no objetivo do método, que é identificar e monitorar o estado de conservação por meio de inspeção visual.

Nesse sentido, o método proposto organiza as manifestações patológicas ou danos (D) em nove categorias: 1) alteração cromática e depósitos; 2) colonização biológica; 3) desagregação da placa; 4) desgaste na superfície; 5) perda de material; 6) fissuração; 7) deformação; 8) perda de aderência; e 9) falhas nas juntas. Conforme o Quadro 3.1 aponta, cada dano recebe um código alfanumérico “Dx.y”, onde “x” refere-se à categoria e “y”, a subcategoria.

*Quadro 3.1: Classificação dos Danos (D) no sistema de revestimento em mármore.*

Código	Danos (D)
D1	Alterações cromáticas e depósitos
D1.1	Pátina artificial, pintura localizada, vandalismo
D1.2	Mancha de umidade
D1.3	Mancha de oxidação
D1.4	Depósitos brancos (eflorescência, concreção)
D1.5	Depósitos escuros (sujidade, crosta negra)
D2	Colonização biológica
D2.1	Colonização biológica por plantas
D2.2	Colonização biológica por microorganismos (musgo, líquen, fungo)
D3	Desagregação da placa
D3.1	Desagregação da placa
D4	Desgaste na superfície
D4.1	Desgastes na superfície (alveolização, erosão química ou física, degradação diferenciada)
D5	Perda de material
D5.1	Perda de material (lascamento, escoriação, perfuração, dano mecânico)
D6	Fissuração
D6.1	Fissura contida na placa
D6.2	Fissura contínua no plano do revestimento
D6.3	Fratura da placa

Código	Danos (D)
D7	Deformação
D7.1	Deformação
D8	Perda de aderência
D8.1	Descolamento
D8.2	Destacamento
D9	Falhas nas juntas
D9.1	Falha no rejunte
D9.2	Falha na junta de movimentação

Fonte: Autora, 2019.

A categoria D1 – Alterações cromáticas abrange cinco tipos de danos: Pátina artificial/pintura localizada/vandalismo (D1.1), Mancha de umidade (D1.2), Mancha de oxidação (D1.3), Depósitos brancos (D1.4) e Depósitos escuros (D1.5). Optou-se por mantê-los separados em subcategorias por serem de fácil identificação, além de apresentarem causas bem definidas<sup>2</sup>, assim como no caso de D2 – Colonização Biológica, que reúne os danos Colonização Biológica por plantas (D2.1) e por microorganismos (D2.2). Apesar de a inclusão de mancha de biodegradação constar na bibliografia na categoria Alterações Cromáticas, entende-se que, nesse caso, as causas e os mecanismos de degradação se distinguem das demais categorias de danos, de modo que merece ser destacado dos demais<sup>3</sup>. Já a categoria Desagregação da placa (D3), foi prevista por também possuir características de fácil identificação e distintas dos demais tipos de danos<sup>4</sup>.

No tocante às categorias de danos D4 – Desgastes na superfície, e D5 – Perda de material, a bibliografia pode propor seu agrupamento. No entanto, como o critério de classificação dos danos adotado no método consiste em agrupar manifestações patológicas visualmente semelhantes, danos como alveolização, erosão química, erosão física e degradação diferenciada, que se manifestam como cavidades na superfície das placas de rocha (apesar de resultantes de mecanismos de degradação distintos) foram reunidos em uma única categoria (Desgastes na superfície). Do mesmo modo, lascamento, escoriação, perfuração e outros danos resultantes de ação mecânica foram incluídos em Perda de material<sup>5</sup>. A categoria D6 – Fissuração abrange

<sup>2</sup> O Icomos-ICS (2010) também agrupa os danos referidos na categoria “Alterações Cromáticas e Depósitos”.

<sup>3</sup> No mesmo sentido que se propõe no método, Icomos-ICS (2010) adota a separação de colonização biológica em categoria exclusiva. Iphan (2012), por outro lado, categoriza manifestações patológicas do tipo “colonização biológica” como integrantes do grupo “Estado de Conservação – Depósitos na superfície ou através da superfície / Alterações cromáticas”.

<sup>4</sup> No Glossário ilustrado de Icomos-ICS (2010), a manifestação “desagregação granular” está inclusa na categoria “Desprendimento” (tradução livre do espanhol *Desprendimiento*, e do inglês *Detachment*), juntamente como delaminação, e esfoliação.

<sup>5</sup> O Icomos-ICS (2010) agrupa essas manifestações na categoria “Características induzidas por perda de material”, incluindo como subcategorias a alveolização, a erosão, o dano mecânico (por impacto, corte, abrasão), perda de partes, perfuração, entre outros.

diferentes tipos de ruptura ou descontinuidades do material: aquelas contidas em uma placa e que não propagam para áreas adjacentes, e as que abrangem mais de uma placa, além da fratura<sup>6</sup>.

Como últimos danos manifestados nas placas de rocha, a categoria D8 – Perda de Aderência inclui Descolamento e Destacamento, que espelham a abordagem da rocha enquanto parte de um sistema de revestimento<sup>7</sup>. Essa premissa também é adotada para D9 – Falhas nas juntas. Entende-se que os danos nas juntas devem ser analisados conforme o seu tipo, a fim de se compreender as causas e os efeitos envolvidos. Assim, procedeu-se à subdivisão em Falha no rejunte e Falha na junta de movimentação<sup>8</sup>.

Cumprido ressaltar que, apesar de se manifestarem nas placas de rocha ou nas juntas de dilatação ou movimentação, os danos visíveis decorrem de problemas nas camadas mais internas (base, substrato ou mesmo do sistema estrutural do edifício). Essa percepção é fundamental quando se aborda o sistema de revestimento.

Também foram relacionados os itens que representam intervenções visíveis no sistema (I), importantes para a compreensão do estado de conservação do sistema analisado. Uma placa de mármore que se distingue das demais quanto ao padrão de cor e de veios, por exemplo, pode evidenciar uma substituição (a ser confirmada por meio de entrevistas aos responsáveis pela manutenção do sistema e pesquisa do histórico do edifício), indício da ocorrência de um dano anterior, como fratura, descolamento ou destacamento, que levou à necessidade de intervenção no local. O Quadro 3.2 relaciona os quatro tipos de intervenções passíveis de serem identificadas visualmente no sistema de revestimento em mármore.

*Quadro 3.2: Classificação das Intervenções (I) no sistema de revestimento em mármore.*

Código	Intervenções (I)
I1.1	Substituição de placa
I1.2	Reparo em mármore
I1.3	Reparo não adequado
I1.4	Interferências de dispositivos diversos e componentes das instalações prediais

*Fonte: Autora, 2019.*

A sinergia na ação de agentes e de efeitos pode resultar na sobreposição de mais de um dano, motivo pelo qual buscou-se uma convenção gráfica que facilite a leitura dos mapas. Define-se, assim, uma legenda com padrões de hachura e de cores conforme a severidade do dano, de modo

<sup>6</sup> Em Icomos-ICS (2010), a fratura é uma subcategoria de fissura, juntamente com fissuração radial, microfissura e craquelamento. Além disso, na classificação proposta por Icomos-ICS (2010), a categoria é chamada “Fissuração e Deformação”.

<sup>7</sup> Icomos-ICS (2010) e Iphan (2012) não apresentam o entendimento de perda de aderência da placa de rocha com relação ao substrato, por não abordar o sistema.

<sup>8</sup> Iphan (2012) também categoriza as manifestações patológicas nas juntas, ao prever “juntas abertas” e “juntas abertas maiores que 3cm”.

que danos de menor criticidade apresentem uma menor relevância visual no mapa, enquanto os danos mais críticos recebem maior destaque.

O Quadro 3.3 traz a representação gráfica para as Intervenções (I) e os Danos (D)<sup>9</sup> formatada como uma legenda gráfica a ser adotada na atividade de identificação e vetorização dos danos.

Quadro 3.3: Representação gráfica para intervenções e manifestações patológicas no sistema de revestimento em mármore.

REPRESENTAÇÃO DO SISTEMA DE REVESTIMENTO		Paginação das placas	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NAS PLACAS DE MÁRMORE		D3.1 - Desagregação da placa
		I1.1 - Substituição de placa			D4.1 - Desgaste na superfície
		I1.2 - Reparo em mármore (prótese)			D5.1 - Perda de material
		I1.3 - Reparo não adequado			D6.1 - Fissura contida na placa
		I1.4 - Interferências - pinos, parafusos, instalações prediais			D6.2 - Fissura contínua no plano do revestimento
MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NAS PLACAS DE MÁRMORE		D1.1 - Pátina artificial, pintura localizada, vandalismo	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NAS PLACAS DE MÁRMORE		D6.3 - Fratura da placa
		D1.2 - Mancha de umidade			D7.1 - Deformação
		D1.3 - Mancha de oxidação			D8.1 - Descolamento
		D1.4 - Depósitos brancos (eflorescências)	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NAS JUNTAS		D8.2 - Destacamento
		D1.5 - Depósitos escuros			D9.1 - Falha no rejunte
		D2.1 - Colonização biológica por plantas			D9.2 - Falha na junta de movimentação
		D2.2 - Colonização biológica por microorganismos			

Fonte: Autora, 2019.

<sup>9</sup> As definições para os danos ou manifestações patológicas no sistema de revestimento em rocha constam no Capítulo 2, seção 2.5.6: Manifestações Patológicas e Convenções Gráficas de Identificação de Danos.

Para a vetorização dos danos, bem como a complementação de informações sobre o sistema em estudo, é adotada a plataforma CAD (*Computer Aided Design*). Sugere-se o uso da ferramenta de referência externa (Xref) devido ao maior controle das atualizações e à possibilidade de se editar o arquivo de diagramação de pranchas simultaneamente ao de desenho. Nesse sentido, os arquivos trabalhados nesta etapa são de dois tipos:

- i) as bases ou arquivos-base, que recebem o código “BS” e consistem nos arquivos editáveis, nos quais são desenhadas por vetores as manifestações patológicas no sistema em estudo. Contêm, ainda, a representação do sistema em si, incluindo dimensões, paginação, elementos de interface da arquitetura, juntas de movimentação e de assentamento. A base com as informações sobre o edifício e o sistema (“BS\_EDIFÍCIO”) pode ser separada das bases contendo os danos por fachada (“BS\_DANOS\_FACHADA1”, “BS\_DANOS\_FACHADA2”, por exemplo).
- ii) arquivo com as pranchas, que recebe o código “PR” e contém a diagramação das pranchas organizadas com as informações de cada trecho, como preparação para exportação ou impressão, podendo ser chamado de “PR\_MAPAS”. Nele, os arquivos-base são inseridos por meio de referência externa.

A adoção do Xref possibilita também a sobreposição de outras bases resultantes de levantamentos e registros futuros, segundo a proposta de monitoramento contínuo da edificação e seus sistemas. Além disso, cada item ou elemento do desenho deve ser vetorizado em uma camada ou *layer* específica, como modo de se garantir a organização e o acesso às informações que integram o banco de dados.

#### *Levantamentos complementares*

Como parte dos levantamentos complementares, motivados pela necessidade de se obter mais informações sobre o sistema, procedimentos como ensaios laboratoriais e prospecções *in loco* devem contribuir para a obtenção de dados para a caracterização técnica e construtiva do sistema. Desse modo, é possível identificar suas camadas quanto às dimensões e composição, bem como as funções e a adequação aos requisitos de desempenho.

Os produtos obtidos na primeira etapa de Levantamento de dados são as ortoimagens resultantes do processamento digital das fotos capturadas por VANT, a representação gráfica do sistema de revestimento e o mapa de danos. Desse modo, são coletados dados que consistem na documentação visual e gráfica, além de dados qualitativos e quantitativos que irão compor o banco de informações do caso em estudo.

### 3.2.2 Etapa 2: Análise do estado de conservação

Com base nos dados da etapa anterior, a análise do estado de conservação consiste em duas fases, primeiramente por trecho e depois englobando o todo. Para essa etapa, convencionou-se que cada trecho corresponde a um pavimento, como modo de facilitar a organização dos dados e a análise, em que pese o recorte do estudo em edifícios em altura, com múltiplos pavimentos. A Figura 3.5 contém as fases e procedimentos da etapa de Análise do Estado de Conservação.

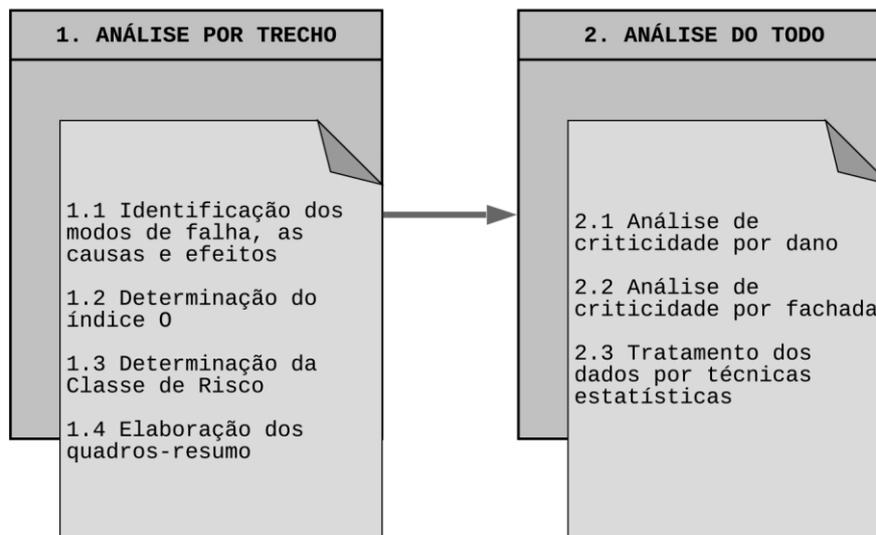


Figura 3.5: Fluxograma da etapa de Análise do Estado de Conservação.  
Fonte: Autora, 2019.

A partir da elaboração dos mapas de danos, são seguidos os passos da análise crítica dos modos de falha e seus efeitos (FMEA/FMECA) (BS, 2006), de modo a gerar uma base de dados relativa aos danos, trechos e escala de prioridade segundo a frequência e a gravidade dos danos encontrados. Essas informações são reunidas em um quadro-resumo por trecho, que recebe esse nome por conter produtos da primeira e segunda etapa – Levantamento de Dados e Análise do Estado de Conservação.

#### *Análise por trecho*

A fase de Análise do estado de conservação – por trecho segue os seguintes passos:

- i. identificação dos modos de falhas, as causas e os efeitos correspondentes;
- ii. determinação dos índices de Severidade (S) e Ocorrência (O) para cada manifestação patológica resultante do modo de falha;
- iii. determinação da Classe de Risco (CR);
- iv. elaboração do quadro-resumo para cada trecho.

Primeiramente, as manifestações patológicas identificadas no mapeamento de danos são sistematizadas em fichas de identificação de danos, contendo registro fotográfico, agente, causas

prováveis, mecanismos e efeitos. Este passo visa aprimorar o entendimento dos processos de degradação instalados no sistema em estudo.

A fim de determinar os Índices de Severidade (S) e de Ocorrência (O), no escopo do FMECA, foram estabelecidos critérios de classificação. Para o Índice de Severidade (S), a classificação da gravidade se baseia nos riscos aos usuários, ao patrimônio e ao meio ambiente<sup>10</sup>, além da abrangência dos processos de degradação e da possibilidade de evolução para consequências mais graves (Quadro 3.4).

Quadro 3.4: Critérios de classificação do Índice de Severidade da falha (S)

Classificação da gravidade	Índice de Severidade (S)	Critérios de classificação
Desprezível	1	Risco de impacto ao patrimônio edificado geralmente reversível, sem prejuízo à saúde e segurança dos usuários ou ao meio ambiente. Alterações na placa de rocha que não se enquadram nas condições das outras categorias, com ocorrência eventual e não sistêmica.
Mínima	2	Risco de causar prejuízos menores à aparência estética do patrimônio edificado, sem prejuízo ao usuário ou ao meio ambiente. Danos de baixa gravidade, com causas bem definidas, que não interferem na estanqueidade do sistema e se limitam a placa de rocha, eventualmente afetando as outras camadas.
Moderada	3	Risco de provocar a perda parcial de desempenho e funcionalidade por afetar a estanqueidade do sistema, podendo resultar em sua degradação precoce. Danos de pequeno grau de gravidade quanto a saúde e segurança do usuário, mas que ao gerar pontos de vulnerabilidade no sistema, podem evoluir para consequências mais graves no futuro, para um ou mais componentes do sistema.
Crítica	4	Risco para o patrimônio edificado e para o meio ambiente, com perda de desempenho e funcionalidade que compromete a vida útil do sistema e a segurança e a saúde do usuário. Danos resultantes de outros processos de degradação, de modo sistêmico ou não, e que podem afetar um ou mais componentes do sistema.
Altamente Crítica	5	Danos graves do ponto de vista da saúde e segurança do usuário, afetando também o patrimônio edificado e o meio ambiente, resultantes de outros processos de degradação, de modo sistêmico ou não, e que afetam mais de um componente do sistema.

Fonte: Autora, 2019.

Com base nos critérios apresentados, os danos foram classificados quanto à gravidade de 1 a 5, sendo que 1 equivale a gravidade desprezível e 5 altamente crítica. A Figura 3.6 relaciona o Índice de Severidade aos danos.

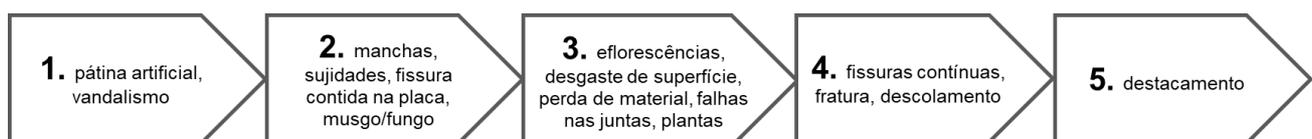


Figura 3.6: Classificação de severidade dos danos

Fonte: Autora, 2019.

O Índice de Ocorrência (O), por sua vez, tem classificação da frequência de 1 (muito baixa) a 5 (muito alta), segundo a quantificação do dano no trecho analisado e o impacto na tomada de decisão quanto à manutenção. Uma vez que a percepção desse impacto é diretamente influenciada pela classificação de gravidade do dano, convencionou-se separar os intervalos admissíveis em três grupos, conforme o Quadro 3.5.

<sup>10</sup> O Instituto Brasileiro de Avaliação e Perícias de Engenharia – Ibape de São Paulo (IBAPE, 2012) classifica o grau de risco dos danos como mínimo, moderado ou crítico, pautado nos riscos aos usuários, ao patrimônio e ao meio ambiente.

Conforme exposto, o índice “S” de cada dano é uma variável fixa, definida segundo os critérios apresentados no Quadro 3.4. Para a determinação do índice “O”, faz-se necessário levantar os quantitativos de danos por trecho por meio de contagem manual em malha sobreposta à representação gráfica do mapa de danos.

Quadro 3.5: Critérios de classificação do Índice de Ocorrência da falha (O)

Classificação da frequência	Índice de Ocorrência (O)	Critérios de avaliação	Intervalos relativos à área de ocorrência		
			grupo 1 <sup>1</sup>	grupo 2 <sup>2</sup>	grupo 3 <sup>3</sup>
Muito baixa	1	Ocorrência muito baixa, de baixo impacto na tomada de decisão quanto à manutenção.	$O \leq 5\%$	$O \leq 5\%$	–
Baixa	2	Ocorrência baixa, que demanda acompanhamento e eventuais ações no escopo da manutenção rotineira.	$5\% < O \leq 10\%$	$5\% < O \leq 10\%$	–
Moderada	3	Ocorrência moderada, que demanda acompanhamento e ações no escopo da manutenção preventiva a fim evitar a evolução dos danos.	$10\% < O \leq 20\%$	$10\% < O \leq 15\%$	$1\% < O \leq 2,5\%$
Alta	4	Ocorrência alta, que demanda intervenção no escopo da manutenção corretiva.	$20\% < O \leq 30\%$	$15\% < O \leq 20\%$	$2,5\% < O \leq 5\%$
Muito alta	5	Ocorrência muito alta, que demanda intervenção urgente no escopo da manutenção corretiva.	$O > 30\%$	$O > 20\%$	$O > 5\%$

Notas: <sup>1</sup> inclui danos com Índice de Severidade (S) equivalente a 1, 2 e 3.

<sup>2</sup> inclui danos com Índice de Severidade (S) equivalente a 4.

<sup>3</sup> inclui danos com Índice de Severidade (S) equivalente a 5.

Fonte: Autora, 2019.

Com base na revisão da bibliografia<sup>11</sup>, sugere-se a adoção da malha de 0,25 m x 0,25 m, composta por quadrantes de área de 0,625m<sup>2</sup>, que deve conferir o refinamento necessário à contagem dos danos. Conforme se observa na Figura 3.7, cada manifestação patológica que ocupa um quadrante, total ou parcialmente, é contada como uma unidade, e mediante o percentual com relação ao trecho se obtém o índice de ocorrência “O”. Essa informação é então incluída no banco de dados do sistema para o trecho e a fachada correspondentes.

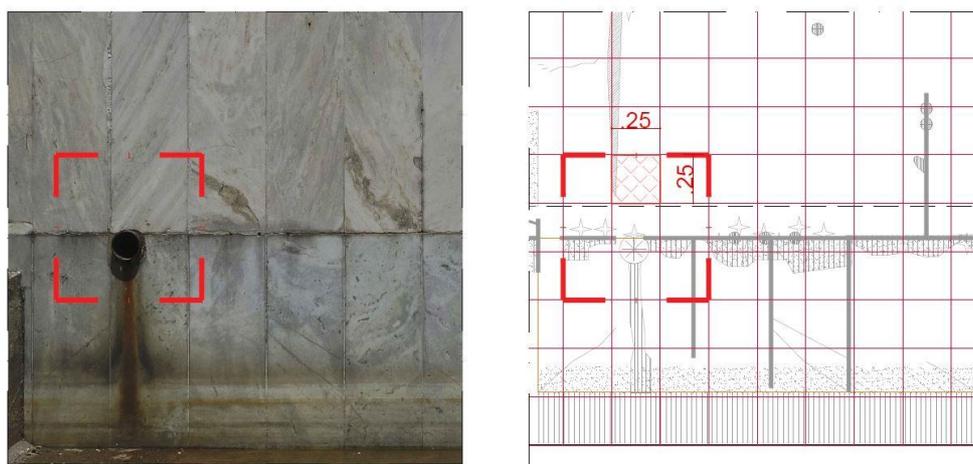


Figura 3.7: Exemplo da malha de 25x25cm para a quantificação dos danos: a) ortomagem; b) representação gráfica do mapa de danos com a malha sobreposta. Fonte: Autora, 2019.

<sup>11</sup> SILVA (2014) adota malha de 0,25 m x 0,25 m, para a avaliação quantitativa da degradação, em estudo da vida útil de revestimento cerâmico de fachada.

Além dos critérios apresentados, especialistas com afinidade ao tema responderam a um questionário formulado como meio de balizar a classificação da gravidade e a definição dos intervalos de frequência para cada grupo<sup>12</sup>. Finalmente, para o método proposto, optou-se por desconsiderar o Índice de Detecção de falhas, uma vez que os componentes do sistema analisado (placas de mármore e juntas de dilatação) possuem a mesma dificuldade de detecção por meio das técnicas de monitoramento e inspeção.

Desse modo, na fase de Análise por trecho os danos são relacionados aos Índices de Severidade (S) e de Ocorrência (O), de modo a permitir o cálculo da Classe de Risco (CR), que corresponde à criticidade de um dano ou de seu efeito no sistema. O risco pode ser classificado como mínimo ( $CR \leq 3$ ), moderado ( $3 < CR \leq 12$ ) ou crítico ( $CR > 12$ ), e a escala de cores visa facilitar o tratamento e a leitura dos dados (Quadro 3.6). O máximo valor que a Classe de Risco (CR) pode receber é 25.

*Quadro 3.6: Exemplo de tabela com Classe de Risco (CR)*

Danos	Quantitativo	Percentual	S	O	CR	
Código Dano 1	10	2,62%	2	1	2	(risco mínimo)
Código Dano 2	10	2,62%	2	1	2	(risco mínimo)
Código Dano 3	129	33,77%	3	5	15	(risco crítico)
Código Dano 4	183	47,91%	2	5	10	(risco moderado)
Código Dano 5	86	22,51%	2	4	8	(risco moderado)

*Fonte: Autora, 2019.*

Uma vez alimentado o banco de dados por trecho e por fachada, procede-se à elaboração do quadro-resumo para cada trecho e empena correspondente, ao incluir no arquivo de pranchas (PR\_MAPAS, iniciado na etapa de levantamento) as tabelas de criticidade.

A fase de Análise por trecho do estado de conservação tem como produtos os quadros-resumo (Figura 3.8), que reúnem para cada trecho analisado as informações relativas às etapas 1 e 2: Levantamento de Dados (levantamento fotográfico, representação gráfica do sistema e mapa de danos) e Análise do Estado de Conservação (tabela com escala de criticidade, contendo a CR para cada dano). Tem-se, assim, um banco de dados, no âmbito do trecho, com informações sobre o comportamento do sistema de revestimento investigado, no que se refere às causas e efeitos para as falhas e sua criticidade.

<sup>12</sup> O questionário foi submetido a profissionais do ramo da Arquitetura e Engenharia que lidam com atividades de manutenção de sistemas de fachada, e pode ser consultado no Apêndice B.

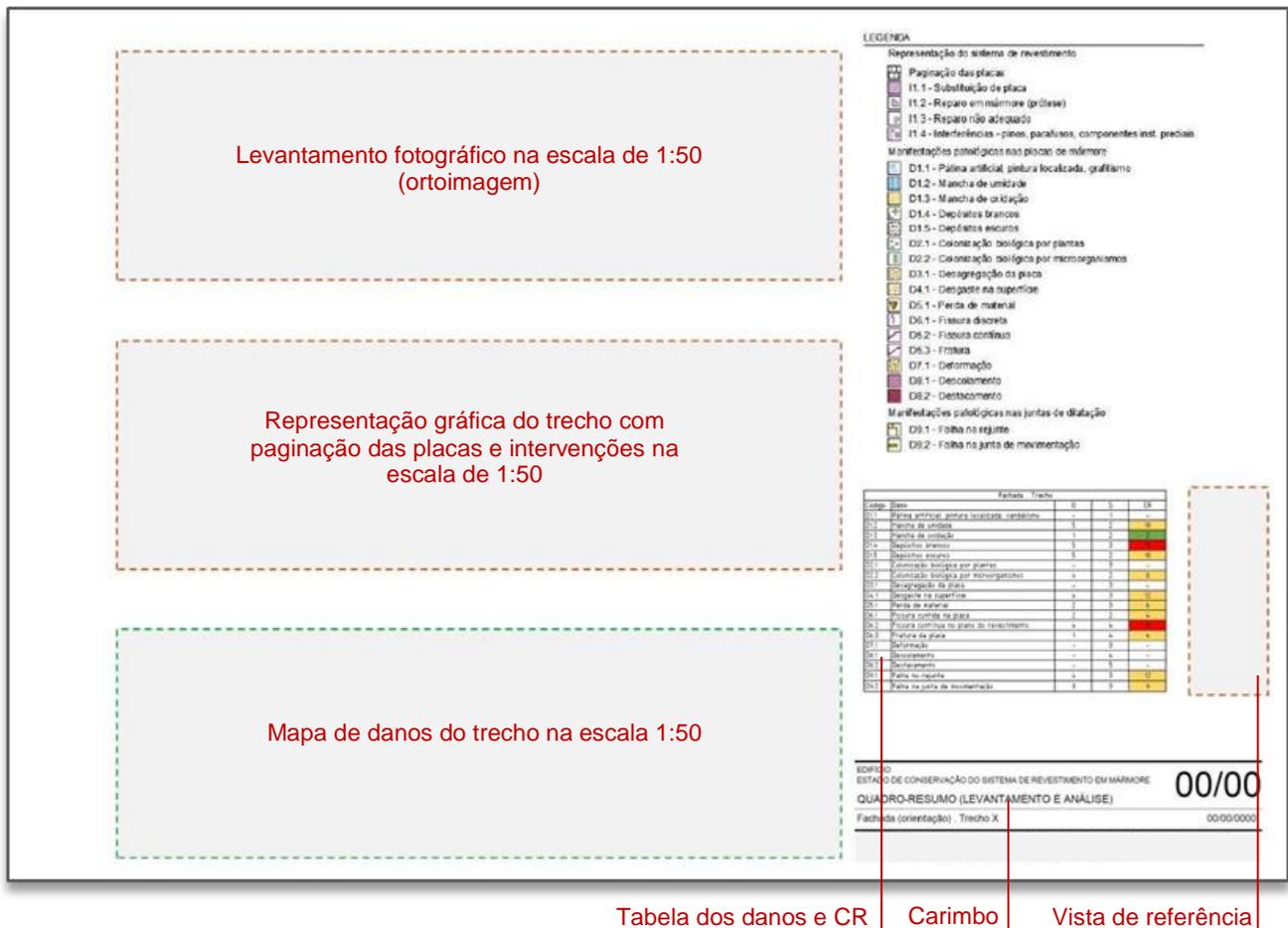


Figura 3.8: Diagramação sugerida para quadro-resumo.  
Fonte: Autora, 2019.

### Análise do todo

Partindo-se para a fase de Análise do todo, a análise da criticidade ocorre mediante a elaboração das matrizes de criticidade, organizadas segundo a fachada do sistema. Esses gráficos, desenvolvidos para cada tipo de dano, devem correlacionar os índices “S” e “O” aos trechos com sua respectiva classificação quanto à classe de risco (Figura 3.9). Desse modo, consistem em um recurso de representação gráfica da criticidade do dano, segundo a frequência de ocorrência e a gravidade, com a finalidade de consolidar as informações acerca do sistema em estudo, facilitar a leitura por meio de uma escala de cores que reflete a classe de risco, além de organizar os dados levantados na etapa anterior.

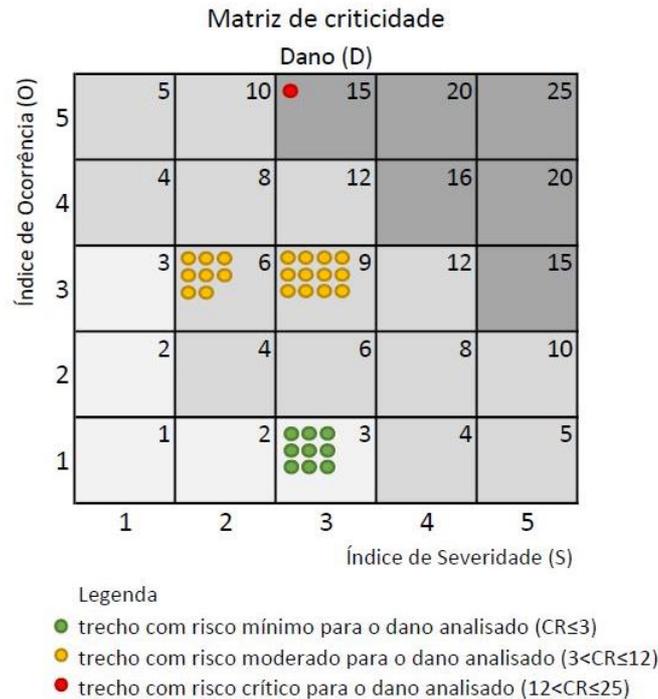


Figura 3.9: Exemplo de matriz de criticidade.  
Fonte: Autora, 2019.

Outra ferramenta para a análise de criticidade é a representação por fachada da matriz de correlação entre tipos de danos e trechos. Neste caso, a escala de cores para a classe de risco pode apresentar mais tonalidades a fim de facilitar a leitura da criticidade. Também é proposta uma formatação na qual os trechos fiquem dispostos verticalmente, com o intuito de refletir a seção vertical ou elevação do edifício em altura e seus pavimentos, conforme consta na Figura 3.10.

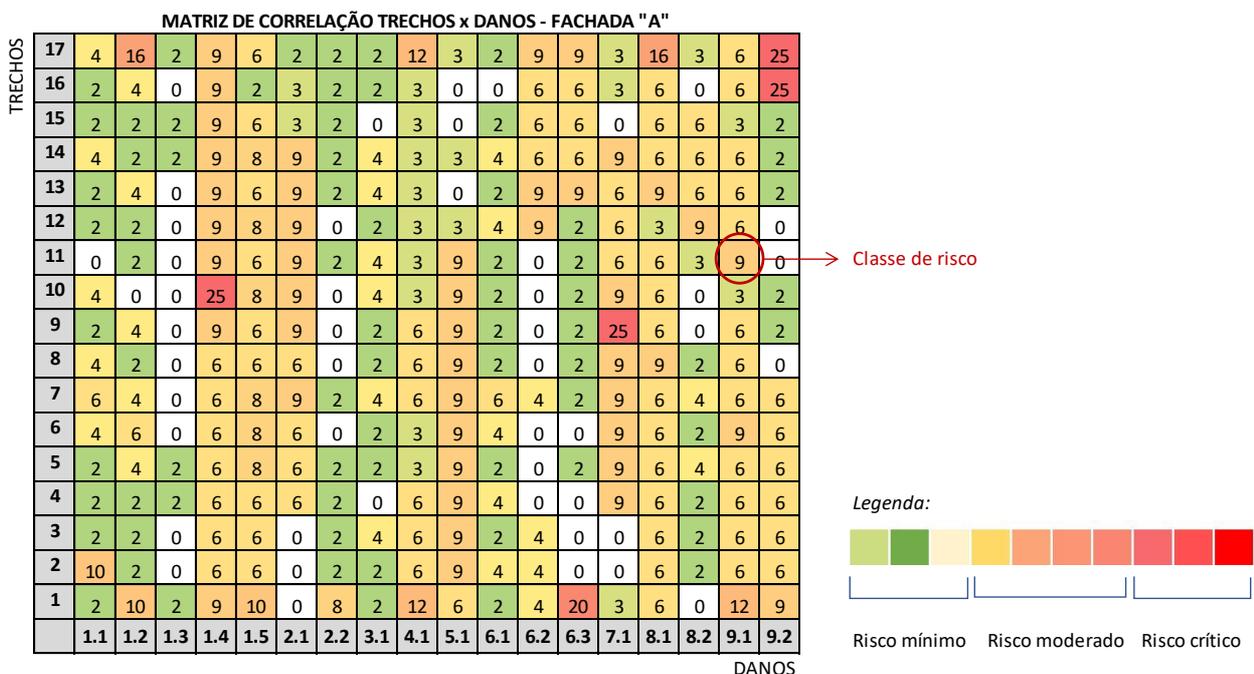


Figura 3.10: Exemplo de matriz de correlação entre trechos e danos.  
Fonte: Autora, 2019.

Com o banco de dados organizado, o próximo passo consiste na análise dos dados por meio de técnicas estatísticas como ANOVA, Histogramas, *Boxplot*, pós-teste de *Tukey* e Análise de Correlação de Pearson, visando as múltiplas comparações entre as variáveis.

Desse modo, é na fase de Análise do todo que se apresenta e se discute todos os dados quanto ao estado de conservação para o sistema de revestimento em mármore estudado. Tem como produtos as matrizes de criticidade, as matrizes de correlação e os gráficos gerados a partir da análise estatística.

### **3.2.3 Etapa 3: Discussão dos resultados**

Esta etapa consiste na discussão dos dados mais relevantes e na síntese dos resultados. Nela são identificadas as Zonas de Tensão no sistema de fachada e delineados os Cenários do Estado de Conservação.

#### *Identificação das Zonas de Tensão*

Conceito-chave para a pesquisa, as Zonas de Tensão se referem às regiões do sistema, considerando-se cada fachada, de maior vulnerabilidade ou susceptibilidade à degradação, de modo a apresentar danos com maior gravidade<sup>13</sup>. Apesar de os sintomas aparecerem no sistema de revestimento de fachada, em uma visão abrangente e integrada do comportamento edifício, as Zonas de Tensão são resultado da interação desse sistema com os sistemas estrutural e de vedação e, ainda, com a arquitetura do edifício (decisões projetuais, partido arquitetônico e materialização). A identificação das Zonas de Tensão no sistema estudado deve permitir monitorar os danos decorrentes dos mecanismos de degradação atuantes, subsidiando um Plano de Conservação no futuro.

#### *Delineamento dos Cenários do Estado de Conservação*

O método proposto nesta pesquisa parte da premissa que a caracterização do sistema estudado deve considerar as condições específicas nas quais ele foi concebido, produzido e utilizado. Devem ser levados em conta, ainda, os agentes de degradação, seus efeitos, bem como a sinergia das ações entre os diversos agentes, assim como dos processos de degradação. Os produtos obtidos refletem as relações de causa e efeito predominantes nos sistemas frente às condições de uso e exposição, relacionadas à sua concepção, execução, uso e operação, ambiente onde se insere, entre outros. Dessa forma, permitem delinear os cenários do estado de conservação dos sistemas, como um processo evolutivo – desde o cenário histórico, a situação presente, até desdobramentos para cenários futuros.

---

<sup>13</sup> Em Lima et al. (2017) as *Stress Zones* ou Zonas de Tensão são utilizadas para descrever o estado de conservação dos sistemas de fachada de um edifício moderno fora do Eixo Monumental de Brasília-DF.

Os Cenários do Estado de Conservação são delineados como representações do desempenho dos sistemas desde o início de sua vida operacional até os dias atuais. Apontam, ainda, cenários possíveis de curto, médio e longo prazo. Os cenários futuros são propostos mediante a formulação de hipóteses e tendências, a depender da tomada de decisão frente às ações de conservação e manutenção do sistema de revestimento. Desta forma, o delineamento dos Cenários do Estado de Conservação permite embasar o monitoramento do envelhecimento natural do edifício e as ações para compor um Plano de Conservação. A Figura 3.11 contém uma representação esquemática proposta para o delineamento dos Cenários do Estado de Conservação.



Figura 3.11: Diagrama das variáveis analíticas para o delineamento dos Cenários do Estado de Conservação.  
Fonte: Autora, 2019.

O primeiro conjunto de variáveis – qualidade dos materiais, de projeto e construtiva –, refere-se ao ciclo de produção do edifício. Considera-se que a qualidade dos materiais que compõem as camadas de um sistema pode ser determinada por um contexto histórico de disponibilidade de matéria-prima ou produto industrializado, e ainda por uma especificação de projeto. A qualidade de projeto depende, principalmente, da equipe responsável por detalhar as soluções para o sistema, bem como do tempo disponível, e, assim como a qualidade de construção, relaciona-se ao contexto histórico de construção e intervenções.

As condições de serviço tratam de como o uso do edifício e de seus sistemas, no que toca a sua funcionalidade, influenciam na conservação, envolvendo, ainda, a operação e as medidas de monitoramento adotadas, no escopo da manutenção preventiva. As condições ambientais e climáticas, enfim, aceleram a degradação com maior ou menor intensidade, a depender das condições de exposição e da influência que as ações externas exercem sobre o sistema em análise.

## **4 CONGRESSO NACIONAL: APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO**

Este capítulo contém a aplicação do método para a análise do estado de conservação de sistema de revestimento em mármore nas empenas das torres do Palácio do Congresso Nacional, edifício alto de características modernas. O sistema é caracterizado técnica e construtivamente por meio do levantamento do histórico do edifício, dos danos e das intervenções visíveis. Os resultados do estado de conservação são apresentados trecho a trecho, e englobando o todo. Após a aplicação das técnicas estatísticas, as análises dos resultados permitem identificar as Zonas de Tensão que subsidiam as discussões para o delineamento dos Cenários do Estado de Conservação.

### **4.1 LEVANTAMENTO DE DADOS**

#### **4.1.1 Apresentação do Estudo de Caso: o Palácio do Congresso Nacional**

O Palácio do Congresso Nacional é um dos exemplares mais significativos, arquitetônica e simbolicamente, no contexto da arquitetura moderna brasileira e, particularmente, da construção de Brasília. Erigido entre 1956 e 1960 para abrigar a sede do Poder Legislativo nacional, possui relevância enquanto parte do conjunto monumental da Esplanada dos Ministérios e da Praça dos Três Poderes e no âmbito do edifício, por seu tombamento como patrimônio artístico nacional.

Há vários aspectos que contribuem na valoração do edifício enquanto bem patrimonial. Nesse sentido, Carvalho et al. (2014) sintetizam alguns dos valores que lhe são atribuídos, tais como o valor de uso, relacionado às atividades desempenhadas; o valor histórico, uma vez que é tido como documento, reflexo do contexto construtivo e do seu percurso histórico; o valor simbólico enquanto representação do Poder Legislativo, da democracia brasileira e da própria cidade; e o valor urbanístico, devido à inserção no traçado urbano como um marco visual na paisagem.

Seu partido arquitetônico consiste no bloco predominantemente horizontal, o Edifício Principal, com cobertura de onde afloram as duas cúpulas dos plenários das casas legislativas, e as lâminas verticais, que consistem nas torres anexas, conjunto este habilidosamente implantado por meio de taludes, níveis, seminíveis e rampas de acesso, do qual também fazem parte os jardins e espelhos d'água (Figura 4.1).

Observando a Figura 4.1, percebe-se que, no entorno do Palácio do Congresso Nacional, há o Palácio do Itamaraty e os anexos da Câmara dos Deputados do lado direito, e os anexos do Senado Federal do lado oposto. Ao fundo da figura, observa-se a Praça dos Três Poderes, onde estão dispostas as construções contemporâneas ao palácio: o Supremo Tribunal Federal (à direita) e o Palácio do Planalto (à esquerda), sedes do poder Judiciário e Executivo, respectivamente.



*Figura 4.1: Vista aérea do Palácio do Congresso Nacional, situado ao final do Eixo Monumental e da Esplanada dos Ministérios de Brasília. Foto: Joana França, 2016*

Para melhor apreender a arquitetura do Congresso Nacional, é necessário extrapolar para seu caráter urbano e os recursos adotados na sua implantação. O edifício localiza-se na junção dos dois terraplenos<sup>1</sup> do Eixo Monumental, o de formato triangular configura a Praça dos Três Poderes e o outro, em um nível mais elevado, a Esplanada com os blocos ministeriais. Possui papel-chave na ligação entre esses espaços e níveis, de modo a focar a perspectiva da Esplanada, articulando-a à praça cívica – pertence, assim, aos dois lugares. Holanda caracteriza sua implantação como um “urbanismo tridimensional”, no qual a visibilidade e a acessibilidade que definem a relação entre o espaço interno e externo são obtidas por meio da disposição dos volumes, da transparência das fachadas envidraçadas e, principalmente, da movimentação de terra (HOLANDA, 2010).

O entorno imediato à sede do Legislativo consiste nos espelhos d’água, nos jardins e gramados, nos estacionamentos, vias e calçadas. Os recursos adotados na implantação no terreno resultam em diferentes níveis e seminíveis, refletidos tanto na parte externa, com acessos ao interior dos edifícios a partir de rampas, quanto nos pavimentos internos das torres e, principalmente, do bloco horizontal. Este pode ser acessado pela rampa em declive do gramado central, a Noroeste, de modo que sua cobertura permanece nivelada às vias S1 e N1 do Eixo Monumental. As torres afloram do nível mais baixo, o mesmo da praça, e, por serem isoladas fisicamente pelo grande

<sup>1</sup> Na concepção de Brasília, Lúcio Costa adotou recursos de planejamento urbano como os eixos organizadores (Eixo Monumental e Rodoviário), a setorização e o uso dos terraplenos. Esse último é justificado por Costa (1957) como sendo retirado de um repertório antigo, uma “técnica oriental milenar” que “garante coesão ao conjunto e lhe confere uma ênfase monumental ‘imprevista’.” (COSTA, 1957, art.9).

espelho d'água, são acessadas por meio de rampas pelas fachadas Sudoeste e Nordeste. Além disso, liga-se ao bloco horizontal por meio de túnel que aflora entre os volumes, com fechamentos verticais revestidos em mármore (Figura 4.2).

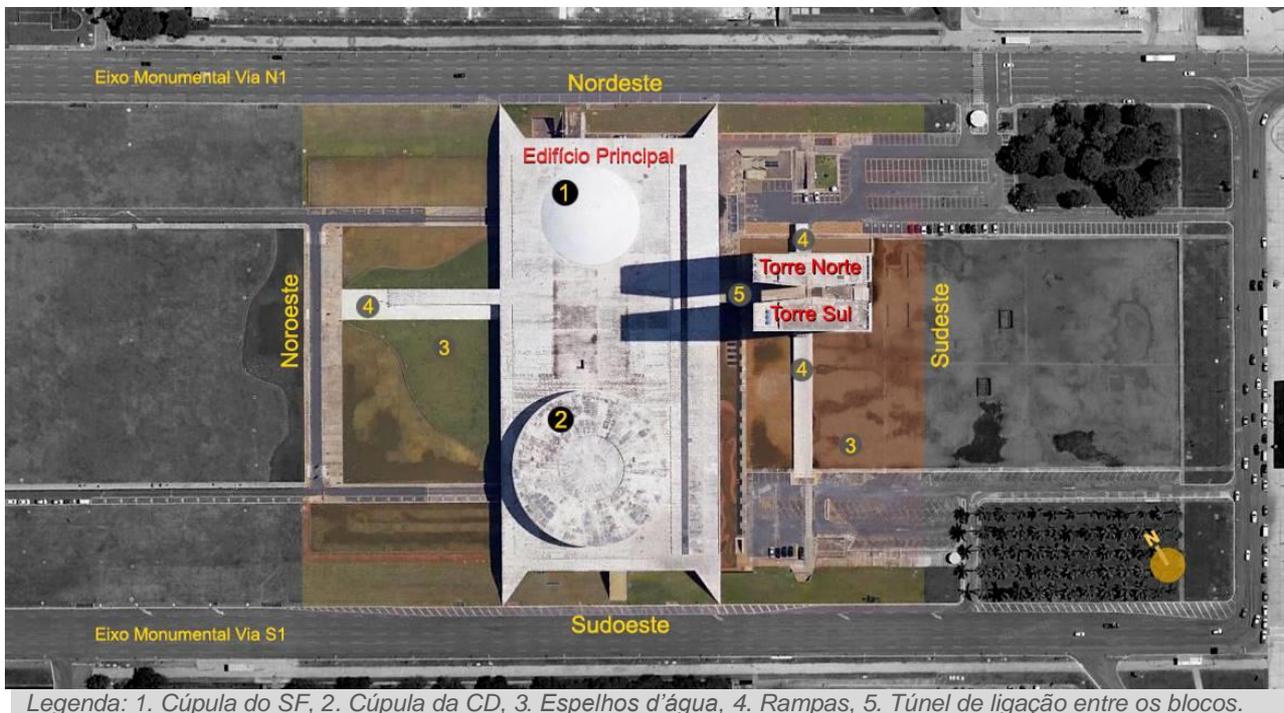


Figura 4.2: Palácio do Congresso Nacional – Implantação.

Fonte: Google Earth, adaptado pela autora, 2019.

Os elementos principais que compõem o partido arquitetônico do Congresso Nacional – o bloco horizontal, as cúpulas e as torres – apresentam diferentes estratégias estruturais, o que demanda, para o palácio, um entendimento amplo de ordem tectônica como sendo a expressão dos processos construtivos adotados. Nesse sentido, tal ordem deve ser lida mediante a articulação coesa dos seus elementos construtivos: a malha estrutural de pilares dos blocos constituintes, as esquadrias e os revestimentos em placas de mármore. (MACEDO; SILVA, 2010).

Enfoque da presente pesquisa, as torres do Congresso Nacional foram projetadas para serem os edifícios mais altos da capital<sup>2</sup>. Possuem 29 pavimentos (incluindo subsolo), totalizando 95 metros de altura, com estrutura mista de aço e concreto. As fachadas são compostas por dois tipos de sistemas: esquadrias de aço e vidro nas voltadas para Sudoeste e Nordeste<sup>3</sup>, sendo que nesta há brises de alumínio, e sistema de revestimento em mármore nas empenas, orientadas para Noroeste e Sudeste.

Cada torre apresenta aproximadamente 10 metros de largura e 45 metros de comprimento. São dispostas paralelamente, separadas 10 metros uma da outra, distância que se reduz na medida em que se aproxima da parte central, consequência da forma romboide da planta. Nesse trecho entre

<sup>2</sup> Costa e Nimeyer, 1958, “Praça dos Três Poderes e Palácio do Congresso Nacional”, p. 18.

<sup>3</sup> As fachadas de esquadrias são externas e internas, estas localizadas entre as torres, uma de frente para a outra.

as lâminas, há passarelas que interligam três pavimentos, que correspondem ao 14º, 15º e 16º andares (Figura 4.3).



Figura 4.3: Torres do Congresso Nacional. a) vista a partir do espelho d'água, a Sudeste, b) vista das fachadas internas de esquadrias e das passarelas de ligação entre as torres. Foto: Autora, 2019.

Quanto à estrutura das lâminas, os pilares são em perfil “I” de aço revestido em concreto, assim como as vigas entre as lajes duplas em concreto, sistema que permite a passagem de instalações entre a laje de piso e a de forro. Os vãos longitudinais entre pilares de 4,89 m correspondem ao comprimento das peças estruturais metálicas (SILVA, 2012a). No sentido transversal, são quatro fileiras de pilares com vãos de 2,5 m, 4,45 m e entre as últimas, junto ao núcleo de serviços<sup>4</sup>, com variação de 1,64 m a 3,33 m (Figura 4.4). Além disso, como estratégia estrutural, o bordo das lajes é circundado por balanços:

*(...) foi adotado um balanço de 38cm nas lajes, suficientes para receber alvenarias externas de fechamento nas empenas e esquadrias nas diagonais. Assim, o invólucro do edifício, mediado por balanços, é quase totalmente independente da estrutura. (MACEDO; SILVA, 2011).*

Além da circulação vertical do edifício, o núcleo de serviços, trecho da planta dedicado a áreas técnicas e de apoio (Figura 4.4), possui papel auxiliar no combate às ações horizontais dos ventos, juntamente das “pontes de ligação”, as passarelas que interligam as lâminas (SILVA, 2012a). Desse modo, foram adotados recursos comuns a outras obras modelo do modernismo nacional, a exemplo do núcleo de circulação conferindo rigidez ao sistema estrutural e a uniformidade das

<sup>4</sup> A parte central dos pavimentos junto às fachadas internas inclinadas configura o núcleo de serviços, composto pelas caixas de elevadores, torre de escada, áreas molhadas (banheiros e copa) e áreas técnicas (*shafts* de instalações e armários técnicos)

faces inferiores das lajes de pavimento (laje de forro)<sup>5</sup>, presentes também no projeto do MES (SILVA, 2012a).

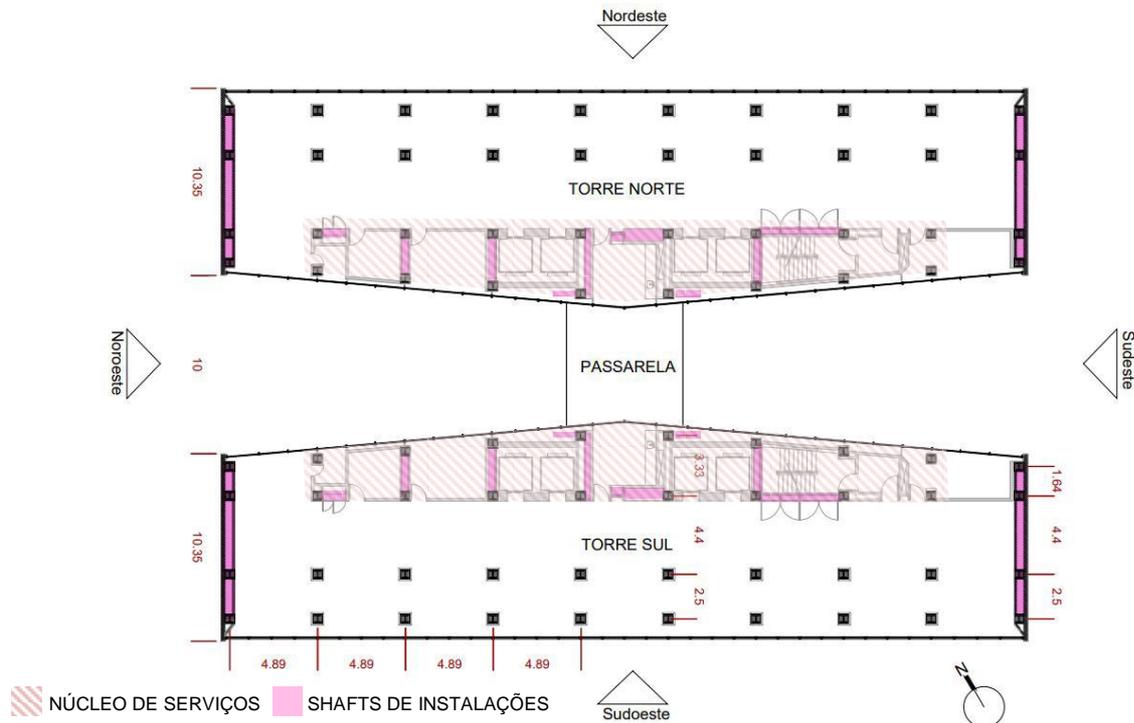


Figura 4.4: Planta do pavimento-tipo (andares 2-10, 13, 17, 19, 20, 22-26) das torres anexas do Congresso Nacional.  
Fonte: Autora, 2019, adaptado de arquivos fornecidos pela CD.

Além da planta do pavimento-tipo predominante (Figura 4.4), presente em 18 dos 29 andares de cada torre, há outros cinco tipos de planta que variam quanto à presença de: acessos externos e ligação interna entre as torres e ao Edifício Principal (térreo), reservatórios d'água (andares 11, 12, 18 e 21), ligação entre as torres por meio de passarela (andares 14, 15 e 16), casa de máquinas de elevadores/reservatório d'água (28º andar), e variação nos sistemas de fachada (subsolo, que por ser um pavimento semi-enterrado apresenta fechamento em alvenaria e janelas altas no lugar dos panos de esquadria). Além disso, os elevadores atendem apenas do subsolo ao 26º andar, sendo os últimos níveis acessíveis apenas por escada – um recurso projetual voltado para a obtenção de uma forma prismática mais pura, sem a interferência da casa de máquina dos elevadores na cobertura.

As torres contam com os sistemas de instalações elétricas e de iluminação, hidráulicas (água fria, esgoto, águas pluviais, combate a incêndio e sprinklers), mecânicas (ar-condicionado e pressurização das escadas), detecção e alarme de incêndio, sonorização, telefonia e rede. Alguns dos sistemas se tornaram obsoletos, a exemplo dos alto-falantes raramente utilizados, e o sistema

<sup>5</sup> No caso do Ministério da Educação e Saúde, a alternativa encontrada para tanto foi a adoção de lajes cogumelo e com capital invertido (SILVA, 2012a).

de gás encanado que atendia às instalações para restaurante<sup>6</sup> antes existente nos andares intermediários e que hoje se encontra desativado. Para a passagem vertical dos dutos e tubulações, são utilizados os *shafts* previstos no núcleo de serviços e nas extremidades, no espaço entre a parede dupla das empenas (Figura 4.4). A distribuição horizontal utiliza o vão entre a laje de piso e a de forro.

Os sistemas de fachada consistem nas esquadrias em metal e vidro (alumínio no bloco horizontal e aço nas torres anexas, conforme Macedo et al., 2016), nas estruturas em concreto armado das cúpulas com acabamento em pintura na cor branca sobre substrato de argamassa, e as superfícies com revestimento em mármore branco no sistema de piso da cobertura transitável do Edifício Principal e nos sistemas de revestimento das empenas das torres Norte e Sul.

O sistema de revestimento em rocha das fachadas das torres apresenta como principais características a cor branca do mármore, a paginação das placas assentadas verticalmente com juntas alternadas e a verticalização das empenas, dada pelas dimensões do edifício em altura.

#### 4.1.2 Pesquisa do histórico

Os desafios eram diversos no contexto construtivo de Brasília, no qual o Congresso Nacional se insere, e incluíam a distância da indústria em relação ao sítio escolhido e a diversidade de agentes envolvidos, passando ainda pela falta de mão de obra qualificada (SILVA, 2012a). Particularmente nas atividades de construção do edifício em estudo, as adversidades que influenciaram a escolha dos materiais e da técnica adotada, e que afetam, assim, seu desempenho, consistiram na existência de contratos segmentados e de complexa execução e fiscalização, aliada ao prazo reduzido para a conclusão das obras. Tal prazo estava atrelado à data de inauguração da cidade – o que, segundo Silva (2012a), não impediu que o edifício fosse ocupado antes mesmo de sua conclusão definitiva.

Frente à necessidade de se reduzir os prazos para a entrega da obra, optou-se pelo sistema construtivo misto, em aço e concreto (Figura 4.5), para a estrutura das torres anexas (SILVA, 2012a; MACEDO; SILVA, 2011). Há pouca informação documentada a respeito do projeto executado para essa estrutura, possivelmente devido às alterações na condução de sua contratação<sup>7</sup>. Sabe-se, no entanto, que a contratação dos serviços foi feita em conjunto com a estrutura das construções na Esplanada "com base nos padrões definidos para os edifícios

---

<sup>6</sup> Segundo corte esquemático do projeto original (Dossiê ARQ-AI-0006 – CD, 1958-1960) os andares de 14º ao 16º das torres eram destinados às atividades de "cozinhas e restaurantes". Consta também dos projetos de instalações menção às instalações de gás.

<sup>7</sup> Houve rescisão contratual devido a atrasos nos prazos de andamento da obra para a execução das estruturas de concreto armado das torres, antes a cargo da empresa Emulpress, que propôs a solução de lajes pré-moldadas. Os serviços ficaram, então, sob responsabilidade da Companhia Construtora Nacional, que elaborou também o projeto estrutural (SILVA, p. 348, 2012a).

ministeriais, que previam, dentre as especificações, a execução de estrutura de aço protegida por invólucro de concreto simples e de lajes também em concreto" (SILVA, 2012a, p. 348).

A princípio, as empenas foram previstas em concreto armado com a função de contraventamento da estrutura, conforme consta no Segundo Anteprojeto de Arquitetura, de 1957. Contudo, mudanças no projeto e no decorrer das obras levaram à adoção de sistema de vedação em alvenaria de tijolos cerâmicos (SILVA, 2012a).

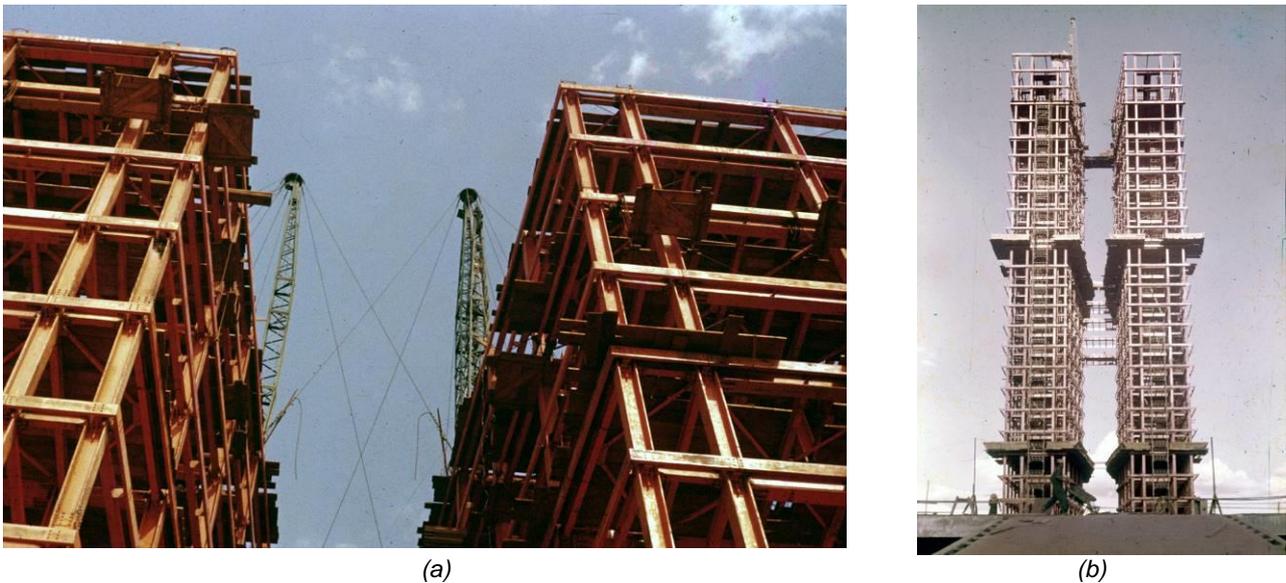


Figura 4.5: Construção das torres anexas do Congresso Nacional, 1958: a) detalhe das vigas e pilares de aço; b) vista do esqueleto de aço a partir da rampa de acesso à cobertura plataforma (cobertura do Edifício Principal).

Fonte: Acervo da Novacap.

O cronograma de obras (Quadro 4.1) apresenta a sequência das principais atividades para erigir as torres anexas, incluindo a instalação do esqueleto de aço, a execução das estruturas de concreto, vedações verticais, sistemas de impermeabilização, revestimentos das empenas e instalações prediais.

Quadro 4.1: Cronograma de Obras para as Torres do Congresso Nacional.

Atividade	1958			1959						
	dez.	jan.	fev.	mar.	abr.	mai.	jun.	jul.	ago.	set.
Estrutura de aço										
vigas										
colunas										
Estrutura de concreto										
lajeamento do forro										
lajeamento do piso										
concreto moldado <i>in loco</i>										
Execução das alvenarias										
Impermeabilização										
Revestimento empenas										
concorrência										
fabricação e transporte										
instalação										
Instalações <sup>1</sup>										

Notas: <sup>1</sup> instalações elétricas, hidráulicas, pluvias e esgoto com execução prevista até dezembro de 1959.

Fonte: Autora, 2019, adaptado de ArPDF, Cronograma de Desenvolvimento das Obras – Edifício do Congresso Nacional (Anexo), s/data.

No caso dos sistemas de revestimento em mármore, a realização de Concorrência para definir a empresa responsável estava prevista para dezembro de 1958, seguida da produção das placas de mármore e, finalmente, a instalação como camada de acabamento em agosto e setembro de 1959. A Sociedade Marmífera Brasileira ganhou o certame, sendo a empresa responsável pelo fornecimento e instalação de rochas de revestimento em outras obras de autoria de Niemeyer, tais como os demais palácios da Praça dos Três Poderes, o Palácio da Alvorada e o Museu da Cidade (VENEZIANI, 1989; SILVA, 2012a).

As evidências indicam que os prazos não foram cumpridos em decorrência do atraso na execução de outros sistemas. Mesmo que a execução da estrutura de concreto armado estivesse prevista para ocorrer entre fevereiro e junho de 1959, sabe-se que a solicitação para rescisão de contrato referente a esses serviços com a primeira empresa data de 6 de abril de 1959 – há pouco mais de um ano para a inauguração do edifício (Processo 776/1958 – NOVACAP, 1958b).

De modo distinto das esquadrias, para as quais foram localizados projetos com indicação de materiais, componentes e detalhes executivos (MACEDO et al., 2016), não consta nos projetos originais e documentos históricos detalhes do sistema de revestimento das empenas das torres anexas, tampouco das cúpulas (SILVA, 2012a)<sup>8</sup>. Isso aparentemente se deve ao cronograma justo das obras, que limitou o tempo da etapa de planejamento, além da adoção de detalhes e soluções padrões para as construções do período, conforme constata Silva (2012a). Pesa, ainda, a contratação de serviços em conjunto com outras obras, como no caso já mencionado do sistema estrutural.

Todavia, várias publicações citam que a camada de acabamento do sistema de revestimento das empenas é de mármore Branco Itálva<sup>9</sup> (VENEZIANI, 1989; SILVA, 2012; FRASCÁ; NEVES, 2016). Veneziani (1989), responsável pela empresa que forneceu o mármore para as obras do Congresso, relata a experiência desafiadora nos serviços para execução desses sistemas de revestimento nos palácios de Brasília, destacando a necessidade de uma logística específica frente à dificuldade de acesso e a peculiaridade da arquitetura. Ele descreve o canteiro de obras do palácio da Alvorada, com instalações de beneficiamento do mármore, que já chegava a Brasília em chapas de 3 a 4 cm.

Os serviços de assentamento das placas de mármore nas empenas das torres podem ser observados na Figura 4.6, que evidencia as camadas do sistema. É possível notar, de cima para baixo, a platibanda em concreto armado e a base em tijolo cerâmico marrom claro interrompida pelas vigas de bordo e lajes de pavimento, que também compõem a base para o revestimento em mármore. Nos andares abaixo, observa-se a execução de chapisco, seguida do emboço, e na

---

<sup>8</sup> Há no projeto de ampliação do Edifício Principal de 1971 (Dossiê ARQ-EP-0003 – CD, 1971) a indicação, para o sistema de revestimento da “Esplanada”, de “mármore branco” com juntas de dilatação.

<sup>9</sup> O Anexo A contém a caracterização do mármore Branco Itálva segundo o Catálogo das rochas ornamentais do Estado do Rio de Janeiro (DRM, 2003 apud Frascá e Neves, 2016).

maior parte das empenas o assentamento das placas de mármore com argamassa de fixação<sup>10</sup> já realizado. Além disso, aparentemente o processo de revestimento foi executado concomitantemente, mediante três conjuntos de balancins intercalados por bandejas de proteção no caso de queda de material.

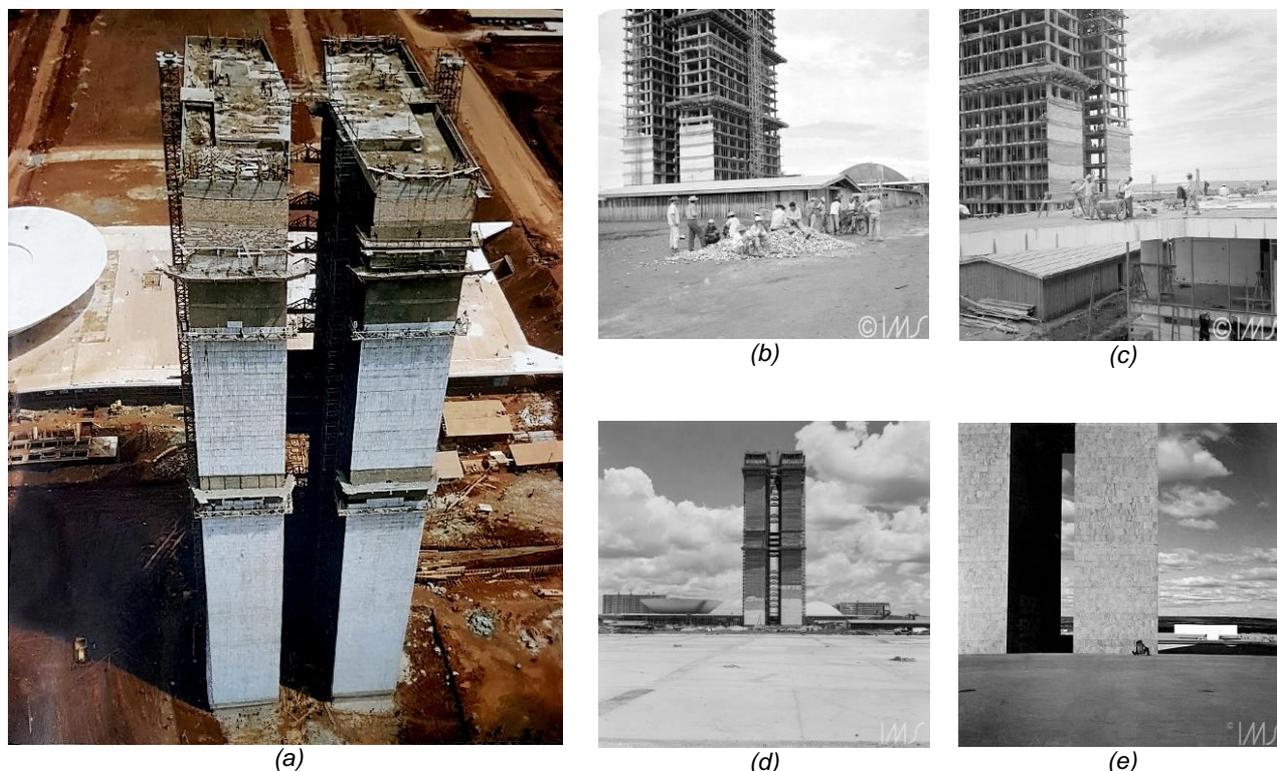


Figura 4.6: Serviços de assentamento das placas de mármore das torres anexas, 1959: (a) Fonte: RÜEGG, Arthur. René Burri – Brasília. Zürich, 2011; (b - e) Fonte: Acervo do Instituto Moreira Salles – IMS.

O Palácio do Congresso levou alguns anos para ter sua obra concluída, mesmo após a inauguração. Isso explica o motivo pelo qual a Novacap era responsável pela manutenção do edifício nos seus primeiros anos de operação, conforme processos administrativos de contratação e de aquisição do Arquivo do Centro de Documentação e Informação da Câmara dos Deputados (CEDI/CD). Podem ser citados: o processo nº 12.087/1966 (NOVACAP, 1966), de refazimento da impermeabilização do espelho d'água, e o nº 38.124/65 (NOVACAP, 1965), que trata de solicitação à companhia por ações de manutenção nas áreas do órgão<sup>11</sup>.

Quanto às intervenções no sistema de revestimento em mármore das empenas, foram localizados poucos registros em processos administrativos e plantas históricas, sendo a maior parte da informação obtida mediante entrevistas realizadas às equipes de manutenção sem precisão, contudo, nas datas e nos trechos afetados.

<sup>10</sup> Segundo informação obtida com a equipe de manutenção da Câmara, as placas eram assentadas diretamente na "massa", usando a técnica tradicional conhecida como "bolão".

<sup>11</sup> O ofício nº 1.199 de 24 de novembro de 1965 contém solicitação do Diretor Geral da Câmara dos Deputados ao superintendente da Novacap por uma revisão geral em todas as dependências do órgão no período do recesso do parlamentar, com "feitura de pequenos reparos, principalmente na parte de pintura" a fim de que o edifício retorne às atividades "refeito em sua aparência estética" (NOVACAP, 1965, p.1).

Nesse âmbito, destacam-se os serviços ocorridos na década de 1980, quando a torre Sul foi submetida a uma série de intervenções voltadas ao atendimento das normas de segurança contra incêndio<sup>12</sup>. Nessa ocasião, foi instalado laminado fenólico melamínico na cor bege como revestimento da alvenaria interna da empena, que possivelmente foi refeita, uma vez que há tubos de queda no vão entre as duas vedações e controles do sistema de sonorização e do ar-condicionado embutidos. Uma das pranchas do projeto indica a instalação de tubo para a fixação de cabos na platibanda, com chapim especificado em placa de mármore com 3 cm de espessura de “cor e modulação idênticas ao existente nas testadas e nas empenas” (Dossiê ARQ-AI-0311 – CD, 1984-1988).

As reformas a que o espelho d’água foi submetido no decorrer do uso e operação do edifício também afetam os sistemas de revestimento das empenas – no caso o espelho de onde afloram as torres, que se trata de uma solução original da época da construção do edifício, e nos projetos históricos recebe a denominação de “lago”<sup>13</sup>. O elemento arquitetônico passou por algumas revisões no sistema de impermeabilização e nas juntas estruturais<sup>14</sup>. Entre elas, destacam-se os serviços realizados ainda em 1966 nas bordas e em todos os elementos contíguos, tais como as estruturas para fixação de refletores, os pilares das rampas e os trechos de embasamento das empenas do Anexo I, onde se adotou a técnica mista de impermeabilização<sup>15</sup> (Processo 12.087/1966 – NOVACAP, 1966).

A interface do sistema de revestimento com o espelho d’água é um fator importante para a análise do estado de conservação, visto que, além de ser um agente de degradação por si só, a água contém produtos químicos e favorece a existência de contaminantes biológicos. Acresce que funcionários da Câmara reportaram a existência de patos e cisnes no local até a década de 1990, o que pode ser confirmado por meio de registros fotográficos da época (Figura 4.7a), e ainda hoje é comum encontrar peixes no local. No caso da torre Norte, a degradação do sistema de

---

<sup>12</sup> Os serviços incluíram a substituição de divisórias e de revestimentos internos, a recuperação das esquadrias nas fachadas Sudoeste e Nordeste, a revisão das instalações elétricas, hidráulicas, de telefonia, áudio, ar-condicionado, a instalação de *sprinklers* e a construção de heliponto na cobertura, que demandou o desenvolvimento de projeto estrutural, segundo informações obtidas em entrevista a Maurício Matta, ex-diretor do Departamento técnico da Câmara dos Deputados, em junho de 2017, e validadas por meio de consulta aos Dossiês de Projeto de Arquitetura e Engenharia do Acervo da Câmara dos Deputados (nº 0034, 0311, 0316, 0319, 0343, 0358, 0367, 0701, 0702, 0703, 0704 – datados de 1984 a 1988).

<sup>13</sup> O outro espelho d’água localizado na fachada frontal, voltada para a Esplanada dos Ministérios, se trata de intervenção posterior, de 1998, solicitada pelo senador Antônio Carlos Magalhães a Oscar Niemeyer por questões de segurança (SILVA, 2012a).

<sup>14</sup> O espelho d’água se manteve vazio entre 2016 e 2018 em decorrência de serviços de prospecção na pavimentação. Na ocasião, as juntas estruturais foram objeto de manutenção.

<sup>15</sup> A especificação para a impermeabilização estanque em técnica mista consistia em colmagem integral com ligeira pintura asfáltica (colmatadores integrais da SIKA ou similar) e colmagem superficial. Os procedimentos incluíam: limpeza das superfícies, retirada de pintura primária de neoprene e hipaloni, execução das meias-canas do espelho em argamassa traço 1:3, serviços preliminares para receber a impermeabilização, inclusive regularização. Acabamentos e arremates por placas de cimento e areia 1:3 com juntas com mastique de aproximadamente 1 x 1 m e espessura de 3 cm, ou lajotas hidráulicas com juntas em mastique e superfície prensada (NOVACAP, 1966).

revestimento de fachada nos trechos em contato com a água do lago resultou em alterações mais radicais, com a substituição das placas de mármore na face Noroeste.

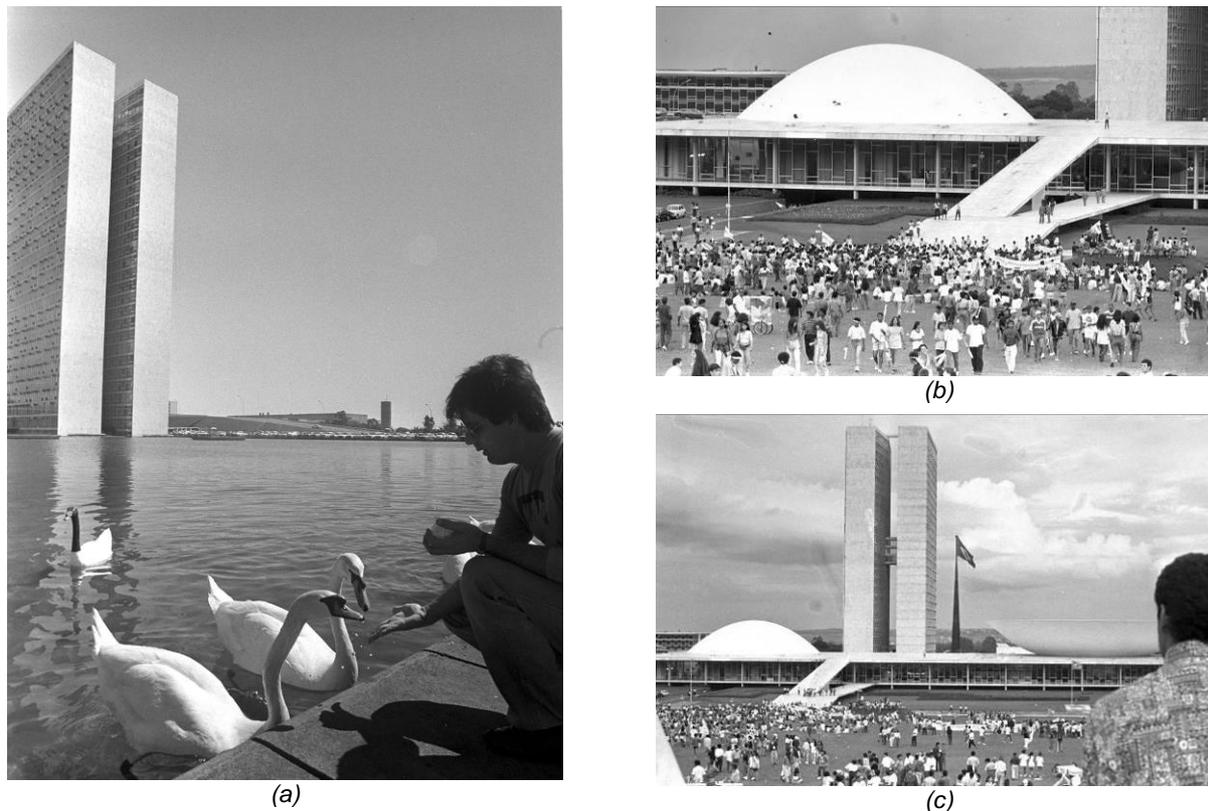


Figura 4.7: Fotos de momentos históricos do Congresso Nacional: a) cisnes no espelho d'água, 1984, foto de Luiz Lemos; b) parte frontal, ainda sem o espelho d'água, 1993, foto de Jorge Cardoso; c) id.(b), com destaque para as juntas de movimentação marcadas na torre Sul, à direita. Fonte: Acervo Novacap.

A situação presente do Congresso Nacional é marcada por duas questões: o tombamento do palácio pelo Iphan e a gestão compartilhada. Quanto ao tombamento, ocorreu de modo provisório em 2007 e definitivamente em 2017<sup>16</sup>, e engloba o Edifício Principal, as torres anexas, além do espelho d'água, os gramados frontais e laterais. Incide ainda sobre o edifício o tombamento do Conjunto Urbanístico de Brasília de 1987, regulamentado pelas Portarias nº 314/1992 e nº 166/2016, do Iphan.

Atualmente, a gestão dos espaços físicos do Congresso Nacional é compartilhada entre as duas casas legislativas, o que por vezes se reflete no estado de conservação do sistema abordado na pesquisa, a exemplo da Figura 4.7c em que se nota (mesmo a distância) diferença no tratamento das juntas de movimentação entre pavimentos. Após o período de gestão pela Novacap, ainda no final da década de 1960, as atribuições relativas à conservação e à manutenção do edifício passaram a ser divididas, ficando a torre Sul sob a gestão da Câmara dos Deputados, e a Norte do Senado Federal.

<sup>16</sup> A Portaria nº 55, de 06/06/2017, publicada no Diário Oficial da União nº 108, seção 1, pág. 16, de 07/06/2017, homologa o Tombamento do Conjunto de Obras do Arquiteto Oscar Niemeyer tramitado mediante Processo nº1.550 – T – 07 (01500.011563/2008-53).

Com o passar dos anos, o complexo edificado dos órgãos se ampliou e passou a englobar não apenas o palácio, mas diversos anexos e complexos avançados fora do perímetro da Zona Cívico-Administrativa da capital. Esse estoque edificado é gerido pelos órgãos técnicos de Arquitetura e Engenharia, responsáveis por sua conservação, o Departamento Técnico (Detec) da Câmara dos Deputados e a Secretaria de Infraestrutura (Sinfra) do Senado Federal.

Pedro Roriz, diretor do Serviço de Obras e Manutenção (Serob) do Detec entre 1984 a 2018, relata o crescimento da estrutura do órgão que originalmente integrava os “Serviços Gerais”, responsável por executar as ações de manutenção rotineira e corretiva no edifício. O órgão foi criado assim que a Novacap deixou de ser responsável pelas ações de manutenção no palácio, frente às demandas por intervenções geradas pelo uso ou com vistas a sanar problemas nos sistemas arquitetônicos e de instalações.

No tocante às ações de manutenção no sistema de revestimento em mármore das fachadas das torres, segundo entrevistas realizadas com as equipes técnicas, não há atualmente procedimentos de manutenção rotineira, sendo prática comum nos últimos anos a realização de ações corretivas no caso de perda de aderência das placas de mármore em relação ao substrato e consequente destacamento. No caso da torre Sul gerida pela Câmara, o antigo diretor do Detec, arquiteto Maurício Matta, mencionou ter ocorrido na década de 1990 a realização dos serviços de refazimento de juntas, limpeza das placas de mármore e reposição de placas descoladas e destacadas. O engenheiro Eduardo Reis do SEROB relatou também a ocorrência mais recente de intervenções pontuais, devido ao destacamento de placas: em 2015 na região de interface com as esquadrias, e, em 2017, em trechos da platibanda.

Encontra-se em elaboração o Acordo de Cooperação Técnica<sup>17</sup>, a fim de formalizar as atribuições relativas à manutenção rotineira nas áreas comuns das Casas Legislativas, e possibilitar o desenvolvimento de ações conjuntas. Não obstante, algumas atividades nesse âmbito já foram iniciadas. Exemplo disso é o grupo de trabalho composto por arquitetos e engenheiros da CPROJ e da Sinfra, com o objetivo de investigar soluções para sanar problemas de infiltração na cobertura do Edifício Principal (plataforma do Congresso Nacional), devido às falhas no sistema de impermeabilização e no sistema de piso em placas de mármore<sup>18</sup>.

Além disso, estão em andamento os “serviços de manutenção dos revestimentos de mármore nas fachadas do Edifício Principal e do Anexo I do Senado” (BRASIL, 2017b) no escopo do Pregão

---

<sup>17</sup> O Acordo de Cooperação Técnica tem sua elaboração prevista no Ato Conjunto nº 2/2016. Atualmente, o Ato Conjunto nº 3/2016 é o instrumento empregado para regular a cooperação entre as duas Casas Legislativas, na medida em que padroniza os procedimentos administrativos, bem como modos de compartilhamento de áreas, instalações, bens e serviços entre SF e CD.

<sup>18</sup> Em 2017, foram realizados os procedimentos de levantamento e diagnóstico. Os mapas de danos produzidos foram embasados na metodologia proposta por Iphan (2012). Os resultados obtidos irão subsidiar o projeto de intervenção nos sistemas afetados (BRASIL, 2017a).

Eletrônico nº 036/2017. O Caderno de Encargos e Especificações do certame prevê, no caso específico das empenas da torre Norte, a substituição de placas destacadas da fachada por placas de mármore branco especial, espessura de 20 mm, acabamento levigado ou polido fosco, assentadas por meio de pinos ou grampos e argamassa colante, além de rejuntamento com massa plástica branca. São previstos, ainda, os seguintes serviços (BRASIL, 2017b):

- inspeção das placas por percussão;
- retirada de placas de mármore soltas;
- limpeza do tardo das placas quando possível o reaproveitamento;
- retirada de excesso de argamassa do substrato;
- identificação e acondicionamento das placas retiradas;
- renivelamento da superfície de assentamento das placas com argamassa de cimento e areia 1:3 antes de sua instalação, caso necessário;
- instalação de novas placas de mármore, quando for o caso, por meio de pinos ou grampos<sup>19</sup> e argamassa colante AC-III<sup>20</sup>;
- rejuntamento<sup>21</sup> de placas reaproveitadas ou novas.

Os serviços na fachada Sudeste da torre Norte tiveram início em agosto de 2018, com duração de quatro meses, e na fachada Noroeste encontram-se em andamento, executados por meio de balancim fixado à cobertura por sistema de contrapeso. O procedimento de inspeção contou com a marcação *in loco* das placas danificadas (por meio de adesivo) e a produção de relatórios fotográficos e de mapas de danos, nos quais foram indicados três tipos de manifestações: fissuras e trincas, descolamento parcial da placa e descolamento total da placa<sup>22</sup>. As placas de mármore que perderam aderência com relação ao substrato e se mantinham íntegras foram reafixadas, quando possível, ou substituídas por novas placas visualmente semelhantes às existentes.

### 4.1.3 Levantamento físico

O levantamento físico consistiu nos procedimentos de vistoria do aspecto geral do edifício e do sistema abordado, permitindo uma aproximação ao objeto de estudo quanto às suas

<sup>19</sup> O documento especifica a refixação das novas placas com uso de pinos ou grampos em sua face posterior, fundamentado na NBR 7205:1982 e na NBR 13707:1996 (BRASIL, 2017b).

<sup>20</sup> Argamassa Industrial Colante de Alta Resistência para assentamento (tipo AC-III), composta por cimentos branco estrutural, aditivos especiais, impermeabilizantes, pigmentos fixadores de cor, sílicas perfeitamente graduadas e uniformes e de fungicidas (Ref Comercial: Mármore e Granitos Internos/Externos; fabricante: Weber/Saint Gobain) (BRASIL, 2017b, p. 69).

<sup>21</sup> Rejuntamento Industrial composto de Cimento Portland branco, agregados minerais, pigmentos inorgânicos, polímeros e aditivos químicos não tóxicos, resistente à formação de fungos (Ref. Comercial: Rejuntamento Flexível Quartzolit web.color flexível, fabricante Weber/Saint Gobain; Votomassa Spectralock Pro, fabricante Votorantim Cimentos) (BRASIL, 2017b, p. 69).

<sup>22</sup> A diferenciação quanto à gravidade do dano “descolamento” facilitou a estimativa para o fornecimento de novas placas, uma vez que aquelas com processo de degradação mais avançado seriam de mais fácil remoção, possibilitando seu reaproveitamento.

características, os danos mais facilmente detectáveis, os elementos arquitetônicos que com ele fazem interface e as condições de exposição. Foi realizado mediante inspeção visual, inclusive por meio de binóculos em pavimentos mais elevados, registro fotográfico e medições nos trechos acessíveis por meio de trena, paquímetro e fissurômetro. Como produto, foi elaborado relatório de levantamento de campo, cujos dados mais relevantes são apresentados a seguir.

O sistema de revestimento em mármore das torres anexas do Congresso Nacional, objeto de estudo da presente pesquisa, é encontrado nas duas empenas voltadas para Noroeste e Sudeste de ambas as torres, e nas respectivas bordas das fachadas com esquadrias (Sudoeste e Nordeste)<sup>23</sup>. Os elementos arquitetônicos que fazem interface com as empenas e que, portanto, interferem nos sistemas estudados, são: o túnel de ligação ao Edifício Principal, o jardim localizado entre as torres e o espelho d'água voltado para a Praça dos Três Poderes.



Figura 4.8: Planta e Elevação de trecho da Torre Sul, fachada Noroeste.  
Fonte: Autora, 2019.

<sup>23</sup> As platibandas das fachadas com esquadrias e as passarelas de ligação das torres também apresentam sistema de revestimento em mármore, porém não foram objeto de análise desta pesquisa.

O sistema de revestimento apresenta algumas peculiaridades, como a fixação do tipo aderida na parede dupla da empena e variações quanto ao suporte, como exemplificado na Figura 4.9, na qual se observa a existência de três sistemas distintos atuando como base: a vedação vertical em alvenaria da empena, as vigas de bordo do sistema estrutural do edifício e a parede de fechamento do lago.

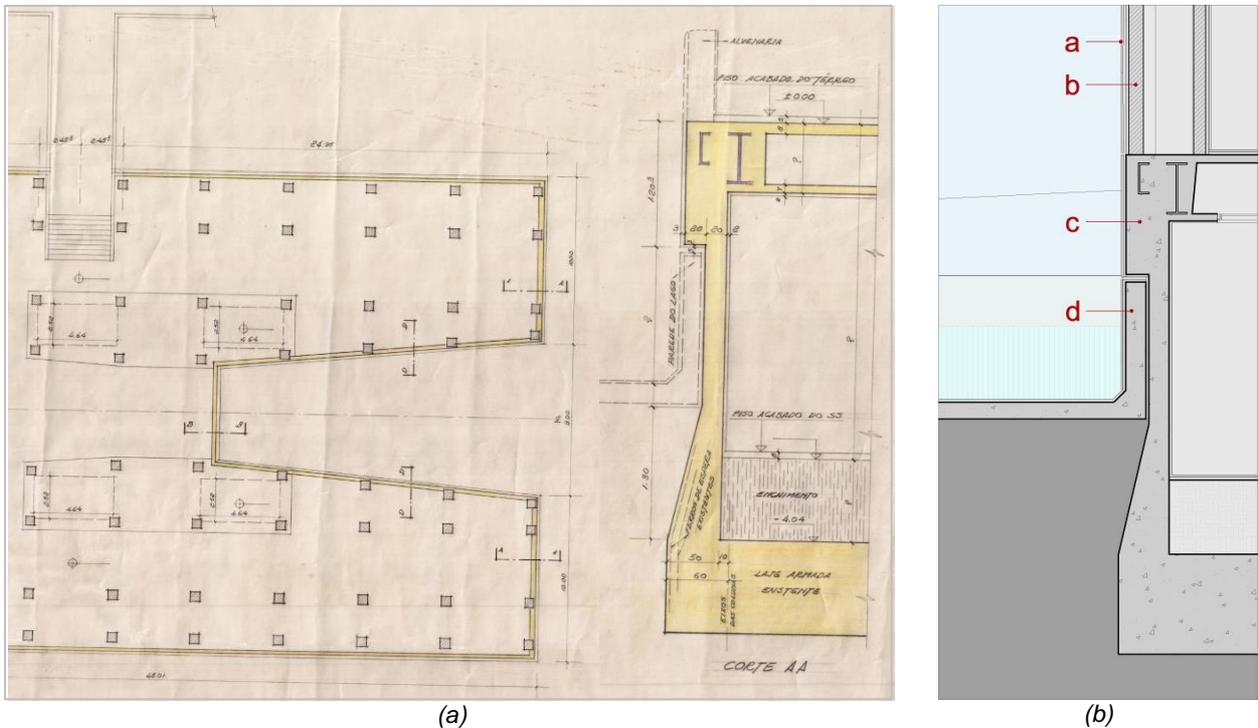


Figura 4.9: Detalhe do sistema de revestimento de mármore no trecho de embasamento das torres do Congresso Nacional: a) planta do subsolo e corte AA. Dossiê ARQ-AI-0006 – CD, 1958-1960; b) redesenho, no qual a- revestimento de placas de mármore; b- vedação em alvenaria da empena; c- sistema estrutural do edifício; d- parede de fechamento do lago. Autora, 2019.

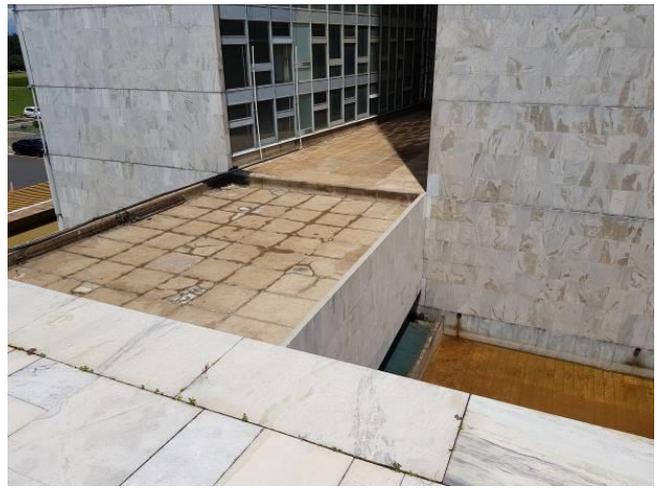
No levantamento de campo, foram identificados os danos nos trechos acessíveis a partir do térreo e da cobertura das torres. De modo geral, há danos como fissuras, manchas, eflorescências e falhas nas juntas, principalmente as de movimentação, que apresentam material enrijecido, sem a flexibilidade necessária para absorver as tensões, o que leva ao surgimento e agravamento dos mecanismos de degradação.

Os trechos do embasamento são marcados por manchas e desgastes de superfície nas áreas do sistema em contato com o espelho d'água (Figura 4.10a, b, d, e). As interferências de instalações antigas, como furações, parafusos e pinos, que comprometem a integridade do sistema e geram pontos de vulnerabilidade, foram encontradas principalmente no primeiro trecho da empena Noroeste da torre Sul (Figura 4.10b), onde também se percebe a substituição de placas de mármore no vínculo com o túnel existente (Figura 4.10c), enquanto na outra outra torre há substituição nos pontos de interferência com tubulações do sistema de águas pluviais da empena Sudeste (Figura 4.10e).

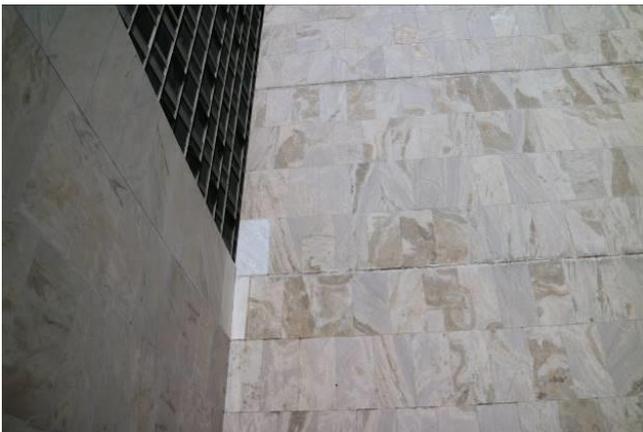
A partir da cobertura das torres, foram observados os trechos de topo do sistema, onde há interferências de instalações diversas fixadas no mármore de revestimento do sistema de fachada e nas placas de mármore que compõem o chapim da platibanda, tais como câmeras, antenas e sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA). Nesses trechos do sistema foi possível notar manchas, eflorescências e ocorrência de placas de mármore substituídas ou próteses (pedaços de placas) devido a destacamentos e fraturas (Figura 4.10g, h).



(a) Empenas SE das torres a partir do espelho d'água, que na ocasião se encontrava seco.



(b) Empenas NO das torres e túnel de ligação entre os edifícios, vistas de cima da plataforma.



(c) Empena NO da torre Sul, com destaque para a substituição de placas de mármore.



(d) Borda externa da empena NO, torre Sul.



(e) Trecho da empena SE da torre Norte, com destaque para as placas substituídas e os danos causados pelo contato do sistema com o espelho.



(f) Trecho da empena NO da torre Norte, com destaque para a substituição da camada de acabamento por placas cerâmicas.



(g) Trecho da platibanda da torre Norte, com destaque para danos como destacamento de placa e eflorescências.



(h) Trecho da platibanda da torre Sul, com destaque para as interferências de instalações e a sobreposição de danos como fissuras, eflorescências e falhas no rejunte.

Figura 4.10: Fotos do levantamento de campo do sistema de revestimento em mármore das Torres do Congresso Nacional. Fotos: Autora, 2017.

Percebe-se, ainda, a sobreposição de manifestações patológicas, tais como eflorescências e falhas no material selante da junta de movimentação, além da propagação dos efeitos da ação do dano, que, quando manifestado nas placas das extremidades do trecho, geralmente repercutem nas placas da borda (Figura 4.10d). Finalmente, a vistoria evidenciou a ocorrência de situações divergentes entre as empenas da torre Sul e a Norte, reflexo da gestão por órgãos distintos e de iniciativas que não concorrem para a unidade do patrimônio. Um exemplo é a presença de revestimento cerâmico em substituição às placas de mármore da empena Noroeste da torre Norte, mesmo revestimento do piso do espelho d'água (Figura 4.10f).

Quanto às condições ambientais que influenciam o sistema de revestimento em mármore nas fachadas das torres do Congresso, elas se relacionam, sobretudo, aos agentes climáticos da cidade de Brasília (radiação solar, amplitude térmica, umidade relativa, precipitação e vento).

Em Brasília, observa-se uma sazonalidade demarcada por dois períodos bem definidos e de igual tamanho temporal – um seco e um chuvoso. Nesse sentido, o período chuvoso merece especial atenção devido à presença de umidade e ao favorecimento de infiltrações pelos pontos de vulnerabilidade do sistema, que podem desencadear danos como manchas, eflorescências e degradação biológica. O período de seca, por outro lado, facilita a impregnação da poeira vermelha, comum na região, e a formação de manchas e sujidades nas superfícies das placas de mármore, uma vez que não há percolação de água das chuvas para lavar as fachadas.

Um parâmetro importante relacionado à temperatura do ar para a cidade é a amplitude térmica, que pode variar de 10 a 15° C durante 50% do ano<sup>24</sup>. Esse fator intensifica as movimentações térmicas de dilatação e contração das camadas do sistema de revestimento. As grandes superfícies de fachada associadas à ausência de juntas de movimentação podem ampliar ainda mais as tensões resultantes. Além disso, o sistema de revestimento em mármore das torres pode apresentar diferentes comportamentos higrotérmicos a depender do trecho avaliado e sua orientação.

A chuva dirigida, que associa os agentes climáticos precipitação e vento, é um fator importante por se tratar de edificação em altura com sistema de revestimento assentado sobre plano vertical e, portanto, mais sujeito à ação do vento. Pesa ainda o fato de a implantação do edifício na transição entre dois terraços de níveis distintos, em malha urbana esparsa e sem obstáculos próximos, favorecer a formação de fortes correntes de vento. É notada também a canalização do vento através do vão entre as torres, relativamente estreito quando se compara as dimensões de altura e largura, além da profundidade.

O contexto urbano e a implantação do edifício também afetam o sistema, na medida em que alteram o microclima. Exemplo disso é a presença dos espelhos d'água, que contribui no incremento da umidade relativa e na redução da temperatura local, em um fenômeno chamado resfriamento evaporativo<sup>25</sup>.

---

<sup>24</sup> Para a série 2001-2013, considerando médias mensais e frequência de ocorrência, em Zanoni (2015).

<sup>25</sup> Romero e Vavallo (2015) em artigo intitulado "O microclima criado por espelhos d'água: estudo de caso do espelho d'água do Congresso Nacional" realizam medições nas proximidades do espelho d'água frontal e encontram indícios de que o elemento influencia na umidade relativa do ar e na temperatura máxima local.

#### 4.1.4 Levantamento fotográfico

A etapa de levantamento fotográfico para os sistemas de revestimento em mármore das torres do Congresso Nacional incluiu a captura de fotografias por câmera digital conduzida por VANT, o processamento digital das imagens e o mapeamento dos danos.

##### a) Captura de imagens por VANT

Os procedimentos de levantamento fotográfico e os passos subsequentes foram aplicados nas empenas Sudeste e Noroeste da torre Sul<sup>26</sup> do Congresso Nacional, com início em dezembro de 2018. Nessa ocasião, adotou-se o VANT modelo DJI Phantom 3 Pro com câmera digital integrada. Uma vez que as imagens obtidas não alcançaram a qualidade requerida para identificação dos danos no sistema, os procedimentos foram repetidos com outro drone, o DJI Phantom 4 Pro, equipado com câmera fotográfica digital original de fábrica. As especificações técnicas da câmera, aliadas à maior estabilidade no voo, resultaram em melhora significativa na qualidade das fotos. Quando comparadas duas imagens obtidas a partir do mesmo ponto (Figura 4.11), nota-se que a da direita apresenta melhor nitidez e maior precisão nas informações devido ao tamanho de *pixels* (5472 x 3648 *pixels*, enquanto a foto da esquerda apresenta 4000 x 3000 *pixels*). A Tabela 4.1 contém a comparação entre as características das câmeras.

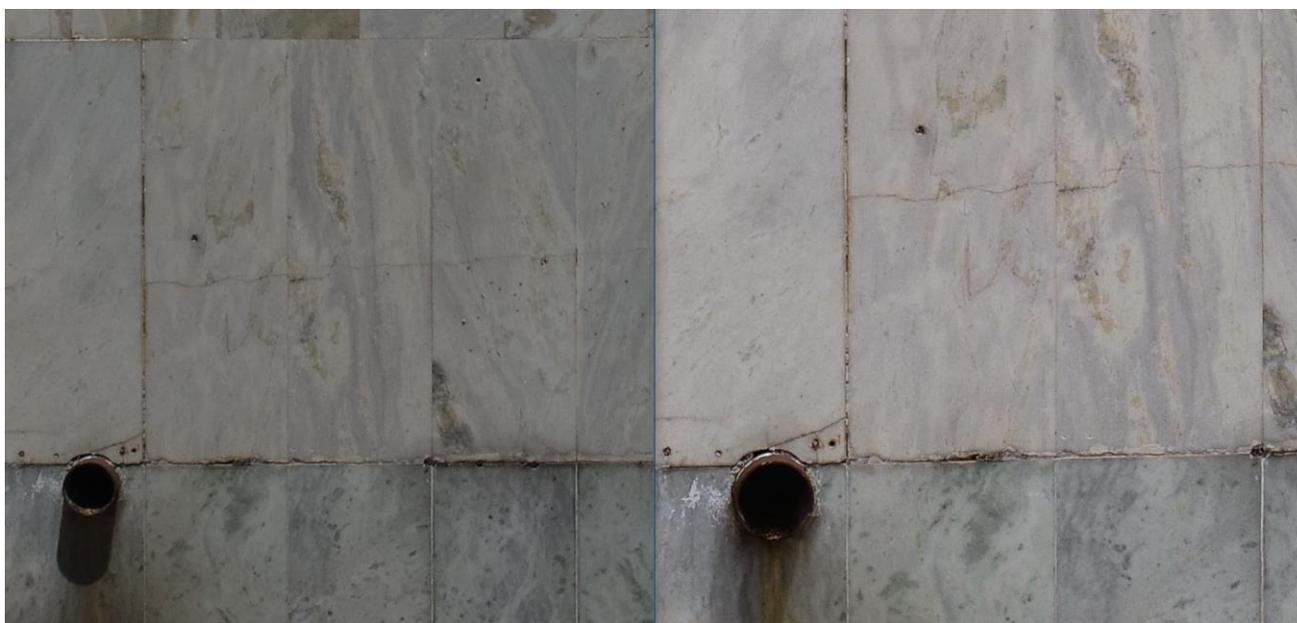


Figura 4.11: Comparação entre imagens obtidas com o VANT DJI Phantom 3 Pro (à esq.) e o 4 Pro (à direita).  
Fonte: Autora, 2019.

<sup>26</sup> O levantamento se limitou à torre Sul devido a restrições impostas pelo órgão responsável pela torre Norte, uma vez que estavam em andamento serviços de intervenção nas fachadas com uso de balancim, no escopo do Edital 036/2017 (BRASIL. SENADO FEDERAL, 2017).

Tabela 4.1: Especificações técnicas das câmeras fotográficas.

Equipamentos Parâmetros	DJI Phantom 3 Pro	DJI Phantom 4 Pro
Máxima resolução (pixel)	4000 x 3000	5472 x 3648
MegaPíxeis efetivos (MP)	12,4	20
Sensor (mm)	11,04	25,4
Ângulo de abertura	94°	84°
Distância focal (mm)	20	24
Tipo de sensor	CMOS	CMOS

Fonte: Autora, 2019

No mês de janeiro de 2019, foram retomados os procedimentos de captura de imagens ao longo de três dias. No primeiro dia, para ajustar a câmera às condições ambientais e aferir a qualidade das fotografias, realizou-se um teste de captura e processamento de imagens no primeiro trecho da fachada Noroeste, às 14h no horário de verão de Brasília, com céu limpo e sem nuvens. A câmera estava configurada para a velocidade do obturador 1/800s, abertura f/6.3 e ISO 100. Tendo em vista que as imagens atenderam aos requisitos, no dia seguinte, iniciou-se o levantamento, que levou dois dias para ser concluído devido à necessidade de se ajustar os parâmetros fotográficos da câmera às condições que se apresentavam.

No primeiro dia da fase de captura de imagens por meio de VANT, optou-se por se iniciar os serviços às 7h 40min, primeiro pela fachada Sudeste da torre Sul, seguida da Noroeste. O dia estava nublado, com ventos predominantes de Sudeste. As configurações da câmera foram: velocidade do obturador 1/640s, abertura f/6.3 e ISO 500. O levantamento de ambas as fachadas durou cerca de 18 minutos cada e obedeceu ao plano de voo esquematizado na Figura 4.13. Apesar de a nebulosidade proporcionar uma iluminação homogênea, as imagens obtidas perderam nitidez em comparação às da fase de teste.

Nesse sentido, os procedimentos foram repetidos em outro dia mais propício. Na data agendada, as condições ambientais eram similares ao dia do teste: céu limpo e sol a pino (devido ao horário de início, 13h no horário de verão de Brasília), com ventos fortes provenientes de Sul e Sudeste. As configurações da câmera foram: velocidade do obturador 1/1000s, abertura f/7.1 e ISO 100. As tomadas de fotos levaram cerca de 20 minutos para cada uma das fachadas. As fortes correntes de ar dificultaram a estabilização da aeronave, porém não impediram a obtenção dos registros fotográficos.

No âmbito do planejamento, a distância entre a aeronave e o edifício foi definida em cinco metros, considerando os requisitos de segurança e a qualidade das imagens a serem obtidas. A sobreposição estabelecida para as fotografias foi de 60% lateralmente e de 80% no sentido longitudinal. A distância entre as linhas de voo garantiu a sobreposição lateral. Para se obter a sobreposição longitudinal desejada, foi necessário equilibrar a velocidade de voo e a frequência de

disparo da câmera, realizado manualmente por controle remoto e com verificação visual por meio de tela auxiliar (Figura 4.12).

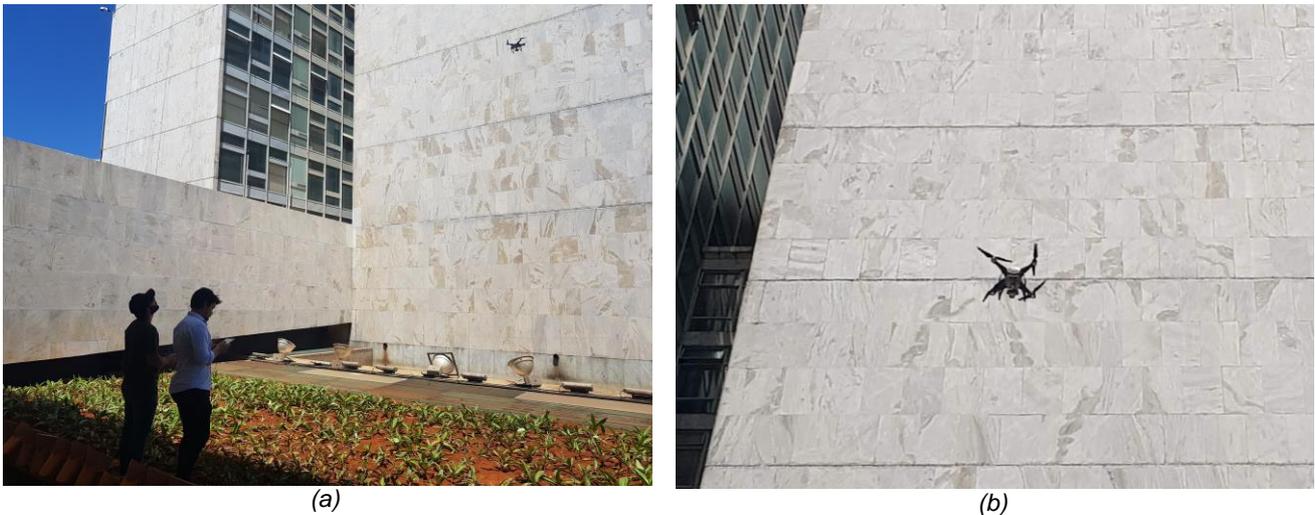


Figura 4.12: Levantamento fotográfico por meio de VANT na empena Noroeste da torre Sul do Congresso Nacional. Foto: Autora, 2019.

Desse modo, a captura de imagens foi realizada em três linhas de voo com distância de 3,60 m entre elas, sendo a primeira tomada feita com o VANT subindo, a segunda descendo, e a terceira subindo novamente. Em cada linha de voo, eram realizadas capturas em dois pontos por trecho, sendo um alinhado com a junta de movimentação e outro na metade da altura do trecho, ou seja, no ponto equidistante entre duas juntas (Figura 4.13).

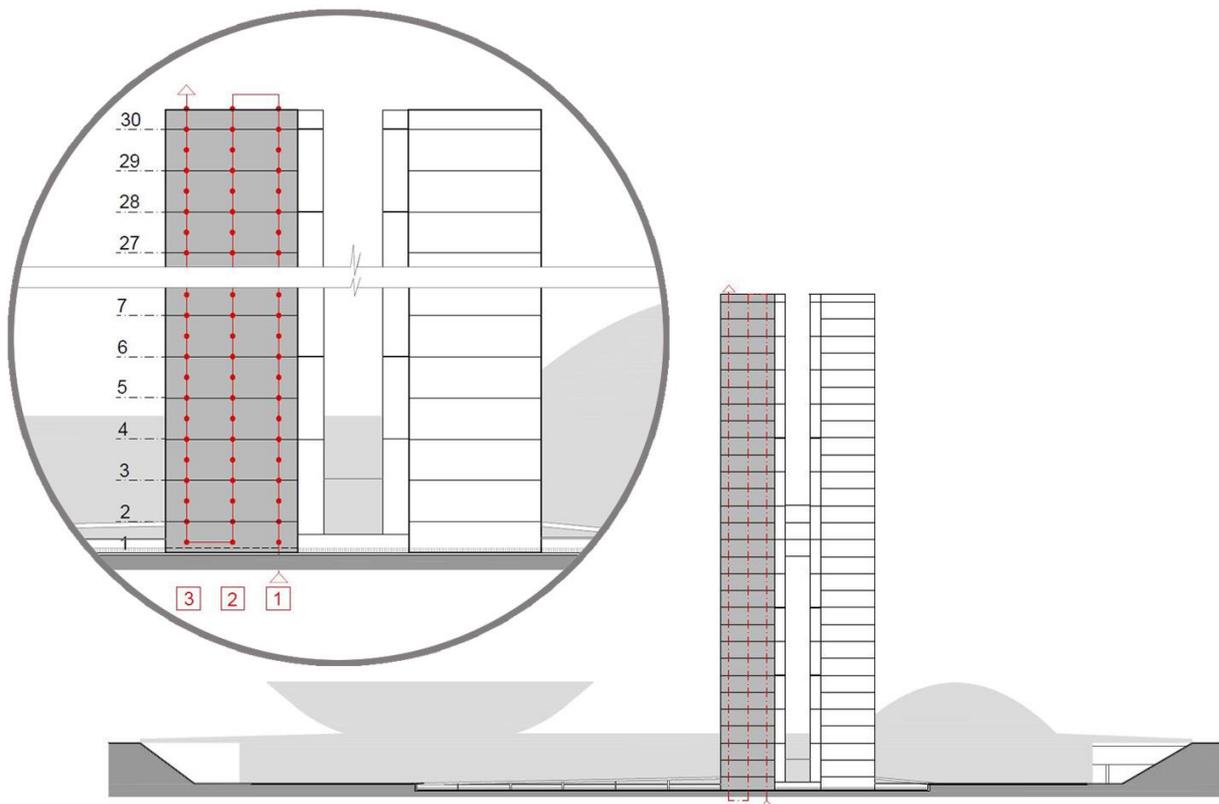


Figura 4.13: Planejamento das linhas de voo para a Fachada Sudeste da Torre Sul. Fonte: Autora, 2019.

A distância (B) de 3,60 m entre as linhas de voo foi obtida em função do ângulo de abertura da câmera (84°), do percentual de sobreposição definido (60%) e da distância da câmera com relação à fachada (5 m), conforme a Equação 4.1.

$$B = 2 \tan \frac{84^\circ}{2} 5 \cdot \left(1 - \frac{60\%}{100}\right) \quad (4.1)$$

Além das linhas de voo perpendiculares à fachada, foram feitas tomadas fotográficas das bordas, uma vez que esses trechos também integram o sistema de fachada estudado e podem contribuir para o entendimento do seu comportamento e dos processos de degradação.

As bordas foram registradas a um ângulo de 45°. A captura de modo perpendicular ao plano da fachada não seria possível devido às restrições oferecidas ao acesso do VANT no espaço aéreo entre as duas torres, tais como possíveis falhas no sistema de satélite e o forte corredor de vento, que poderia desestabilizar a aeronave. Esses pontos de tomada fotográfica são representados na Figura 4.14 como “A” e “B”. A figura apresenta, ainda, as distâncias estabelecidas em planta para o VANT, com relação à fachada e entre as tomadas fotográficas.

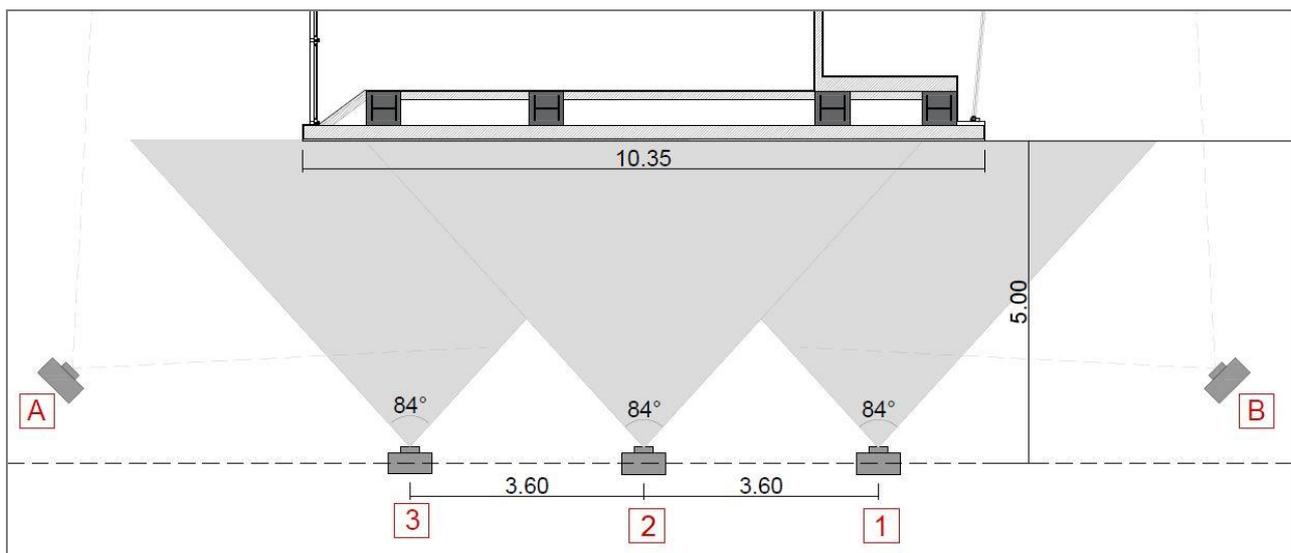


Figura 4.14: Planta com as distâncias estabelecidas para tomadas fotográficas.

Fonte: Autora, 2019.

Durante a realização do levantamento, notou-se dificuldade em manter a distância da câmera com relação à fachada. Apesar dos parâmetros definidos no planejamento, houve variação – comum em inspeções em edifícios altos com uso de VANT em voo manual (não automatizado), em decorrência das correntes de ar e da falta de pontos de referência para o piloto nos pavimentos mais altos. Como medida para tentar reduzir essas variações, as tomadas fotográficas foram realizadas por equipe composta por piloto e observador munido de tela auxiliar para a verificação visual da posição da foto.

Outro desafio imposto à obtenção de imagens com nitidez e resolução adequadas foi a configuração dos parâmetros fotográficos da câmera diante das características inerentes das placas de mármore: sua cor branca e a superfície altamente reflexiva. Essa dificuldade motivou a realização do teste de voo e a repetição dos procedimentos.

As fotografias foram obtidas na extensão JPEG e DNG. Na sequência, foram descarregadas e arquivadas no computador por fachada, em pasta com a data correspondente, como modo de preparação para a etapa seguinte. A organização dos arquivos busca a formação de um banco de dados para o sistema em estudo.

#### *b) Processamento digital*

Na sequência, as imagens comprimidas (.jpg) foram utilizadas na etapa de processamento por nuvem de pontos, conforme descrito no capítulo anterior, por meio do *software* PhotoScan Professional versão 1.4.2 da Agisoft. A Figura 4.15 ilustra a aplicação dos procedimentos no teste preliminar de voo, realizado no primeiro trecho da empena Noroeste da torre Sul, na qual a partir de três fotografias foi gerada a ortoimagem para o trecho.

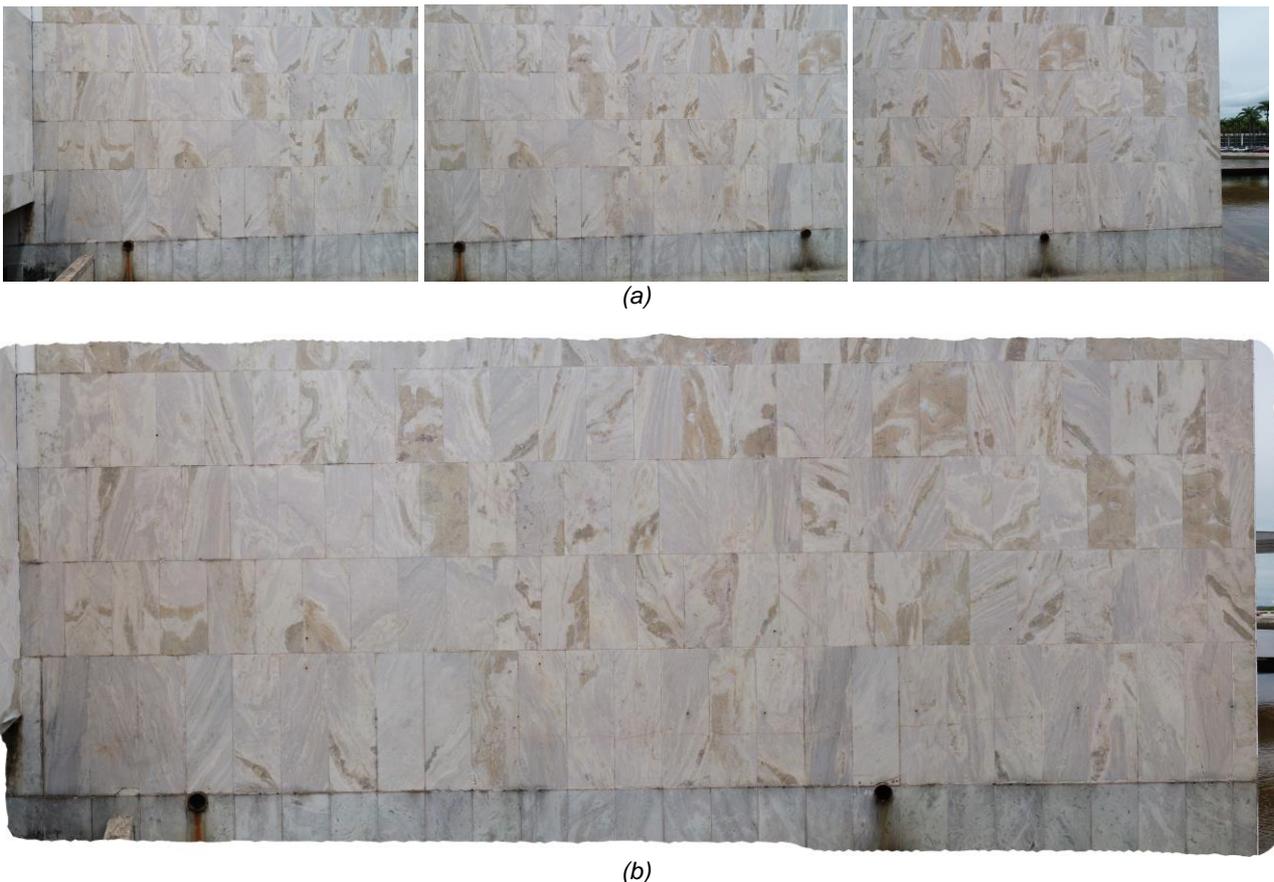
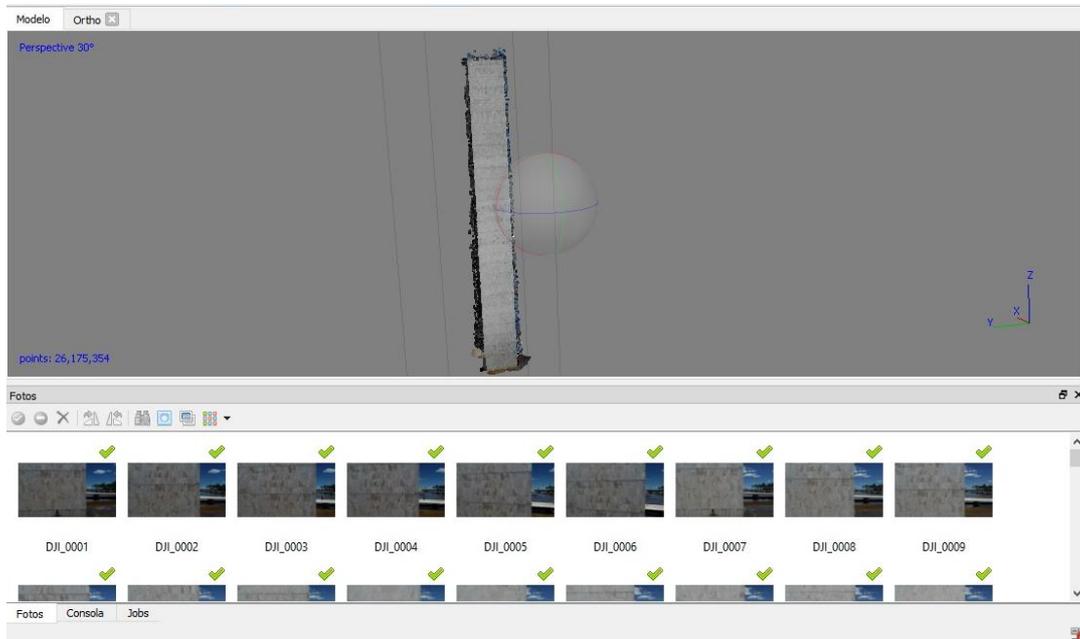


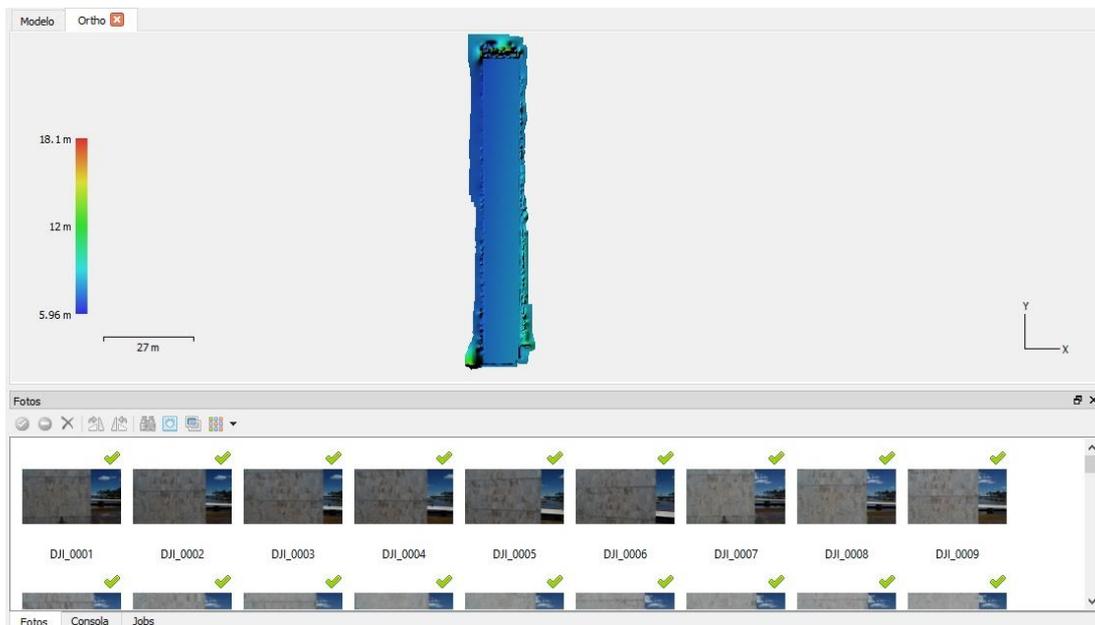
Figura 4.15: Teste de voo e captura de imagens. a) fotografias tiradas em três pontos do embasamento da empena Noroeste; b) ortoimagem produzida mediante processamento digital por nuvem de pontos. Fonte: Autora, 2019.

De modo mais detalhado, na figura a seguir observa-se a tela do PhotoScan nas etapas de construção da nuvem de pontos densa (*dense cloud*), quando o programa calcula as informações

de profundidade para cada câmera a serem combinadas num ponto único da nuvem (Figura 4.16a), do modelo digital de elevação, gerado após a construção da malha (Figura 4.16b), e o resultado final com a aplicação da textura (*build texture*) ao modelo, quando é possível exportar a ortoimagem (Figura 4.16c).



(a)



(b)



(c)

Figura 4.16: Etapas para geração da ortoimagem com o Photoscan: a) construção da nuvem de pontos densa; b) modelo digital de elevação; c) aplicação da textura. Fonte: Autora, 2019.

Os procedimentos foram realizados para empenas Noroeste e Sudeste da torre Sul, gerando uma ortoimagem correspondente, salva na extensão TIFF. Os relatórios produzidos evidenciaram a variação da distância do drone ao plano fotografado: a distância média foi de 6,85 m para a empena Sudeste e de 7,03 m para a Noroeste, quando o planejado era de 5 m. Também consta nos relatórios que o TP (Tamanho de Pixel) obtido foi de 1,73 mm/pixel para a fachada Sudeste e 1,81 mm/pixel para a Noroeste.

#### c) Mapeamento dos danos

Como próximo passo, as ortoimagens das fachadas foram inseridas na plataforma CAD (*Computer Aided Design*), *software* Autocad versão 2017 da Autodesk.

As ortoimagens de cada fachada foram editadas e divididas em seções menores de cinco trechos, a fim de facilitar sua manipulação, e depois inseridas nos arquivos “BS\_EDIFICIO” em sobreposição à elevação do sistema de fachada<sup>27</sup>, o que permitiu complementar as informações como posição das juntas, dimensões e paginação. As ortoimagens foram inseridas também no arquivo “BS\_DANOS”, nos quais se procedeu à vetorização das manifestações patológicas e das intervenções nas fachadas, de acordo com a convenção gráfica estabelecida (Figura 4.17).

<sup>27</sup> O Departamento Técnico da Câmara dos Deputados forneceu arquivo CAD contendo levantamento cadastral do edifício, incluindo elevações das fachadas, ao qual foram incorporadas informações complementares sobre o sistema em estudo obtidas na etapa de levantamento (levantamento físico e pesquisa por documentos e dossiês históricos).

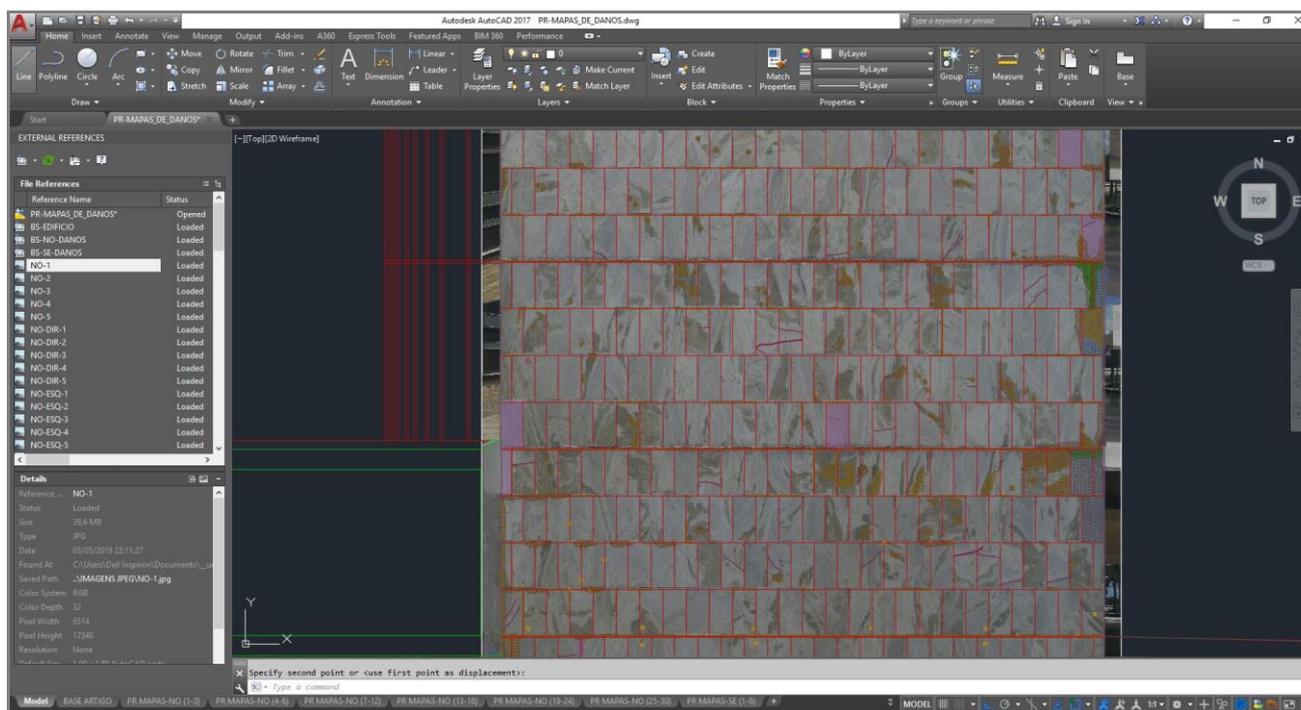


Figura 4.17: Tela do Autocad na fase de mapeamento de danos.  
Fonte: Autora, 2019.

Os mesmos procedimentos de sobreposição de ortoimagens para a produção das bases, contendo levantamento físico e mapa de danos, foram realizados para as bordas. As fotografias das bordas, no entanto, foram retificadas e justapostas manualmente por meio do *software* Photoshop CC 2017, pois não atingiram os requisitos para processamento digital por nuvens de ponto (não foi possível o registro de imagens com maior proximidade e paralelamente ao plano da fachada, conforme mencionado). Desse modo, o nível de precisão das imagens foi afetado e a identificação de danos limitada, se comparada às imagens das fachadas.

#### 4.1.5 Levantamentos complementares – Prospecções

Com o intuito de obter informações complementares para a caracterização técnica do sistema de fachada, em especial quanto às camadas que o integram, foram realizadas prospecções nas torres do Congresso Nacional. Devido à configuração do sistema de vedação das empenas com parede dupla, fez-se necessário prospectar, por meio de inspeção visual, pontos externos e internos da fachada. A realização das prospecções foi possível, em grande parte, devido à realização dos serviços de manutenção em andamento na torre Norte, conduzidos pelo Senado Federal, o que viabilizou o acesso e o registro das camadas mais internas do sistema. Nesse sentido, foram inspecionados seis pontos do sistema de revestimento estudado, sendo cinco deles externos, nas empenas e bordas da torre Norte, e um deles interno, na torre Sul. Todos os pontos inspecionados já estavam abertos e em condições favoráveis para a prospecção, por isso não houve a necessidade de inspecionar outros pontos. O Quadro 4.2 contém a relação de pontos de prospecção, com descrição e foto.

Quadro 4.2: Prospecções nas Torres anexas do Congresso Nacional.

Ponto	Localização e data	Descrição	Foto
01	Torre Norte, borda Sudoeste, 2º trecho, parede externa. Data: 01/09/2017	A placa de mármore, com 30 mm de espessura, encontrava-se destacada e fraturada, com o tardoz mofoado. Não há danos visíveis nas placas contíguas. Identificada a existência de pinos de fixação.	
02	Torre Norte, fachada Sudeste, 1º trecho, parede externa. Terceira placa a partir da extremidade da fachada, imediatamente acima da junta de movimentação. Data: 03/10/2018	A placa, com 20mm, encontrava-se descolada do substrato (realizado teste de percussão). Após retirada, verificou-se mofo no tardoz. Foram observados danos nas áreas contíguas, como descolamento, fissuras no plano do revestimento, eflorescências e falhas na junta. Identificada a existência de arame de fixação.	
03	Torre Norte, fachada Sudeste, 12º trecho, parede externa. Na extremidade da fachada, imediatamente acima da junta de dilatação. Data: 03/10/2018	A placa, com 30 mm de espessura, encontrava-se descolada (realizado teste de percussão). Após retirada, verificou-se mofo no tardoz. Não foram observados danos visíveis nas áreas contíguas. Identificada a existência de arame de fixação.	
04	Torre Norte, fachada Sudeste, 29º trecho, parede externa. Na extremidade da fachada, fiada intermediária (não contígua a junta de dilatação). Data: 03/10/2018	A placa, com 20 mm de espessura, encontrava-se descolada do substrato (realizado teste de percussão). Após retirada, verificou-se mofo no tardoz. Foram observados danos nas áreas contíguas, como descolamento de placas e falhas no rejunte.	
05	Torre Norte, fachada Noroeste, 1º trecho, parede externa. Nona e décima placa na extremidade da fachada, imediatamente abaixo da junta de movimentação. Data: 25/04/2019	As placas, de 20 mm de espessura, encontravam-se descolada do substrato (realizado teste de percussão). Após retirada, verificou-se mofo no tardoz. Foram observados danos nas áreas contíguas, como descolamento e fissura nas placas, eflorescências e falhas na junta. Identificada base em alvenaria e camada de impermeabilização.	

06	Torre Sul, fachada Noroeste, 22º trecho, parede interna. Data: 01/11/2018	Inspeção da parede interna a partir de visita existente (criada para identificar problema de infiltração). Foi possível inspecionar o vão entre a parede dupla da empena, onde foram observadas as camadas do sistema de vedação e de revestimento internos, a vedação externa (base do sistema estudado), o pilar e tubulações passantes das prumadas.	
----	--	---	---

Fonte: Autora, 2019.

As prospecções evidenciaram que o sistema de revestimento é composto por camada de acabamento em placas de mármore branco polido, fixadas com argamassa de assentamento sobre substrato de argamassa, chapisco e alvenaria de tijolos cerâmicos. Verificou-se uma variação na espessura das placas, de 30 mm nas prospecções 01 e 03, e 20 mm para os pontos 02, 04 e 05.

Por meio da prospecção 01, foram percebidos vazios na argamassa de assentamento. Por se tratar de trecho da borda, a placa de mármore apresenta seção transversal com reentrâncias nas extremidades, a fim de conferir o encaixe e o acabamento necessário na fixação. Nota-se, ainda, no encontro com a esquadria das fachadas internas da torre, uma peça de arremate em mármore de 10 cm (Figura 4.18).



Figura 4.18: Prospecção 01: a) falhas na argamassa de assentamento; b) arremate com a esquadria.  
Fotos: Autora, 2017.

Na prospecção 02, foi constatada a presença de placa de mármore com espessura reduzida. Neste ponto, foram encontrados arames de fixação de aço galvanizado de 1/8 no tardo (Figura 4.19a). Esta solução apareceu também na prospecção 03, enquanto placas de 20 mm foram registradas nos pontos 04 e 05, ambos com padrões de veios que se distinguiram da maior parte da fachada. No caso do ponto 05, no embasamento da torre Norte, trecho em contato com o espelho d'água, foi identificada camada de manta asfáltica entre a camada de assentamento e o substrato (Figura 4.19b). Neste trecho, foi confirmada a intervenção em momento posterior ao da construção do edifício, ocasião em que se procedeu à substituição das placas de mármore por revestimento cerâmico. A base do sistema de revestimento no ponto prospectado é de alvenaria.



Figura 4.19: Prospecções 02 e 05: a) Arame de fixação de aço galvanizado 1/8, outubro de 2018; b) Camada de impermeabilização em trecho junto ao espelho d'água, abril de 2019. Fotos: Autora, 2018 e 2019.

Em todos os casos de prospecções externas, as placas destacadas que sofreram perda de aderência em relação ao substrato não apresentavam resíduos de argamassa no tardo, que estava mofado (com biodegradação). Além disso, na sua maioria (com exceção da prospecção 03), as áreas contíguas do sistema também apresentavam danos visíveis.

Por meio da prospecção 06 realizada internamente, confirmou-se a configuração de parede dupla do sistema de vedação das empenas em conformidade com os projetos originais. Verificou-se que a parede externa, que compõe a base do sistema de revestimento de fachada, é composta por tijolos cerâmicos de 6 furos e dimensões de 14 cm x 19 cm x 9 cm de cor marrom clara, cujas evidências indicam um tijolo de alta queima e de boa qualidade. Seu assentamento é do tipo alvenaria de uma vez, muito usual em sistemas de vedação vertical externa por conferir maior resistência e estanqueidade à fachada. A alvenaria interna, por seu turno, possui tijolos cerâmicos de cor vermelho barro de 8 furos de 19 cm x 19 cm x 9 cm com assentamento do tipo meia vez. Observa-se ainda o pilar disposto entre a parede dupla e que, afastado da vedação externa, confirma o avanço das bordas de laje como estratégia estrutural para o edifício (Figura 4.20).



Legenda: 1. Parede externa; 2. Pilar; 3. Parede interna.

Figura 4.20: Prospecção 06 a partir de ponto interno da empena Noroeste, torre Sul, novembro de 2018. a) foto no vão entre a parede dupla, com destaque para o afastamento do pilar com relação à parede externa; b) foto a partir do ambiente interno. Fotos: Autora, 2018.

Quanto às variações nas características do sistema encontradas entre os pontos prospectados, tais como placas de espessura e aparência distintas e arames de fixação, não é possível afirmar se consistem em solução pontual, ou mesmo qual período histórico específico a técnica representa, exceto pelo caso da prospecção 05, no embasamento da torre Norte onde foi identificada a camada de impermeabilização.

#### 4.1.6 Levantamentos Complementares – Ensaios Laboratoriais

A fim de se investigar as características petrográficas e mineralógicas da camada de acabamento do sistema, foram ensaiadas nos laboratórios de Geologia da Universidade de Brasília<sup>28</sup> três amostras de placas de mármore oriundas das fachadas do Congresso Nacional<sup>29</sup>, conforme especifica o Quadro 4.3.

Quadro 4.3: Identificação e descrição das amostras de mármore do sistema de revestimento do Congresso Nacional.

Identificação	AMOSTRA 01	AMOSTRA 02	AMOSTRA 03
Prospecção	01	03	04
Dimensão (cm)	27,0 x 81,5	40,0 x 81,5	20,0 x 81,5
Espessura (cm)	3,0	3,0	2,0
Localização no sistema de fachada	Torre Norte, borda Sudoeste, 2º trecho, imediatamente acima da junta de movimentação.	Torre Norte, fachada Sudeste, 12º trecho, na extremidade da fachada, imediatamente acima da junta de movimentação.	Torre Norte, fachada Sudeste, 29º trecho, na extremidade da fachada, linha intermediária (não contígua à junta).
Descrição do contexto	A placa encontrava-se destacada e fraturada, com o tardo mofoado. Não há danos visíveis nas placas contíguas.	A placa encontrava-se descolada do substrato (realizado teste de percussão). Após retirada, verificou-se mofo no tardo. Não foram identificados danos nas áreas contíguas do sistema.	A placa encontrava-se descolada do substrato (realizado teste de percussão). Após retirada, verificou-se mofo no tardo. Foram observados danos nas áreas contíguas (descolamento e falhas no rejunte).

Fonte: Autora, 2019.

Para os ensaios laboratoriais, as amostras foram catalogadas e preparadas (serradas no formato de placas menores, limpas e cobertas com película de carbono) (Figura 4.21). Após análise macroscópica e teste de dureza, foram submetidas aos seguintes procedimentos: análise por lupa binocular; análise pelo detector de elétrons secundário (*secondary electron image*), que gera imagens com o relevo da superfície da rocha; e, análise pelo detector de elétrons retroespalhados (*backscattered electrons*), que produz imagens representativas dos minerais da rocha. Como resultados dos ensaios, além das imagens mencionadas, foram produzidos gráficos de

<sup>28</sup> Ensaios laboratoriais realizados em parceria com a equipe conduzida pelo Prof. Dr. Nilson Botelho, do laboratório de Microscopia e de Microsondagem do Instituto de Geologia da Universidade de Brasília entre março de 2018 e janeiro de 2019.

<sup>29</sup> As placas de mármore utilizadas como amostras nos ensaios laboratoriais foram obtidas nas prospecções realizadas, sendo cedidas pelo órgão responsável pelos serviços de manutenção nas empenas da torre Norte frente à impossibilidade de reaproveitamento na recomposição das fachadas, uma vez que já se encontrava destacada e quebrada (caso da amostra 1) ou estavam descoladas do substrato e na remoção houve ruptura (amostras 2 e 3).

Espectometria de Energia Dispersiva (EDS) com a composição química de cada mineral componente da amostra analisada. Os resultados indicaram, em todas as amostras, um mármore predominantemente dolomítico.

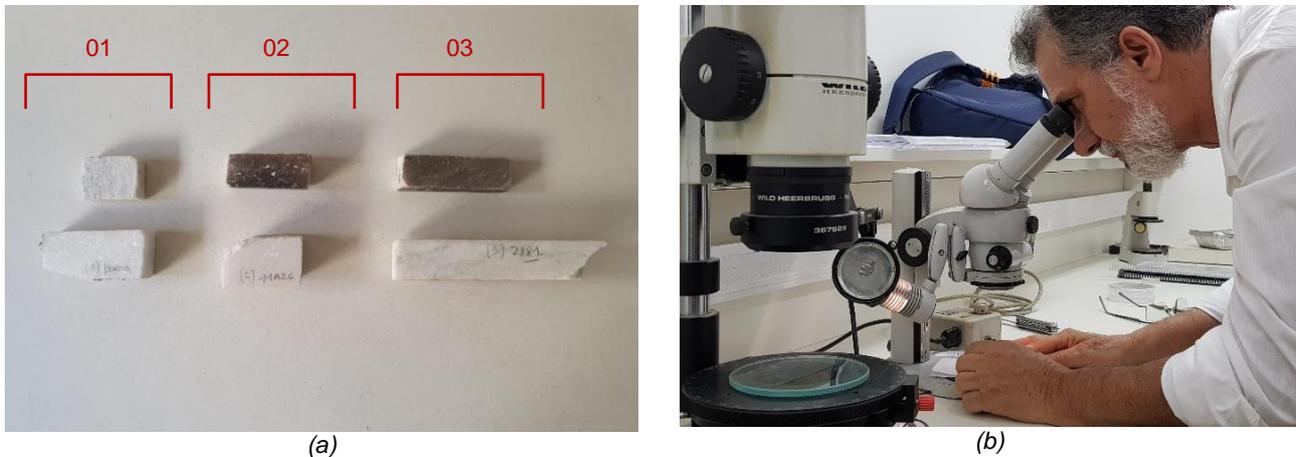


Figura 4.21: Ensaios laboratoriais: a) amostras 1, 2 e 3 ensaiadas; b) análise pela lupa binocular.  
Fonte: Autora, 2018.

A Figura 4.22 apresenta a imagem da composição mineralógica da amostra 01, que mostra o domínio da dolomita, predominante, e o da calcita, mais claro por se tratar de mineral mais pesado. É possível observar ainda os gráficos EDS que refletem a composição química desses minerais.

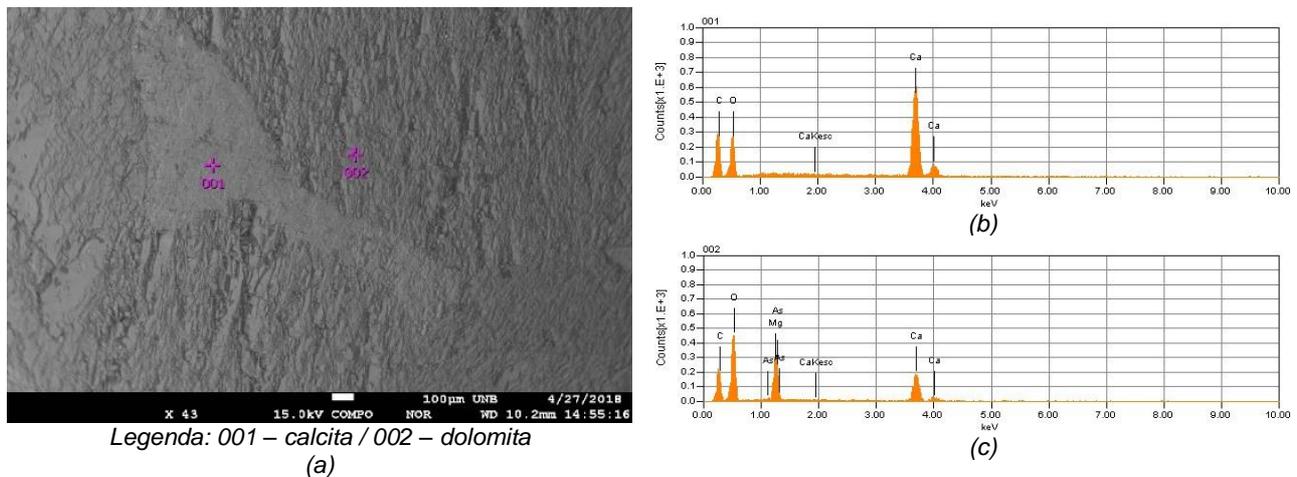


Figura 4.22: Produtos dos ensaios laboratoriais para a amostra 01: a) imagem da composição mineral; b) EDS da calcita; c) EDS da dolomita. Fonte: Autora, 2019.

Mediante análise macroscópica e teste de dureza realizados na amostra 01, verificou-se maior resistência ao risco, o que levou a uma investigação mais profunda por meio de análise petrográfica, demandando a preparação de seção delgada para observação por meio do microscópio óptico. Essa análise comprovou a presença de um mineral pouco comum em mármore, a forsterita ( $Mg_2SiO_4$ ), mineral silicato do grupo da olivina,<sup>30</sup> que contribui para o incremento da dureza, sem interferir no aspecto estético da rocha devido a sua cor branca (Figura

<sup>30</sup> Glossário Geológico Ilustrado, disponível em < <http://sigep.cprm.gov.br/glossario/>>. Acessado em janeiro de 2019.

4.23). Foi encontrado também diopsídio ( $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ ), mais frequente na composição de rochas metamórficas.

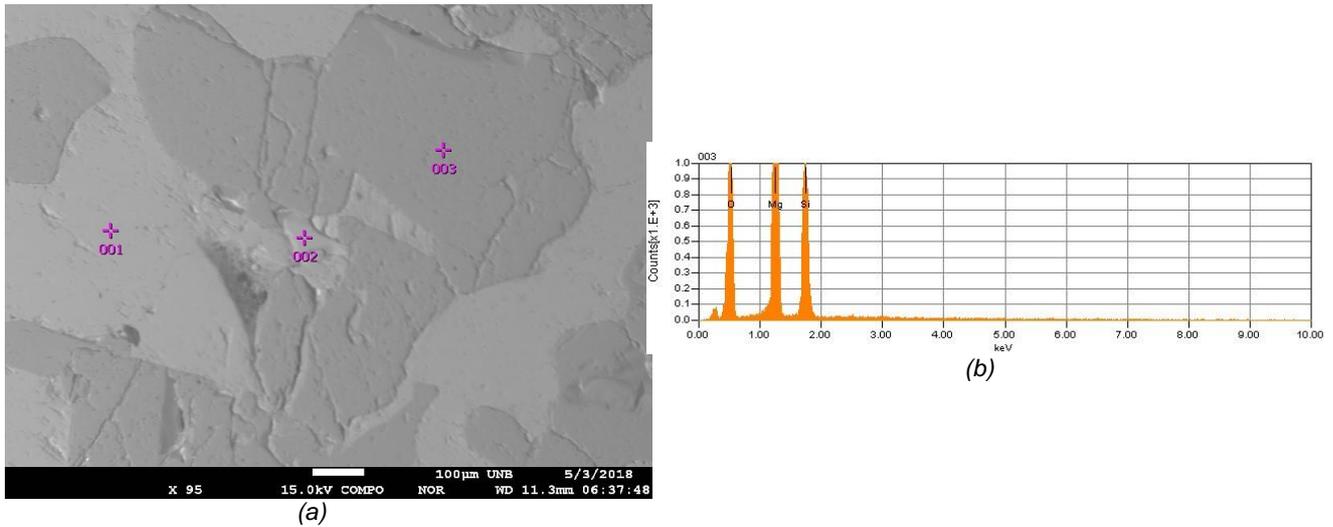


Figura 4.23: Ensaios laboratoriais para a amostra 01: a) imagem da composição mineralógica (o ponto 003 corresponde à forsterita); b) EDS da forsterita (olivina). Fonte: Autora, 2019.

Quando submetidas à análise macroscópica e teste de dureza, as amostras 02 e 03 não apresentaram indícios de propriedades especiais, motivo pelo qual não foi realizada a análise petrográfica, apenas os procedimentos já descritos. Os resultados para as análises mostram a predominância de domínios de dolomita, além de estarem presentes a calcita e o piroxênio (diopsídio) em ambas, talco na amostra 02 e serpentina na amostra 03<sup>31</sup>.

No caso da amostra 03, o diopsídio se apresenta em faixas verdes que resultam na queda de resistência devido à descontinuidade criada na estrutura da rocha, além de interferir no seu aspecto visual, que se difere das demais placas de mármore presentes no sistema.

As alterações identificadas no mármore que são resultantes da instalação e condições de exposição, ou seja, não estão associadas à sua origem, são a impregnação de argila e os depósitos de poeira (sílica e alumínio), que geram sujidades na superfície da rocha. Além disso, por meio da comparação entre as imagens do relevo da superfície da rocha obtidas para a face externa e a interna da amostra 02, observaram-se, no caso da face exposta, cavidades que correspondem aos grãos que se destacaram, possivelmente alterações devido às condições de exposição (Figura 4.24).

<sup>31</sup> Os minerais talco ( $\text{Mg}_6(\text{Si}_8\text{O}_{20})(\text{OH})_4$ ) e serpentina ( $\text{Mg}_3[\text{Si}_2\text{O}_5](\text{OH})_4$ ) são produtos da transformação (retrometamorfismo) dos silicatos de magnésio (no caso a olivina e o piroxênio hidratado), que ocorre em condições de temperatura e pressão específicas. São compostos de menor dureza e resistência. A proporção de magnésio e silício diferencia a olivina da serpentina, sendo a primeira composta puramente por Magnésio (Mg), Silício (Si) e Oxigênio (O), e a segunda com 13% de água em adição. Por esse motivo se diz que a serpentina é a olivina hidratada. Fontes: *idem*; entrevista concedida pelo geólogo Nilson Botelho em novembro de 2018.

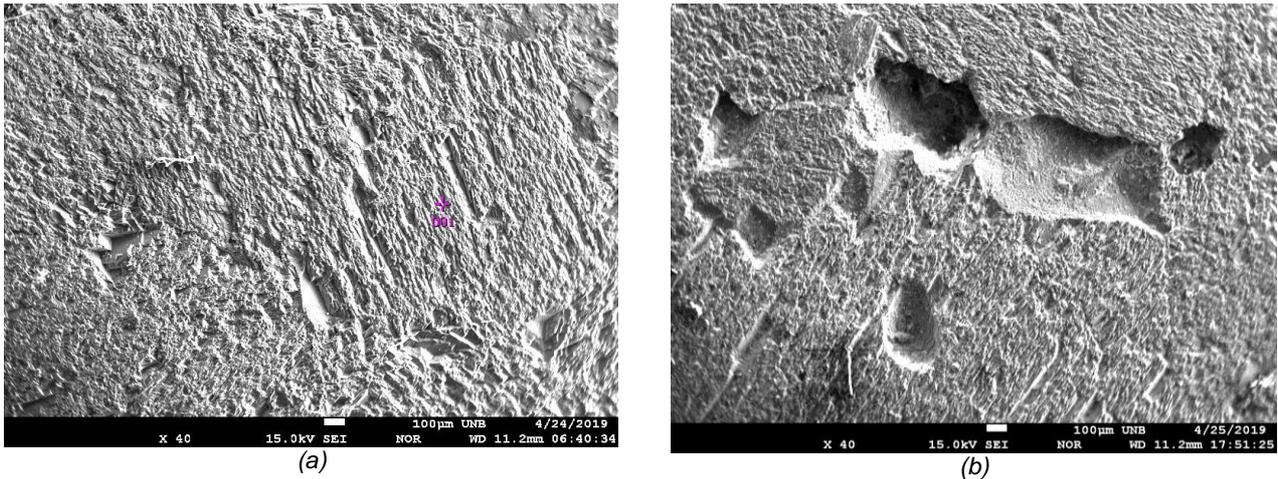


Figura 4.24: Imagens do relevo da superfície da amostra 02: a) face interna; b) face externa. Fonte: Autora, 2019.

O Quadro 4.4 sintetiza os achados referentes aos ensaios laboratoriais para as amostras 01, 02 e 03.

Quadro 4.4: Resultados dos ensaios laboratoriais para as amostras 1, 2 e 3.

Amostra	Composição mineralógica	Características da rocha	Alterações identificadas devido à instalação
01	Dolomita Calcita Olivina (forsterita) Piroxênio (diopsídio) Talco	Mármore predominantemente dolomítico, de maior dureza devido à presença de olivina (forsterita), de cor branca. Minerais da família da olivina aparecem em rochas originadas em condições de pressão e temperatura elevadas.	Sujidade por impregnação de argila, depósitos de poeira (sílica, alumínio).
02	Dolomita Calcita Piroxênio (diopsídio) Talco	Mármore predominantemente dolomítico, com distribuição dos minerais homogênea. A presença de piroxênio (diopsídio), de cor verde, confere mais resistência à abrasão. Não se identificou olivina na composição. A estrutura é mais compatível com a amostra 01.	Não há depósito de poeira (sílica ou alumínio) nas cavidades, como identificado nas demais amostras.
03	Dolomita Calcita Piroxênio (diopsídio) Serpentina	Mármore predominantemente dolomítico, com distribuição dos minerais mais heterogênea. A presença de piroxênio (diopsídio) do modo que se apresenta (em faixas) prejudica a resistência a impactos devido às descontinuidades na estrutura.	Sujidade por impregnação de argila, depósitos de poeira (sílica, alumínio).

Fonte: Autora, 2019.

Apesar das diferenças na composição mineralógica das amostras, não se pode afirmar categoricamente que elas sejam de pedreiras diferentes apenas com base nos ensaios realizados, uma vez que a variação na composição mineral, como os retrometamorfismos identificados nas amostras 02 e 03 na forma de talco e serpentina, pode ocorrer em rochas extraídas de uma mesma pedreira.

No caso da amostra 01, o mármore adotado como parte do sistema de revestimento, quando ensaiado, mostrou particularidades na sua composição que conferem maior resistência e durabilidade. Trata-se de uma rocha de caráter especial devido à presença da forsterita, mineral da família das olivinas raro em rochas metamórficas. Partindo-se do pressuposto que esta amostra foi retirada de placa de mármore original do período da construção – uma vez que não há histórico de

intervenção no trecho, nem danos aparentes nas áreas contíguas do sistema ou variação na aparência quando comparado às outras áreas do sistema – a identificação de olivina corrobora as informações obtidas na pesquisa histórica a respeito da jazida de origem do mármore do Congresso Nacional, em Italva – RJ, uma vez que há estudos que apontam a presença desse mineral nos mármore da região<sup>32</sup>.

A amostra 03, por outro lado, apresentou indícios de que se trata de intervenção posterior, por possuir apenas 2 cm de espessura e padrão de veios e cores distinto das demais placas.

#### 4.1.7 Caracterização do sistema de revestimento de mármore

As informações coletadas permitiram a caracterização dos componentes do sistema, ou seja, as cinco camadas e juntas de dilatação e movimentação (Figura 4.25).

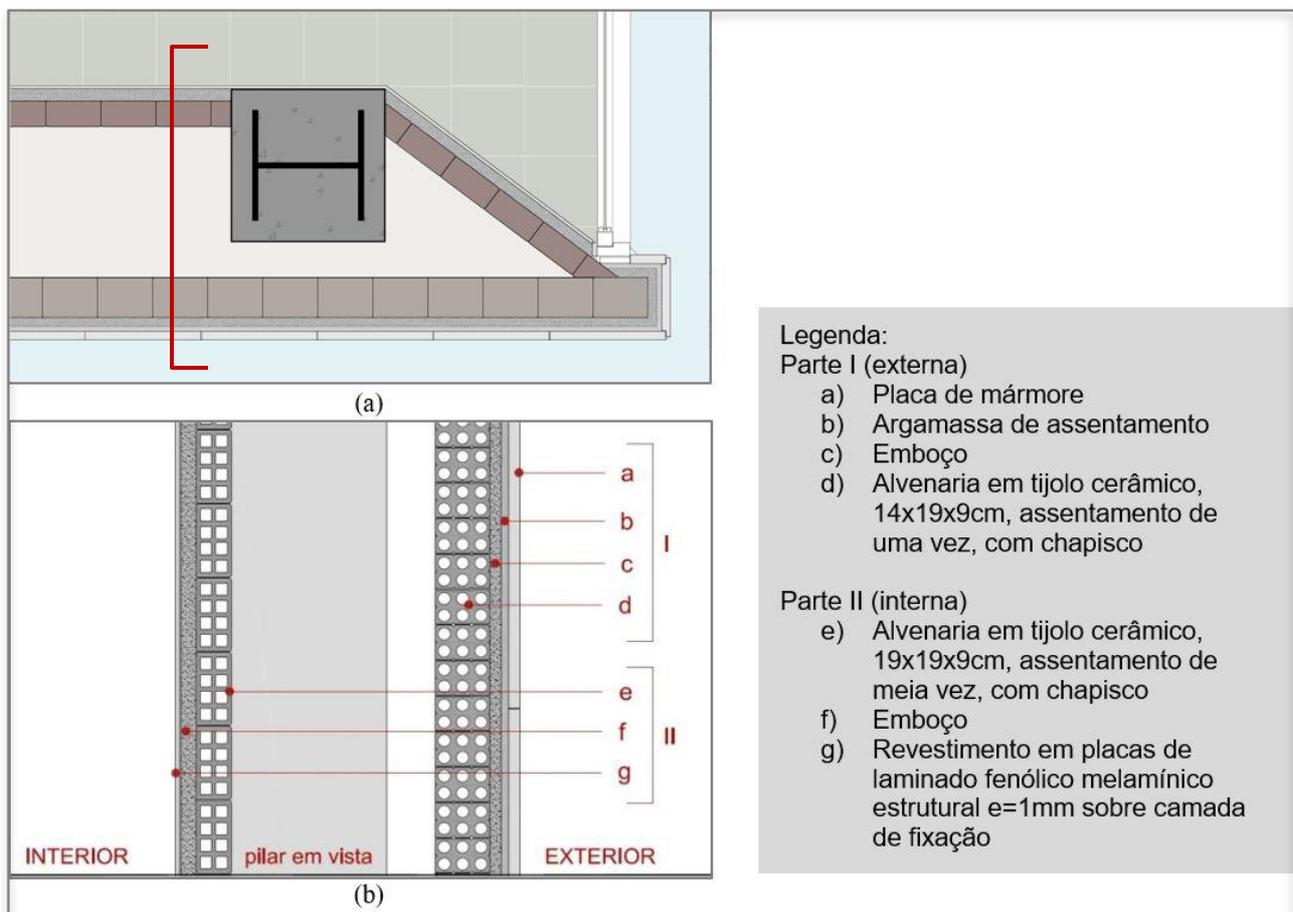


Figura 4.25: Detalhe do sistema de revestimento em mármore: a) planta; b) seção vertical.  
Fonte: Autora, 2019.

Adicionalmente, pode-se identificar a função que deve ser assegurada por cada uma das camadas, relacionada aos requisitos de desempenho para o sistema, conforme sistematizado no Quadro 4.5.

<sup>32</sup> Cf. Bicalho et al., 2017, "Caracterização Petrográfica e Química dos Mármore de Italva – RJ".

Quadro 4.5: Componentes do sistema de revestimento em mármore do Congresso Nacional<sup>1</sup>

Componente	Características	Função e requisitos de desempenho
1. Camada externa de acabamento	Placas de mármore Branco Italva, espessura de 30 mm, acabamento polido.	Conferir aspecto estético, responsável pela feição externa da edificação. Deve conferir proteção e estanqueidade ao sistema, e apresentar resistência aos esforços solicitantes.
2. Camada de fixação	Argamassa de assentamento de 18 mm de espessura	Conferir aderência entre as placas de mármore e o substrato. Deve ter preenchimento homogêneo no tardo da rocha, evitando-se vazios que possam favorecer o acúmulo de água e o surgimento de fraturas.
3. Camada de emboço ou substrato	Substrato com espessura de 30 mm composto por argamassa de cimento, cal e areia.	Regularizar a base para receber a próxima camada, devendo, assim, atender aos requisitos de planicidade e de prumo. Esta camada deve garantir a aderência à base e possuir resistência.
4. Camada de preparo da base	Chapisco em argamassa de cimento e areia, espessura de 3 a 5 mm.	Promover aderência entre o substrato e a base.
5. Base <sup>3</sup>	Elemento de vedação composto por alvenaria de tijolo cerâmico de 6 furos na cor marrom claro, 14 x 19 x 9 cm, com assentamento de uma vez.	Limitar verticalmente o ambiente externo do ambiente interno, devendo ser estanque e propiciar o conforto térmico e acústico no interior do edifício. Esta camada deve ser dimensionada para suportar a carga das demais camadas do sistema e as solicitações impostas.
6. Junta de assentamento	Juntas entre placas com 2,3 mm de espessura.	Aliviar parte das tensões atuantes na camada de acabamento, composta pelas placas de rocha.
7. Junta de movimentação	Junta de 21 mm de espessura prevista a cada laje de piso.	Aliviar as tensões atuantes originadas pela movimentação das camadas do sistema, incluindo a base e o substrato.

Notas: 1. As espessuras das camadas 2, 3 e 4 correspondem a uma média nos pontos prospectados, e podem variar em outros pontos do sistema de fachada.

2. A composição das camadas 2, 3 e 4 consiste em hipótese baseada na observação e na revisão bibliográfica.

3. Uma vez que o sistema de vedação vertical existente consiste em parede dupla de alvenaria com colchão de ar, optou-se por analisar como base do sistema de revestimento apenas a parede externa. Além disso, no objeto de estudo, a viga de bordo de pavimento em concreto armado atua como base do sistema de revestimento nos trechos de interface com o sistema de vedação.

Fonte: Autora, 2019

## 4.2 ANÁLISE DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO

A etapa de levantamento possibilitou reunir as informações de caracterização do sistema e mapear os danos que afetam suas partes. A aplicação dos procedimentos para análise do estado de conservação para o sistema de revestimento de fachada em estudo, separados nas fases de análise por trecho e análise do todo, se apresenta a seguir.

### 4.2.1 Análise por trecho

Para iniciar a etapa de análise do estado de conservação, as manifestações patológicas identificadas no mapeamento de danos foram sistematizadas em fichas de identificação de danos, conforme a exemplo no Apêndice A. Na sequência, foi organizado um banco de dados para cada um dos 30 trechos e bordas<sup>33</sup>, separados conforme a fachada, de modo a relacionar os danos registrados aos respectivos Índices de Severidade (S), de Ocorrência (O) e à Classe de Risco (CR) resultante.

O procedimento de contagem de danos para se obter o Índice de Ocorrência foi documentado em pranchas de quantitativos, conforme exemplificado na Figura 4.26. A prancha apresenta a sobreposição da malha à representação gráfica do mapa de danos com numeração dos quadrantes, além de vista e planta de referência, legenda com representação gráfica, tabela de critérios, tabela de quantitativos e carimbo.

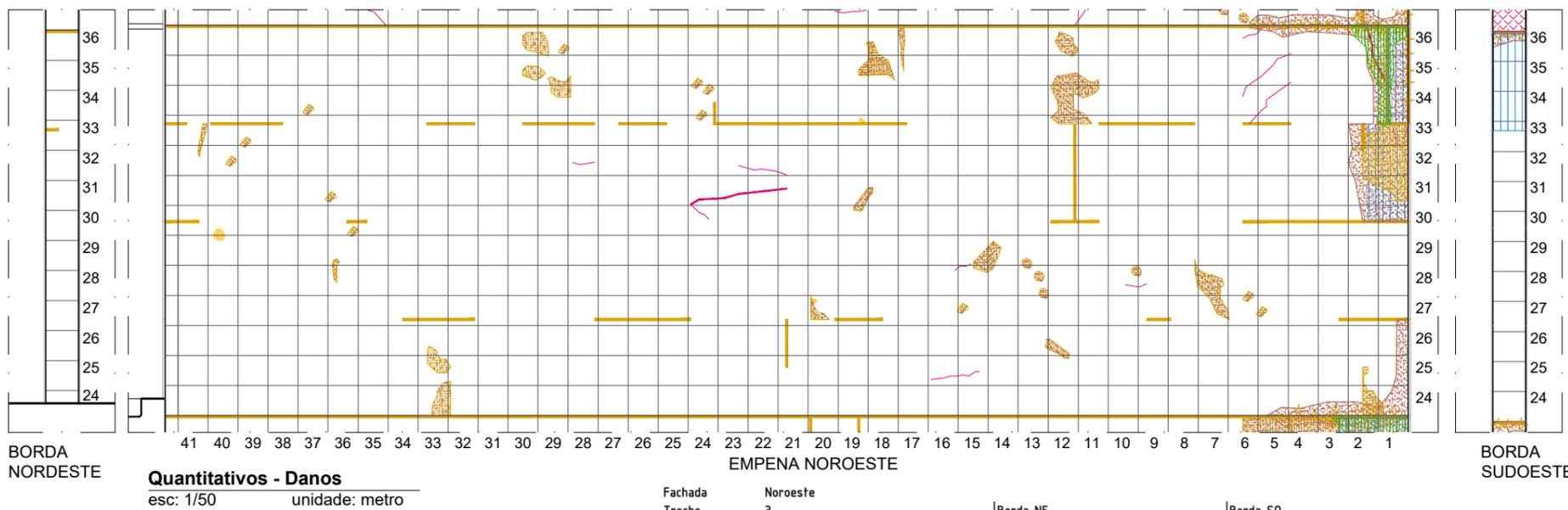
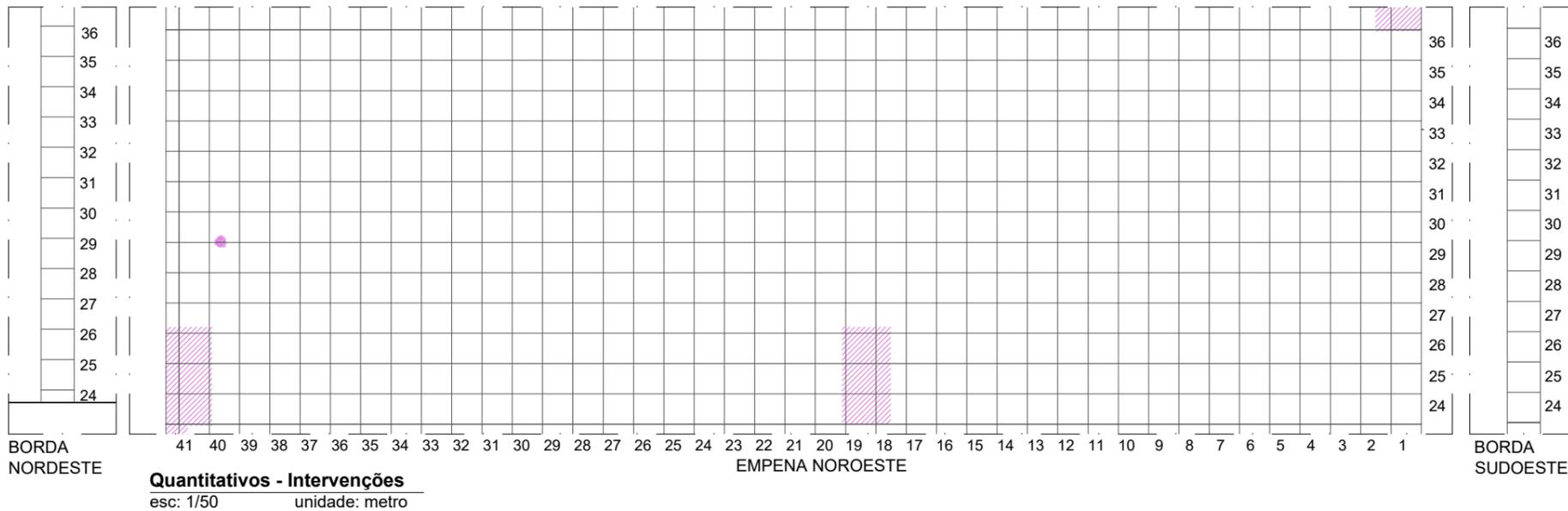
Foram elaborados também quadro-resumo para cada trecho das empenas Noroeste e Sudeste da torre Sul do Congresso Nacional. A Figura 4.27 contém um exemplo de quadro-resumo, com o levantamento fotográfico, a representação do sistema, o mapa de danos e a tabela com a classe de risco.

As pranchas produzidas nesta etapa, sobretudo os quadro-resumo, permitiram a apreensão do trecho de modo completo, por conterem a elevação do sistema na fachada e das respectivas bordas.

Na sequência da Análise do estado de conservação – por trecho, procedeu-se à Análise do todo, com vistas à compreensão do estado de conservação do sistema de revestimento em mármore no contexto mais amplo do edifício e seus sistemas.

---

<sup>33</sup> Para as bordas, foi necessária a definição de intervalos distintos para a determinação do índice “O”, a fim de melhor representar a classificação da gravidade, constantes no Apêndice C.



CRITÉRIO DE CLASSIFICAÇÃO DO ÍNDICE DE OCORRÊNCIA DA FALHA				
Classificação	Índice (0)	Intervalos da ocorrência		
		grupo 1	grupo 2	grupo 3
Muito baixa	1	0 ≤ 5%	0 ≤ 5%	-
Baixa	2	5% < 0 ≤ 10%	5% < 0 ≤ 10%	-
Moderada	3	10% < 0 ≤ 20%	10% < 0 ≤ 15%	1% < 0 ≤ 2,5%
Alta	4	20% < 0 ≤ 30%	15% < 0 ≤ 20%	2,5% < 0 ≤ 5%
Muito alta	5	0 > 30%	0 > 20%	0 > 5%

grupo 1: inclui danos com Índice de Severidade (S) equivalente a 1, 2 e 3.  
grupo 2: inclui danos com Índice de Severidade (S) equivalente a 4.  
grupo 3: inclui danos com Índice de Severidade (S) equivalente a 5.

Fachada Noroeste		Borda NE			Borda SO				
Trecho	3	13			13				
Total quadrantes	539,5								
Código	Quantitativo	Percentual	(0)	Quantitativo	Percentual	(0)	Quantitativo	Percentual	(0)
I1	17,7	3,28%	1	0	0,00%	-	0	0,00%	-
I2	0	0,00%	-	0	0,00%	-	0	0,00%	-
I3	2	0,37%	1	0	0,00%	-	0	0,00%	-
I4	2	0,37%	1	0	0,00%	-	0	0,00%	-
D1.1	0	0,00%	-	0	0,00%	-	0	0,00%	-
D1.2	14	2,59%	1	3	23,08%	2	6	46,15%	3
D1.3	0	0,00%	-	0	0,00%	-	0	0,00%	-
D1.4	50	9,27%	2	0	0,00%	-	0	0,00%	-
D1.5	126	23,35%	4	0	0,00%	-	0	0,00%	-
D2.1	0	0,00%	-	0	0,00%	-	0	0,00%	-
D2.2	7	1,30%	1	0	0,00%	-	0	0,00%	-
D3.1	0	0,00%	-	0	0,00%	-	0	0,00%	-
D4.1	71	13,16%	3	0	0,00%	-	0	0,00%	-
D5.1	5	0,93%	1	0	0,00%	-	0	0,00%	-
D6.1	24	4,45%	1	0	0,00%	-	0	0,00%	-
D6.2	4	0,74%	1	0	0,00%	-	0	0,00%	-
D6.3	8	1,48%	1	0	0,00%	-	0	0,00%	-
D7.1	0	0,00%	-	0	0,00%	-	0	0,00%	-
D8.1	0	0,00%	-	0	0,00%	-	0	0,00%	-
D8.2	0	0,00%	-	0	0,00%	-	0	0,00%	-
D9.1	66	12,23%	3	1	7,69%	1	0	0,00%	-
D9.2	41,5	7,69%	2	1	7,69%	1	1	7,69%	1

Figura 4.26: Exemplo de prancha de quantitativos com a malha sobreposta para o trecho 03 da fachada Noroeste. Fonte: Autora, 2019.

LEGENDA

Representação do sistema de revestimento

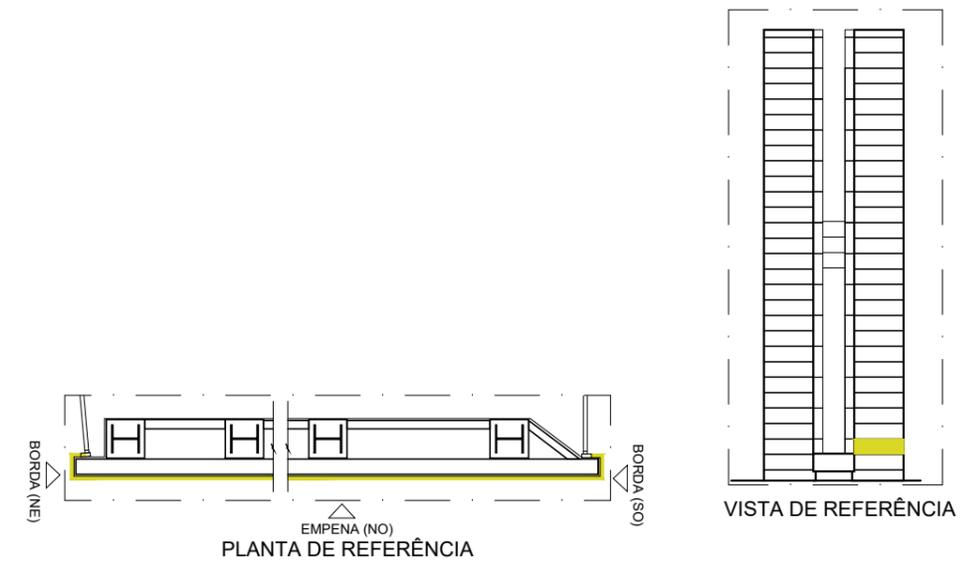
- Paginação das placas
- I1.1 - Substituição de placa
- I1.2 - Reparo em mármore (prótese)
- I1.3 - Reparo não adequado
- I1.4 - Interferências - pinos, parafusos, instalações prediais

Manifestações patológicas nas placas de mármore

- D1.1 - Pátina artificial, pintura localizada, vandalismo
- D1.2 - Mancha de umidade
- D1.3 - Mancha de oxidação
- D1.4 - Depósitos brancos
- D1.5 - Depósitos escuros
- D2.1 - Colonização biológica por plantas
- D2.2 - Colonização biológica por microorganismos
- D3.1 - Desagregação da placa
- D4.1 - Desgaste na superfície
- D5.1 - Perda de material
- D6.1 - Fissura contida na placa
- D6.2 - Fissura contínua no plano do revestimento
- D6.3 - Fratura da placa
- D7.1 - Deformação
- D8.1 - Descolamento
- D8.2 - Destacamento

Manifestações patológicas nas juntas de dilatação

- D9.1 - Falha no rejunte
- D9.2 - Falha na junta de movimentação



PALÁCIO DO CONGRESSO NACIONAL  
ESTADO DE CONSERVAÇÃO DO SISTEMA DE REVESTIMENTO EM MÁRMORE

QUANTITATIVOS

Torre Sul . Fachada Noroeste . Trecho 3

março de 2019

03/60

COMO REFERENCIAR: LIMA, BRUNA BARBOSA. (2019). Sistema de revestimento em mármore nas fachadas do Congresso Nacional - Cenários do estado de conservação. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, DF.



LEGENDA

Representação do sistema de revestimento

- Paginação das placas
- I1.1 - Substituição de placa
- I1.2 - Reparo em mármore (prótese)
- I1.3 - Reparo não adequado
- I1.4 - Interferências - pinos, parafusos, instalações prediais

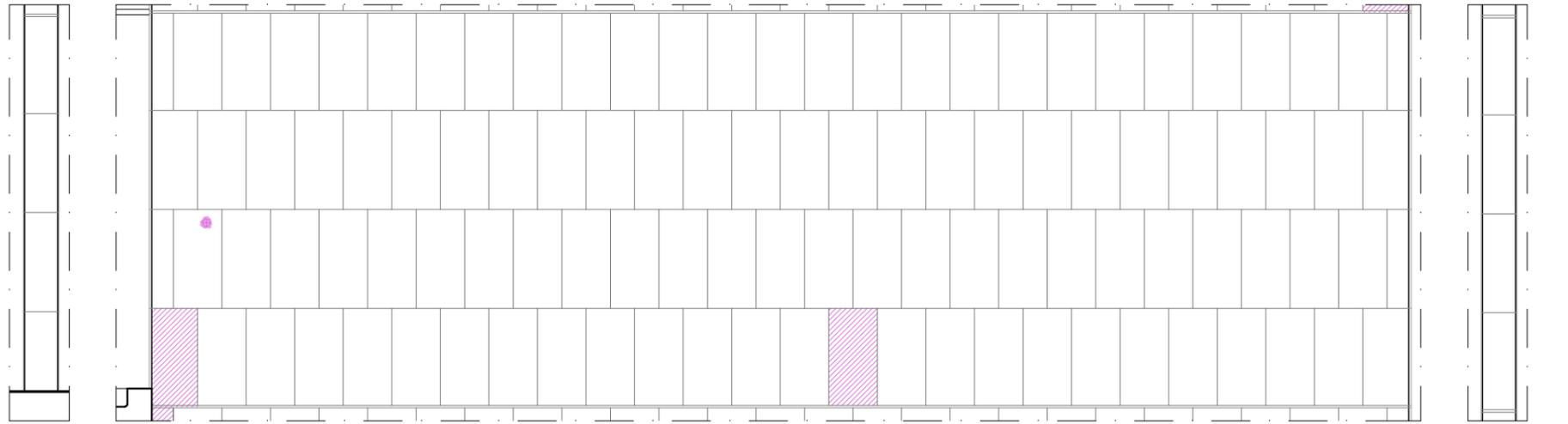
Manifestações patológicas nas placas de mármore

- D1.1 - Pátina artificial, pintura localizada, vandalismo
- D1.2 - Mancha de umidade
- D1.3 - Mancha de oxidação
- D1.4 - Depósitos brancos
- D1.5 - Depósitos escuros
- D2.1 - Colonização biológica por plantas
- D2.2 - Colonização biológica por microorganismos
- D3.1 - Desagregação da placa
- D4.1 - Desgaste na superfície
- D5.1 - Perda de material
- D6.1 - Fissura contida na placa
- D6.2 - Fissura contínua no plano do revestimento
- D6.3 - Fratura da placa
- D7.1 - Deformação
- D8.1 - Descolamento
- D8.2 - Destacamento

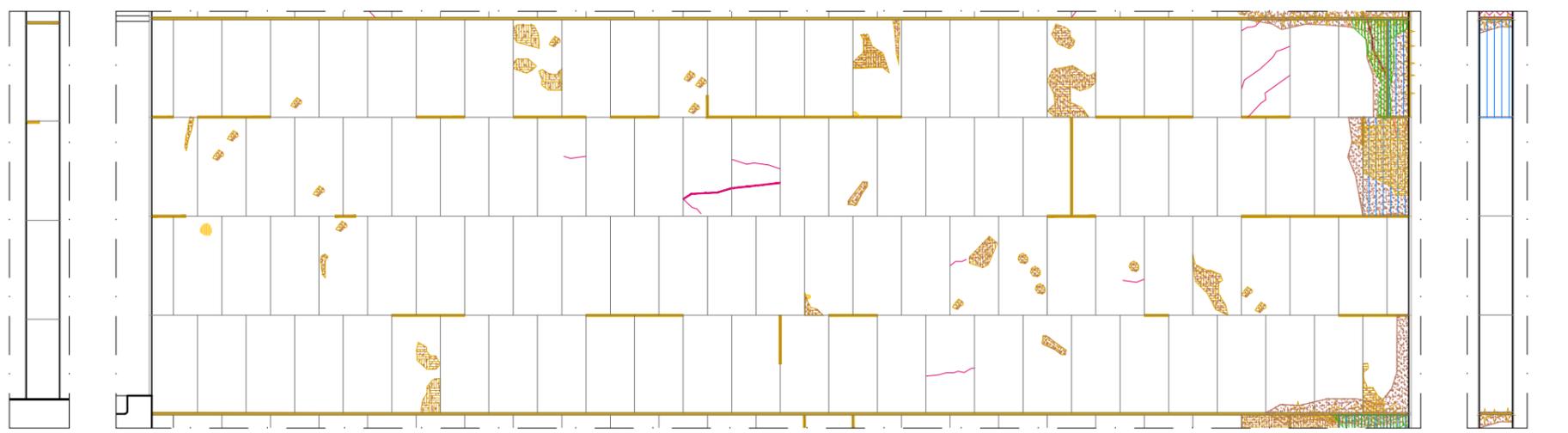
Manifestações patológicas nas juntas de dilatação

- D9.1 - Falha no rejunte
- D9.2 - Falha na junta de movimentação

**Levantamento Fotográfico**  
esc: 1/50 unidade: metro



**Representação do Sistema - Paginação e Intervenções**  
esc: 1/50 unidade: metro



**Mapa de Danos**  
esc: 1/50 unidade: metro

Código	Fachada Noroeste - Trecho 3			Borda NE			Borda SO		
	O	S	CR	O	S	CR	O	S	CR
D1.1	-	1	-	-	1	-	-	1	-
D1.2	1	2	2	2	2	4	3	2	6
D1.3	-	2	-	-	2	-	-	2	-
D1.4	2	3	6	-	3	-	-	3	-
D1.5	4	2	8	-	2	-	-	2	-
D2.1	-	3	-	-	3	-	-	3	-
D2.2	1	2	2	-	2	-	-	2	-
D3.1	-	3	-	-	3	-	-	3	-
D4.1	3	3	9	-	3	-	-	3	-
D5.1	1	3	3	-	3	-	-	3	-
D6.1	1	2	2	-	2	-	-	2	-
D6.2	1	4	4	-	4	-	-	4	-
D6.3	1	4	4	-	4	-	-	4	-
D7.1	-	3	-	-	3	-	-	3	-
D8.1	-	4	-	-	4	-	-	4	-
D8.2	-	5	-	-	5	-	-	5	-
D9.1	3	3	9	1	3	3	-	3	-
D9.2	2	3	6	1	3	3	1	3	3

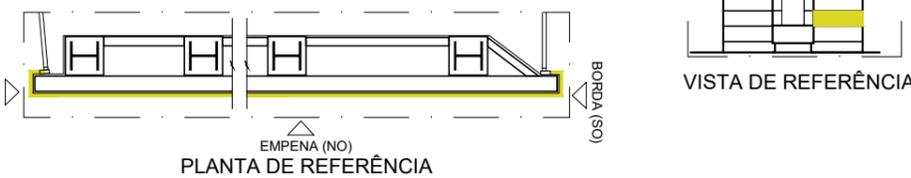


Figura 4.27: Quadro-resumo para o Trecho 3 da Fachada Noroeste.  
Fonte: Autora, 2019.

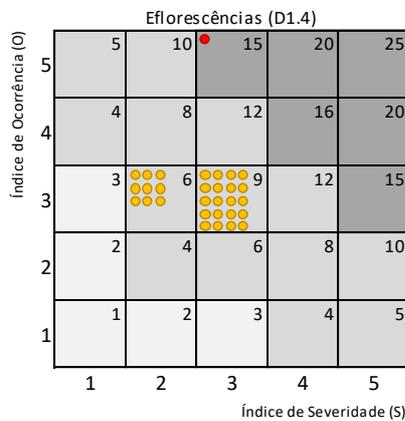
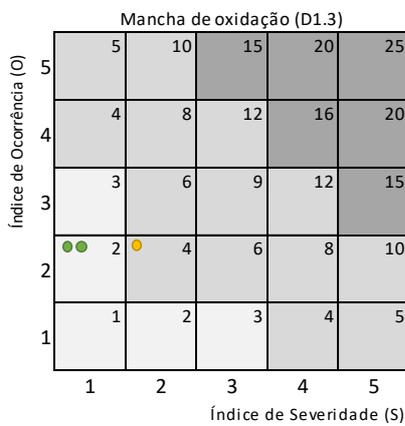
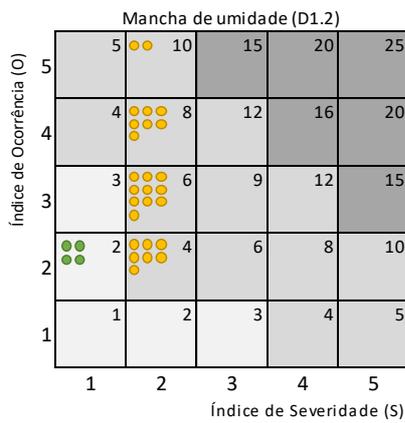
COMO REFERENCIAR: LIMA, BRUNA BARBOSA. (2019). Sistema de revestimento em mármore nas fachadas do Congresso Nacional - Cenários do estado de conservação. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

### 4.2.2 Matrizes de Criticidade

Para a fase de Análise do todo, foram elaboradas matrizes de criticidade para cada dano, organizadas por empena, de modo a relacionar os Índices de Severidade e de Ocorrência. Os resultados dessa análise são apresentados na sequência, primeiramente para a fachada Noroeste (Figura 4.28 – Figura 4.31), sem seguida para a Sudeste (Figura 4.32 – Figura 4.35) da torre Sul. As matrizes foram produzidas com uso das réguas auxiliares, que trazem os índices “S” e “O” e a Classe de Risco (CR) resultante. As réguas foram dispostas verticalmente, de modo que as linhas correspondem aos trechos ou pavimentos. Assim, pretende-se refletir a seção vertical ou elevação do edifício em altura.

A partir da análise dos gráficos, nota-se que, na fachada Noroeste, a maior parte dos danos se concentra na faixa de risco moderado, a exemplo de mancha de umidade (D1.2), eflorescência (D1.4), desgaste na superfície (D4.1) e falha na junta de movimentação (D9.2). Os riscos que se concentram na faixa de risco mínimo são colonização biológica por microrganismos (D2.2), perda de material (D5.1) e fissura contida na placa (D6.1). Há apenas três casos de risco crítico: eflorescência (D1.4) e fissura contínua (D6.2) no trecho 1 de embasamento, e desgaste na superfície (D4.1) no 30º (último) trecho. Na fachada Sudeste, repete-se o resultado de maior concentração de danos na faixa de risco moderado, como eflorescência (D1.4) e falha na junta de movimentação (D9.2). Na faixa de risco mínimo estão mancha de oxidação (D1.3), colonização biológica por microrganismos (D2.2) e perda de material (D5.1). Não há casos de danos de risco crítico.

Cumprе ressaltar que, mesmo no caso de danos com risco crítico, cuja Classe de Risco varia entre 12 e 25, o que se observa atualmente para o sistema em estudo são danos no limite inferior dessa faixa de criticidade, ainda distantes do valor máximo estabelecido. Esta é a representação do estado de conservação atual, com a possibilidade de evolução da criticidade dos danos e efeitos.



30	5	2	10
29	4	2	8
28	4	2	8
27	4	2	8
26	4	2	8
25	3	2	6
24	2	2	4
23	3	2	6
22	3	2	6
21	4	2	8
20	3	2	6
19	2	2	4
18	3	2	6
17	4	2	8
16	4	2	8
15	3	2	6
14	3	2	6
13	3	2	6
12	2	2	4
11	2	2	4
10	1	2	2
9	2	2	4
8	3	2	6
7	1	2	2
6	2	2	4
5	2	2	4
4	1	2	2
3	1	2	2
2	3	2	6
1	5	2	10
Índices / Trecho	Índice de Ocorrência (O)	Índice de Severidade (S)	Classe de Risco (CR)

D1.2

30	2	2	4
29	0	2	0
28	0	2	0
27	0	2	0
26	0	2	0
25	0	2	0
24	0	2	0
23	0	2	0
22	0	2	0
21	0	2	0
20	0	2	0
19	0	2	0
18	0	2	0
17	0	2	0
16	1	2	2
15	0	2	0
14	0	2	0
13	0	2	0
12	0	2	0
11	0	2	0
10	0	2	0
9	0	2	0
8	0	2	0
7	0	2	0
6	0	2	0
5	0	2	0
4	0	2	0
3	0	2	0
2	0	2	0
1	1	2	2
Índices / Trecho	Índice de Ocorrência (O)	Índice de Severidade (S)	Classe de Risco (CR)

D1.3

30	3	3	9
29	3	3	9
28	3	3	9
27	3	3	9
26	3	3	9
25	3	3	9
24	3	3	9
23	2	3	6
22	3	3	9
21	2	3	6
20	3	3	9
19	2	3	6
18	3	3	9
17	3	3	9
16	3	3	9
15	3	3	9
14	2	3	6
13	3	3	9
12	3	3	9
11	3	3	9
10	3	3	9
9	2	3	6
8	2	3	6
7	2	3	6
6	3	3	9
5	3	3	9
4	2	3	6
3	2	3	6
2	3	3	9
1	5	3	15
Índices / Trecho	Índice de Ocorrência (O)	Índice de Severidade (S)	Classe de Risco (CR)

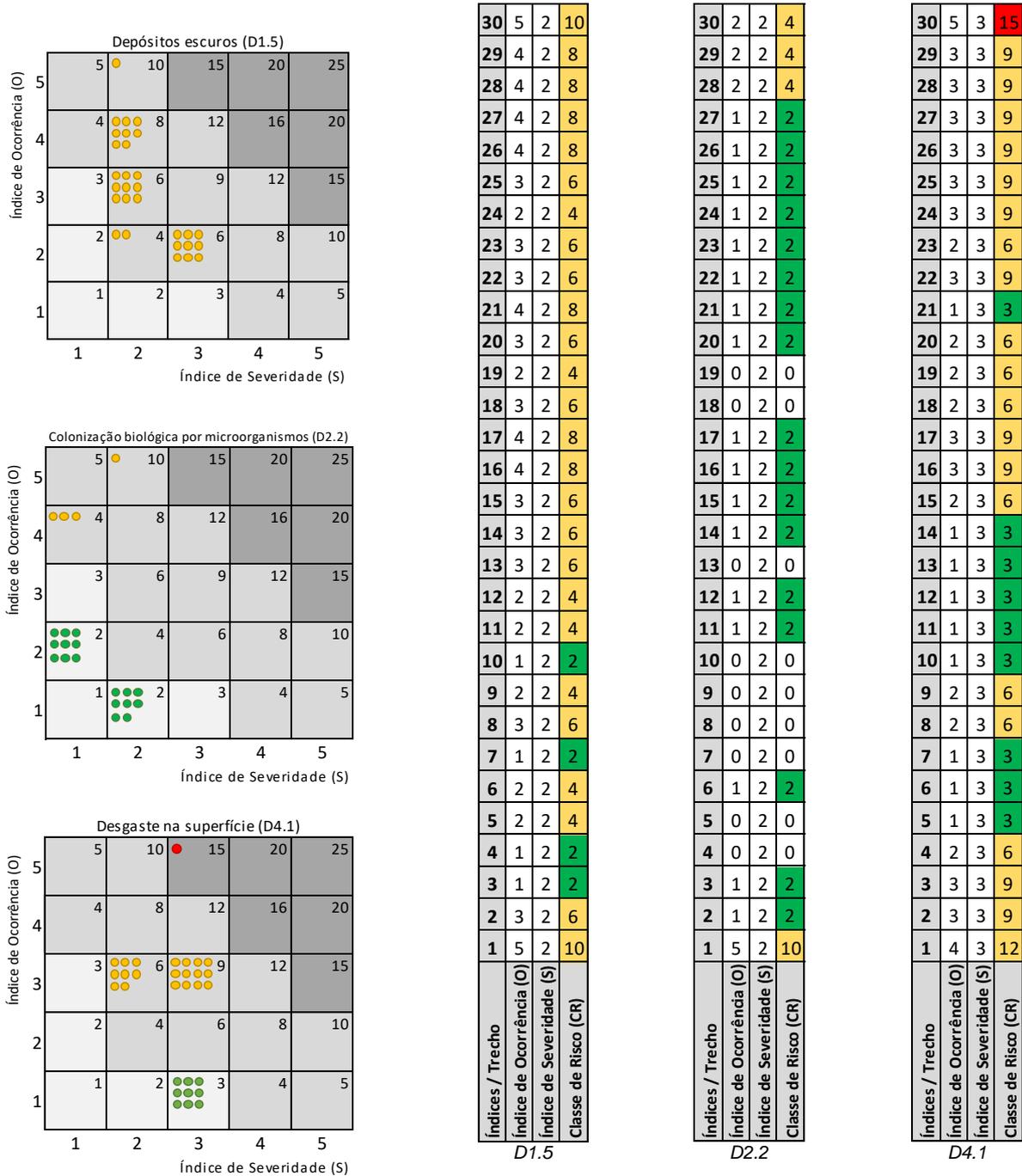
D1.4

LEGENDA

- trecho com risco mínimo para o dano analisado (CR ≤ 3)
- trecho com risco moderado para o dano analisado (3 < CR ≤ 12)
- trecho com risco crítico para o dano analisado (12 < CR ≤ 25)

Análise de Criticidade para a Fachada Noroeste

Figura 4.28: Matrizes de Criticidade para a Fachada Noroeste, danos D1.2, D1.3, D1.4. Fonte: Autora, 2019.



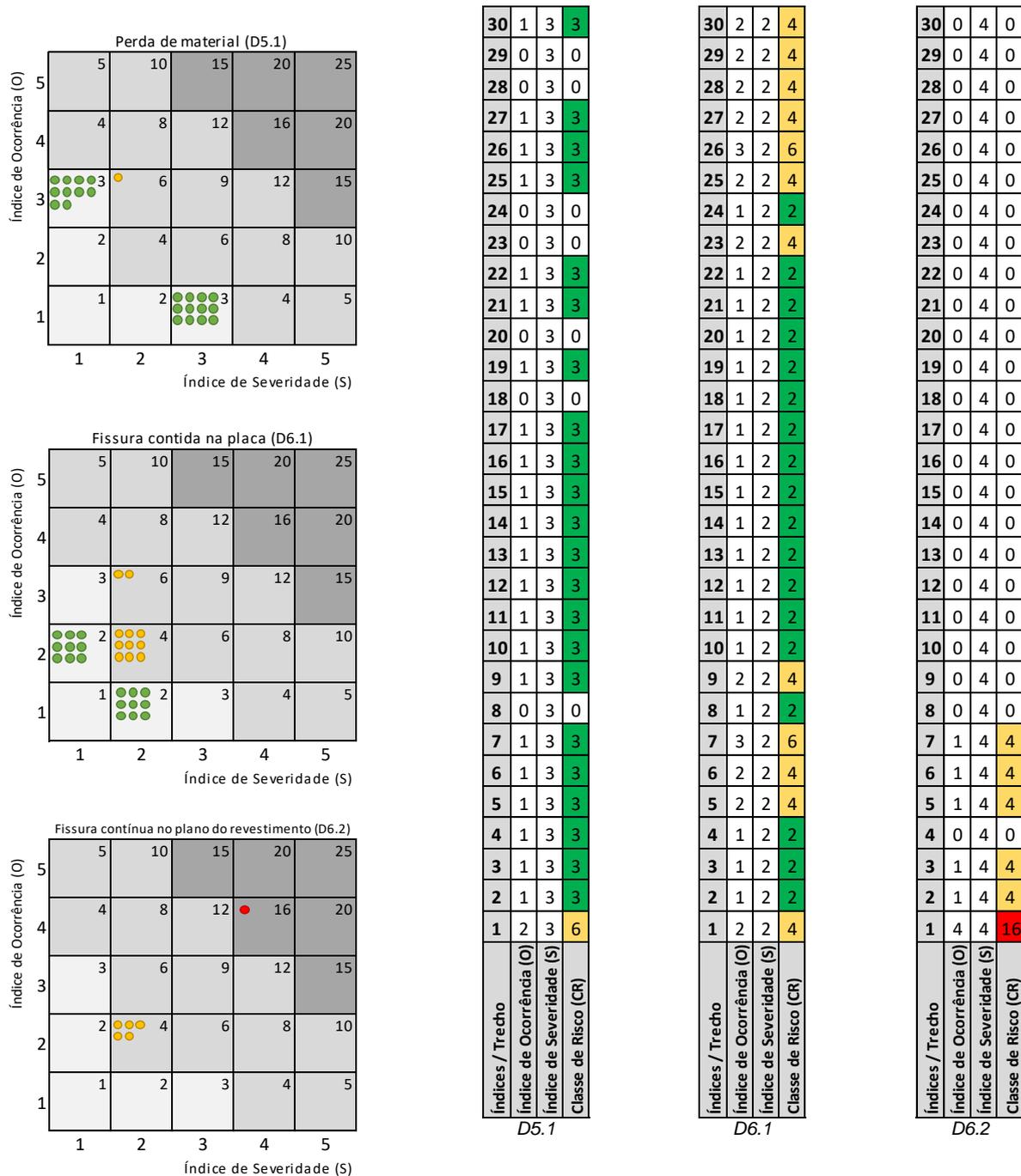
LEGENDA

- trecho com risco mínimo para o dano analisado ( $CR \leq 3$ )
- trecho com risco moderado para o dano analisado ( $3 < CR \leq 12$ )
- trecho com risco crítico para o dano analisado ( $12 < CR \leq 25$ )

**Análise de Criticidade para a Fachada Noroeste**

Figura 4.29: Matrizes de Criticidade para a Fachada Noroeste, danos D1.5, D2.2, D4.1.

Fonte: Autora, 2019.

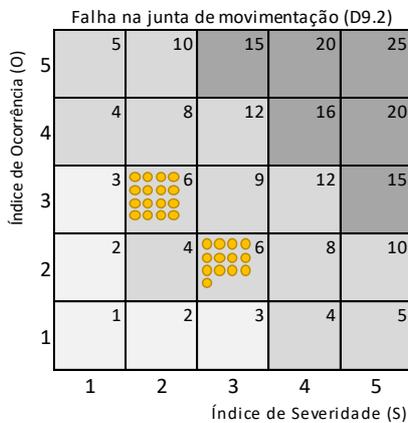
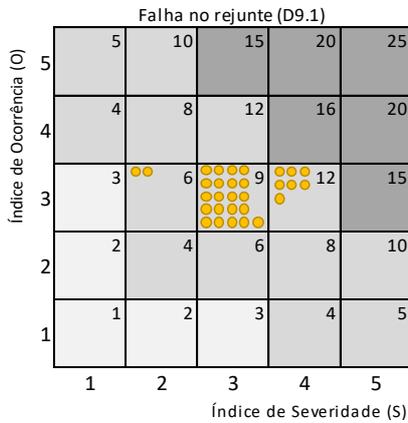
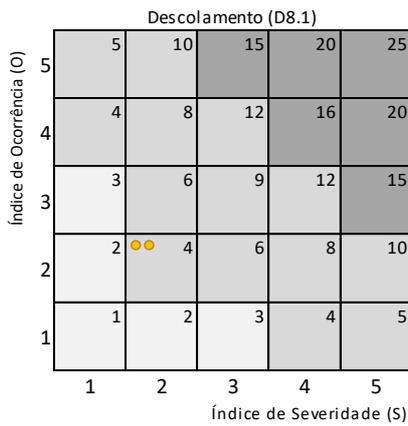
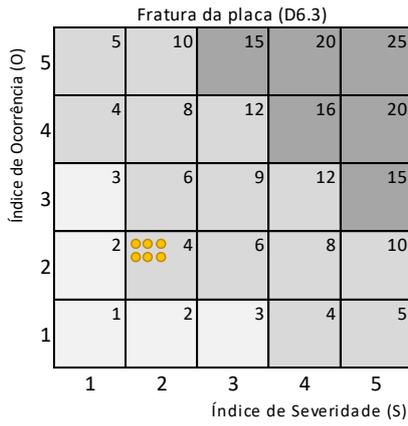


LEGENDA

- trecho com risco mínimo para o dano analisado ( $CR \leq 3$ )
- trecho com risco moderado para o dano analisado ( $3 < CR \leq 12$ )
- trecho com risco crítico para o dano analisado ( $12 < CR \leq 25$ )

**Análise de Criticidade para a Fachada Noroeste**

Figura 4.30: Matrizes de Criticidade para a Fachada Noroeste, danos D5.1, D6.1, D6.2.  
Fonte: Autora, 2019.



30	1	4	4
29	0	4	0
28	0	4	0
27	0	4	0
26	0	4	0
25	0	4	0
24	0	4	0
23	0	4	0
22	0	4	0
21	0	4	0
20	0	4	0
19	0	4	0
18	0	4	0
17	0	4	0
16	0	4	0
15	0	4	0
14	0	4	0
13	1	4	4
12	0	4	0
11	0	4	0
10	0	4	0
9	0	4	0
8	1	4	4
7	0	4	0
6	0	4	0
5	0	4	0
4	1	4	4
3	1	4	4
2	0	4	0
1	1	4	4
Índices / Trecho	Índice de Ocorrência (O)	Índice de Severidade (S)	Classe de Risco (CR)

D6.3

30	0	4	0
29	0	4	0
28	0	4	0
27	0	4	0
26	0	4	0
25	0	4	0
24	0	4	0
23	0	4	0
22	0	4	0
21	0	4	0
20	0	4	0
19	0	4	0
18	0	4	0
17	0	4	0
16	0	4	0
15	1	4	4
14	0	4	0
13	0	4	0
12	0	4	0
11	0	4	0
10	0	4	0
9	0	4	0
8	0	4	0
7	0	4	0
6	0	4	0
5	0	4	0
4	1	4	4
3	0	4	0
2	0	4	0
1	0	4	0
Índices / Trecho	Índice de Ocorrência (O)	Índice de Severidade (S)	Classe de Risco (CR)

D8.1

30	4	3	12
29	4	3	12
28	4	3	12
27	3	3	9
26	3	3	9
25	3	3	9
24	3	3	9
23	2	3	6
22	3	3	9
21	4	3	12
20	3	3	9
19	3	3	9
18	2	3	6
17	4	3	12
16	3	3	9
15	3	3	9
14	3	3	9
13	3	3	9
12	3	3	9
11	3	3	9
10	3	3	9
9	4	3	12
8	3	3	9
7	4	3	12
6	3	3	9
5	3	3	9
4	3	3	9
3	3	3	9
2	3	3	9
1	4	3	12
Índices / Trecho	Índice de Ocorrência (O)	Índice de Severidade (S)	Classe de Risco (CR)

D9.1

30	2	3	6
29	2	3	6
28	2	3	6
27	2	3	6
26	2	3	6
25	2	3	6
24	2	3	6
23	2	3	6
22	2	3	6
21	2	3	6
20	2	3	6
19	2	3	6
18	2	3	6
17	2	3	6
16	2	3	6
15	2	3	6
14	2	3	6
13	2	3	6
12	2	3	6
11	2	3	6
10	2	3	6
9	2	3	6
8	2	3	6
7	2	3	6
6	2	3	6
5	2	3	6
4	2	3	6
3	2	3	6
2	2	3	6
1	2	3	6
Índices / Trecho	Índice de Ocorrência (O)	Índice de Severidade (S)	Classe de Risco (CR)

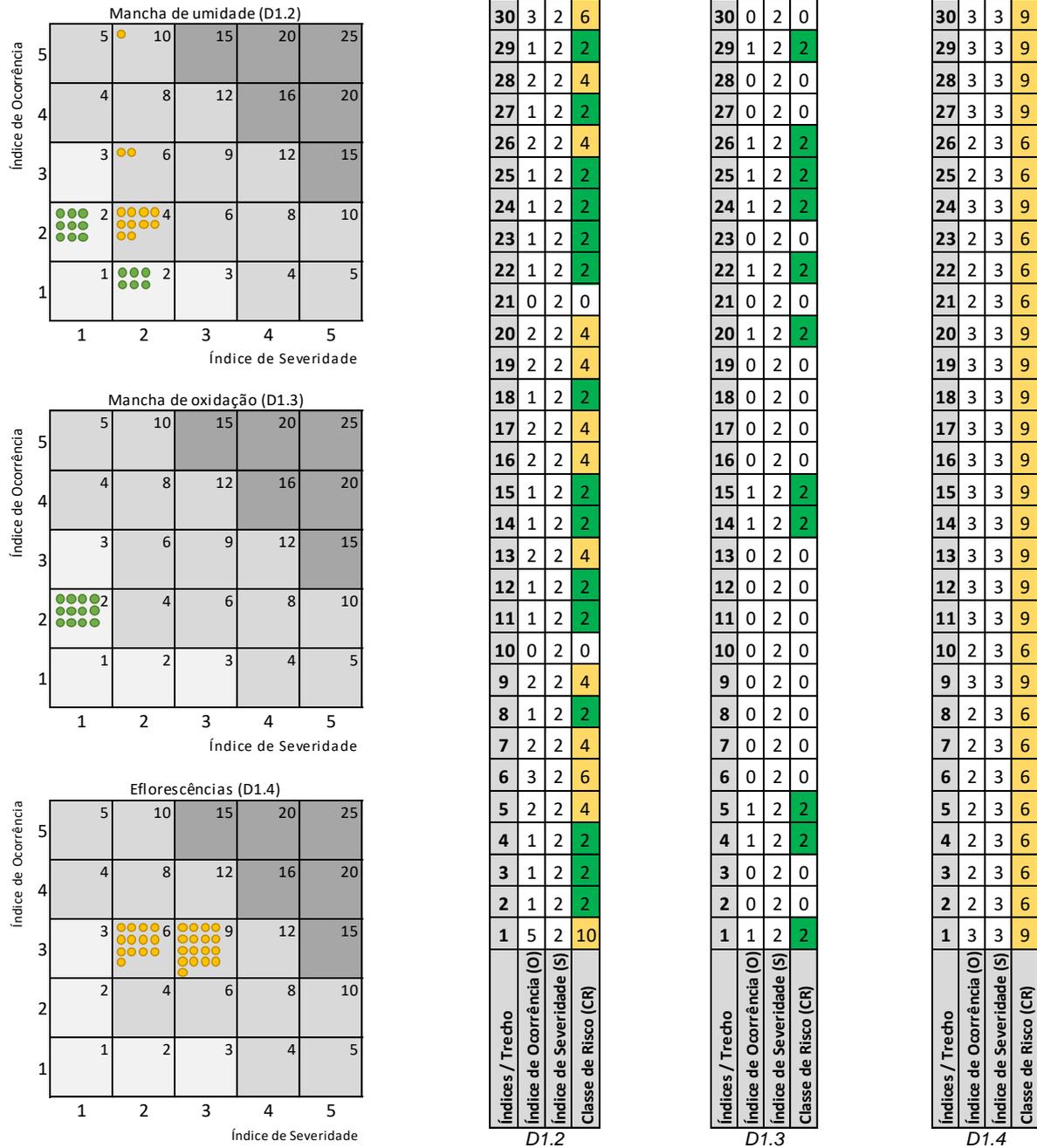
D9.2

LEGENDA

- trecho com risco mínimo para o dano analisado (CR≤3)
- trecho com risco moderado para o dano analisado (3<CR≤12)
- trecho com risco crítico para o dano analisado (12<CR≤25)

Análise de Criticidade para a Fachada Noroeste

Figura 4.31: Matrizes de Criticidade para a Fachada Noroeste, danos D6.3, D8.1, D9.1, D9.2. Fonte: Autora, 2019.

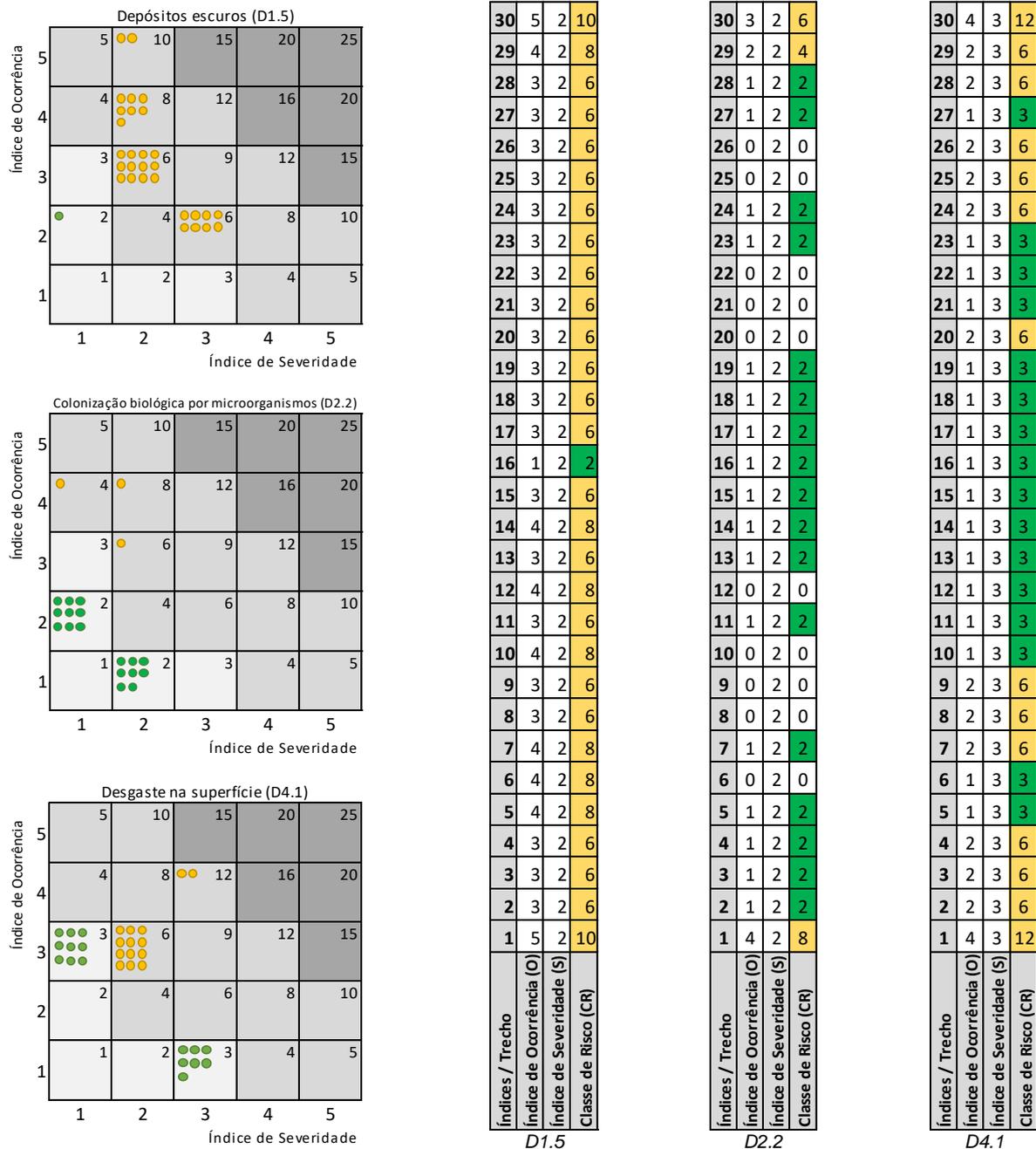


LEGENDA

- trecho com risco mínimo para o dano analisado ( $CR \leq 3$ )
- trecho com risco moderado para o dano analisado ( $3 < CR \leq 12$ )
- trecho com risco crítico para o dano analisado ( $12 < CR \leq 25$ )

**Análise de Criticidade para a Fachada Sudeste**

Figura 4.32: Matrizes de Criticidade para a Fachada Sudeste, danos D1.2, D1.3, D1.4. Fonte: Autora, 2019.

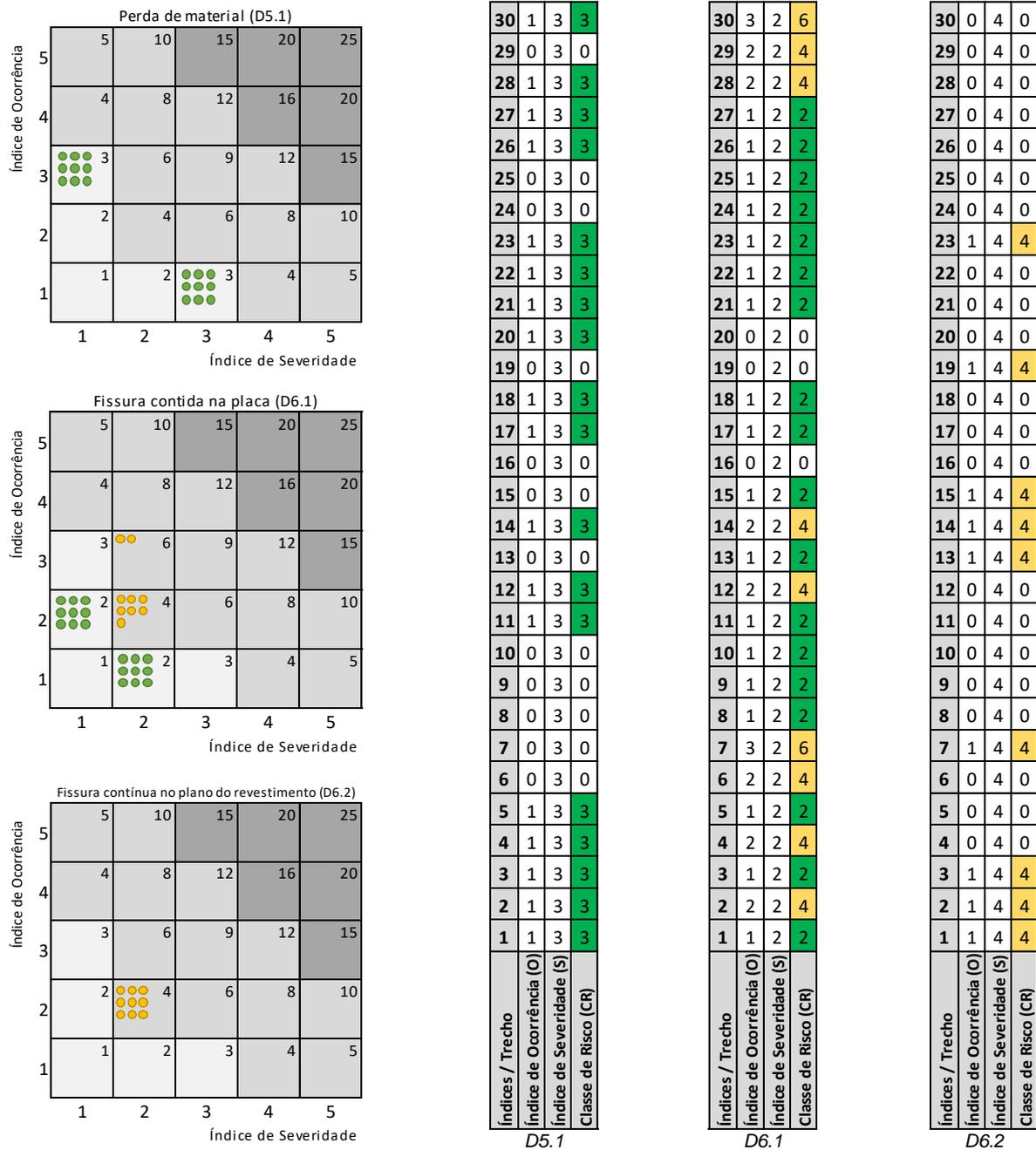


LEGENDA

- trecho com risco mínimo para o dano analisado (CR≤3)
- trecho com risco moderado para o dano analisado (3<CR≤12)
- trecho com risco crítico para o dano analisado (12<CR≤25)

**Análise de Criticidade para a Fachada Sudeste**

Figura 4.33: Matrizes de Criticidade para a Fachada Sudeste, danos D1.5, D2.2, D4.1. Fonte: Autora, 2019.



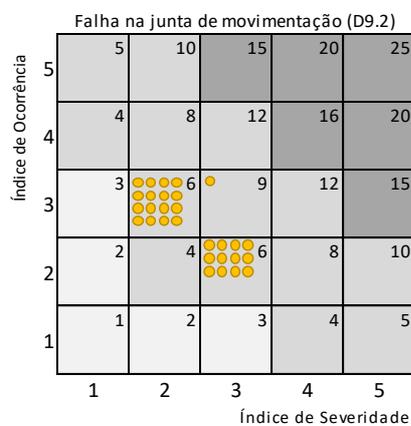
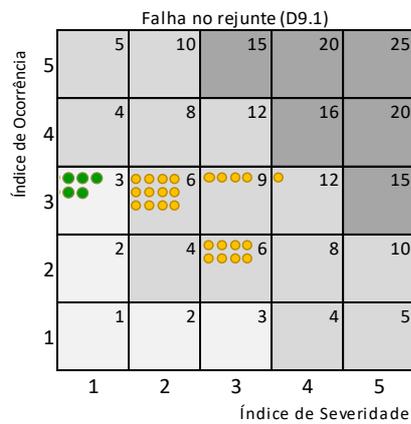
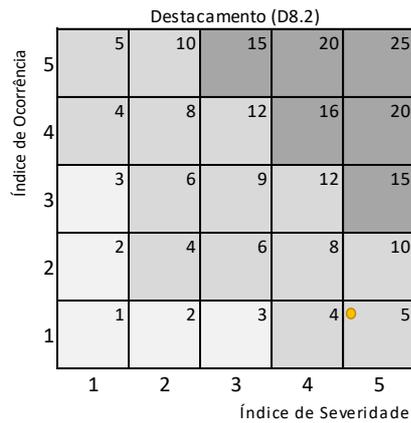
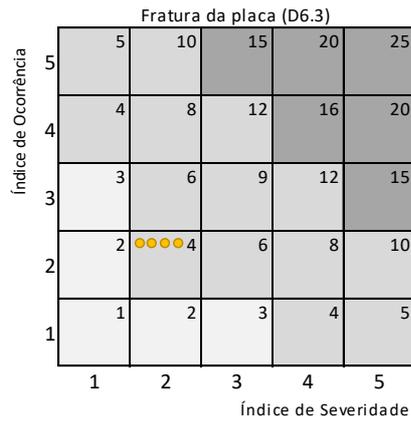
LEGENDA

- trecho com risco mínimo para o dano analisado ( $CR \leq 3$ )
- trecho com risco moderado para o dano analisado ( $3 < CR \leq 12$ )
- trecho com risco crítico para o dano analisado ( $12 < CR \leq 25$ )

**Análise de Criticidade para a Fachada Sudeste**

Figura 4.34: Matrizes de Criticidade para a Fachada Sudeste, danos D5.1, D6.1, D6.2.

Fonte: Autora, 2019.



30	1	4	4
29	0	4	0
28	0	4	0
27	0	4	0
26	0	4	0
25	0	4	0
24	0	4	0
23	1	4	4
22	0	4	0
21	0	4	0
20	1	4	4
19	0	4	0
18	0	4	0
17	0	4	0
16	0	4	0
15	0	4	0
14	0	4	0
13	0	4	0
12	0	4	0
11	0	4	0
10	0	4	0
9	0	4	0
8	0	4	0
7	0	4	0
6	0	4	0
5	0	4	0
4	0	4	0
3	0	4	0
2	1	4	4
1	0	4	0
Índices / Trecho			
Índice de Ocorrência (O)			
Índice de Severidade (S)			
Classe de Risco (CR)			

D6.3

30	0	5	0
29	0	5	0
28	0	5	0
27	1	5	5
26	0	5	0
25	0	5	0
24	0	5	0
23	0	5	0
22	0	5	0
21	0	5	0
20	0	5	0
19	0	5	0
18	0	5	0
17	0	5	0
16	0	5	0
15	0	5	0
14	0	5	0
13	0	5	0
12	0	5	0
11	0	5	0
10	0	5	0
9	0	5	0
8	0	5	0
7	0	5	0
6	0	5	0
5	0	5	0
4	0	5	0
3	0	5	0
2	0	5	0
1	0	5	0
Índices / Trecho			
Índice de Ocorrência (O)			
Índice de Severidade (S)			
Classe de Risco (CR)			

D8.2

30	2	3	6
29	3	3	9
28	3	3	9
27	2	3	6
26	1	3	3
25	1	3	3
24	2	3	6
23	2	3	6
22	1	3	3
21	2	3	6
20	2	3	6
19	2	3	6
18	2	3	6
17	2	3	6
16	2	3	6
15	1	3	3
14	2	3	6
13	2	3	6
12	2	3	6
11	3	3	9
10	1	3	3
9	2	3	6
8	2	3	6
7	2	3	6
6	3	3	9
5	2	3	6
4	2	3	6
3	2	3	6
2	2	3	6
1	4	3	12
Índices / Trecho			
Índice de Ocorrência (O)			
Índice de Severidade (S)			
Classe de Risco (CR)			

D9.1

30	2	3	6
29	2	3	6
28	2	3	6
27	2	3	6
26	2	3	6
25	2	3	6
24	2	3	6
23	2	3	6
22	2	3	6
21	2	3	6
20	2	3	6
19	2	3	6
18	2	3	6
17	2	3	6
16	2	3	6
15	2	3	6
14	2	3	6
13	2	3	6
12	2	3	6
11	2	3	6
10	2	3	6
9	2	3	6
8	2	3	6
7	2	3	6
6	2	3	6
5	2	3	6
4	2	3	6
3	2	3	6
2	2	3	6
1	3	3	9
Índices / Trecho			
Índice de Ocorrência (O)			
Índice de Severidade (S)			
Classe de Risco (CR)			

D9.2

- LEGENDA
- trecho com risco mínimo para o dano analisado (CR≤3)
  - trecho com risco moderado para o dano analisado (3<CR≤12)
  - trecho com risco crítico para o dano analisado (12<CR≤25)

**Análise de Criticidade para a Fachada Sudeste**

Figura 4.35: Matrizes de Criticidade para a Fachada Sudeste, danos D6.3, D8.2, D9.1, D9.2. Fonte: Autora, 2019.

### 4.2.3 Matrizes de Correlação

O próximo passo consistiu no desenvolvimento e análise das matrizes de correlação entre os 30 trechos e os 14 tipos de danos identificados no sistema, para cada empena (Figura 4.36; Figura 4.37) e as duas bordas respectivas (Figura 4.38; Figura 4.39).

		MATRIZ DE CORRELAÇÃO TRECHOS x DANOS - FACHADA NOROESTE													
TRECHOS	30	10	4	9	8	4	15	3	4	0	4	0	0	12	6
	29	8	0	9	6	4	9	0	4	0	0	0	0	12	6
	28	8	0	9	6	4	9	0	4	0	0	0	0	12	6
	27	8	0	9	8	2	9	3	4	0	0	0	0	9	6
	26	8	0	9	6	2	9	3	6	0	0	0	0	9	6
	25	6	0	9	6	2	9	3	4	0	0	0	0	9	6
	24	4	0	9	8	2	9	0	2	0	0	0	0	9	6
	23	6	0	6	6	2	6	0	4	0	0	0	0	6	6
	22	6	0	9	6	2	9	3	2	0	0	0	0	9	6
	21	8	0	6	4	2	3	3	2	0	0	0	0	12	6
	20	6	0	9	6	2	6	0	2	0	0	0	0	9	6
	19	4	0	6	6	0	6	3	2	0	0	0	0	9	6
	18	6	0	9	6	0	6	0	2	0	0	0	0	6	6
	17	8	0	9	6	2	9	3	2	0	0	0	0	12	6
	16	8	2	9	6	2	9	3	2	0	0	0	0	9	6
	15	6	0	9	8	2	6	3	2	0	0	4	0	9	6
	14	6	0	6	4	2	3	3	2	0	0	0	0	9	6
	13	6	0	9	8	0	3	3	2	0	4	0	0	9	6
	12	4	0	9	6	2	3	3	2	0	0	0	0	9	6
	11	4	0	9	6	2	3	3	2	0	0	0	0	9	6
	10	2	0	9	6	0	3	3	2	0	0	0	0	9	6
	9	4	0	6	6	0	6	3	4	0	0	0	0	12	6
	8	6	0	6	8	0	6	0	2	0	4	0	0	9	6
	7	2	0	6	6	0	3	3	6	4	0	0	0	12	6
	6	4	0	9	8	2	3	3	4	4	0	0	0	9	6
	5	4	0	9	6	0	3	3	4	4	0	0	0	9	6
	4	2	0	6	6	0	6	3	2	0	4	4	0	9	6
	3	2	0	6	8	2	9	3	2	4	4	0	0	9	6
	2	6	0	9	8	2	9	3	2	4	0	0	0	9	6
	1	10	2	15	10	10	12	6	4	16	4	0	0	12	6
	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.2	D4.1	D5.1	D6.1	D6.2	D6.3	D8.1	D8.2	D9.1	D9.2	

DANOS

#### LEGENDA:

<span style="background-color: #90EE90; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span>	Risco mínimo: $CR \leq 3$
<span style="background-color: #FFD700; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span>	Risco moderado: $3 < CR \leq 12$
<span style="background-color: #FF6347; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span>	Risco crítico: $12 < CR \leq 25$
<span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span>	Dx.y não há danos visíveis

Figura 4.36: Matriz de correlação entre trechos e danos para a fachada Noroeste.  
Fonte: Autora, 2019.

MATRIZ DE CORRELAÇÃO TRECHOS x DANOS - FACHADA SUDESTE															
TRECHOS	30	6	0	9	10	6	12	3	6	0	4	0	0	6	6
	29	2	2	9	8	4	6	0	4	0	0	0	0	9	6
	28	4	0	9	6	2	6	3	4	0	0	0	0	9	6
	27	2	0	9	6	2	3	3	2	0	0	0	5	6	6
	26	4	2	6	6	0	6	3	2	0	0	0	0	3	6
	25	2	2	6	6	0	6	0	2	0	0	0	0	3	6
	24	2	2	9	6	2	6	0	2	0	0	0	0	6	6
	23	2	0	6	6	2	3	3	2	4	4	0	0	6	6
	22	2	2	6	6	0	3	3	2	0	0	0	0	3	6
	21	0	0	6	6	0	3	3	2	0	0	0	0	6	6
	20	4	2	9	6	0	6	3	0	0	4	0	0	6	6
	19	4	0	9	6	2	3	0	0	4	0	0	0	6	6
	18	2	0	9	6	2	3	3	2	0	0	0	0	6	6
	17	4	0	9	6	2	3	3	2	0	0	0	0	6	6
	16	4	0	9	2	2	3	0	0	0	0	0	0	6	6
	15	2	2	9	6	2	3	0	2	4	0	0	0	3	6
	14	2	2	9	8	2	3	3	4	4	0	0	0	6	6
	13	4	0	9	6	2	3	0	2	4	0	0	0	6	6
	12	2	0	9	8	0	3	3	4	0	0	0	0	6	6
	11	2	0	9	6	2	3	3	2	0	0	0	0	9	6
	10	0	0	6	8	0	3	0	2	0	0	0	0	3	6
	9	4	0	9	6	0	6	0	2	0	0	0	0	6	6
	8	2	0	6	6	0	6	0	2	0	0	0	0	6	6
	7	4	0	6	8	2	6	0	6	4	0	0	0	6	6
	6	6	0	6	8	0	3	0	4	0	0	0	0	9	6
	5	4	2	6	8	2	3	3	2	0	0	0	0	6	6
	4	2	2	6	6	2	6	3	4	0	0	0	0	6	6
	3	2	0	6	6	2	6	3	2	4	0	0	0	6	6
	2	2	0	6	6	2	6	3	4	4	4	0	0	6	6
	1	10	2	9	10	8	12	3	2	4	0	0	0	12	9
		D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.2	D4.1	D5.1	D6.1	D6.2	D6.3	D8.1	D8.2	D9.1	D9.2
		DANOS													

## LEGENDA:

- Risco mínimo:  $CR \leq 3$
- Risco moderado:  $3 < CR \leq 12$
- Risco crítico:  $12 < CR \leq 25$
- DX.y** não há danos visíveis

Figura 4.37: Matriz de correlação entre trechos e danos para fachada Sudeste.  
Fonte: Autora, 2019.

**MATRIZ DE CORRELAÇÃO TRECHOS x DANOS  
FACHADA NOROESTE - BORDA NORDESTE**

TRECHOS	30	10	0	0	0	0	0	0	3	3
	29	8	3	2	0	0	6	0	3	3
	28	4	9	4	0	3	6	0	6	3
	27	10	3	10	0	3	6	0	3	3
	26	8	9	4	0	0	2	0	3	3
	25	10	6	2	0	6	6	0	3	3
	24	8	9	4	0	0	0	0	3	3
	23	6	6	4	0	0	6	0	3	3
	22	10	9	4	0	0	0	0	3	3
	21	10	3	4	0	0	0	0	3	3
	20	6	6	6	0	0	0	0	6	3
	19	4	3	2	0	0	0	0	3	3
	18	6	3	2	0	0	0	0	0	3
	17	6	6	2	0	0	0	0	3	3
	16	10	6	6	0	0	6	0	3	3
	15	6	3	8	0	0	2	0	0	3
	14	4	3	2	0	0	0	0	3	3
	13	4	3	4	0	0	0	20	0	3
	12	6	3	6	12	0	0	0	6	3
	11	10	3	6	0	0	0	0	3	3
	10	4	3	6	0	3	0	15	3	3
	9	4	3	4	3	0	4	0	3	3
	8	6	3	2	6	0	2	0	3	3
	7	6	6	0	3	0	2	0	3	3
	6	4	6	4	0	0	0	0	3	3
	5	6	3	0	3	3	4	0	0	3
	4	6	6	4	0	0	0	0	6	3
	3	4	0	0	0	0	0	0	3	3
	2									
	1									
		D1.2	D1.4	D1.5	D4.1	D5.1	D6.1	D8.2	D9.1	D9.2

DANOS

(a)

**MATRIZ DE CORRELAÇÃO TRECHOS x DANOS  
FACHADA NOROESTE - BORDA SUDOESTE**

TRECHOS	30	10	0	0	0	0	6	0	3	3
	29	10	3	2	0	0	0	0	3	3
	28	10	9	2	0	0	0	0	6	3
	27	10	3	2	0	3	0	0	3	3
	26	6	3	6	9	0	4	0	3	3
	25	10	3	4	0	0	0	0	3	3
	24	6	9	8	12	3	0	0	0	3
	23	10	6	6	3	3	0	0	3	3
	22	10	3	6	0	0	0	0	6	3
	21	6	3	6	0	0	0	0	3	3
	20	6	3	2	3	0	0	0	3	3
	19	6	3	2	9	3	0	0	0	3
	18	8	6	2	0	3	0	0	0	3
	17	10	6	2	0	3	2	0	3	3
	16	10	0	8	12	0	2	0	0	3
	15	10	3	0	0	3	0	0	0	3
	14	6	3	2	0	0	0	0	3	3
	13	6	3	2	0	0	0	0	0	3
	12	10	3	2	0	0	0	0	0	3
	11	10	3	2	0	0	0	0	0	3
	10	10	3	0	0	0	0	0	3	3
	9	10	3	2	0	0	0	0	0	3
	8	10	3	2	0	0	0	0	3	3
	7	6	3	2	0	0	0	0	0	3
	6	8	3	2	0	0	0	0	0	3
	5	10	9	2	0	0	0	0	0	3
	4	10	0	6	0	0	0	20	0	3
	3	6	0	0	0	0	0	0	0	3
	2	4	3	2	0	0	0	0	0	3
	1	10	12	8	0	0	0	0	9	3
		D1.2	D1.4	D1.5	D4.1	D5.1	D6.1	D8.2	D9.1	D9.2

DANOS

(b)

**LEGENDA:**

- Risco mínimo:  $CR \leq 3$
- Risco moderado:  $3 < CR \leq 12$
- Risco crítico:  $12 < CR \leq 25$
- DX.y não há danos visíveis

Figura 4.38: Matrizes de correlação entre trechos e danos para as bordas da fachada Noroeste: a) borda Nordeste; b) borda Sudoeste. Fonte: Autora, 2019.

**MATRIZ DE CORRELAÇÃO TRECHOS x DANOS**  
FACHADA SUDESTE - BORDA SUDOESTE

TRECHOS	30	10	9	10	15	0	0	0	0	15	3
29	8	9	6	0	0	0	0	0	0	6	3
28	0	9	8	0	0	0	0	0	0	6	3
27	8	15	10	0	9	0	0	0	0	12	3
26	10	6	10	12	0	0	0	0	0	9	3
25	0	15	10	15	0	0	0	0	0	9	3
24	8	15	10	0	0	0	0	0	0	9	3
23	0	15	10	9	0	0	0	0	0	9	3
22	8	6	10	12	0	8	0	0	0	12	3
21	10	3	10	12	0	0	0	0	0	6	3
20	8	15	10	0	0	6	0	0	0	6	3
19	10	6	10	12	0	8	0	0	0	9	3
18	8	0	10	0	0	0	0	0	0	3	3
17	8	6	4	0	0	0	0	0	0	9	3
16	4	3	4	6	0	0	0	0	0	6	3
15	4	9	6	9	0	0	0	0	0	0	3
14	4	9	6	6	0	0	0	0	0	3	3
13	8	3	4	0	0	0	0	0	0	3	3
12	10	3	4	0	0	0	0	0	0	3	3
11	6	3	2	0	0	0	0	0	0	3	3
10	0	3	2	0	0	0	0	0	0	3	3
9	4	0	10	3	0	0	0	0	0	3	3
8	0	9	8	6	0	0	0	0	0	3	3
7	4	12	8	9	0	0	0	0	0	0	3
6	6	9	8	0	0	0	0	0	0	3	3
5	6	6	8	6	0	0	0	0	0	3	3
4	4	3	2	0	0	0	0	0	0	3	3
3	6	3	2	0	0	0	0	0	0	3	3
2	4	3	2	9	0	0	0	0	0	0	3
1	10	6	6	9	0	0	0	0	0	3	3
	D1.2	D1.4	D1.5	D4.1	D5.1	D6.1	D6.3	D8.2	D9.1	D9.2	

DANOS

(a)

**MATRIZ DE CORRELAÇÃO TRECHOS x DANOS**  
FACHADA SUDESTE - BORDA NORDESTE

TRECHOS	30	10	0	6	0	0	0	6	0	0	3
29	8	15	10	0	0	0	0	0	0	12	3
28	0	12	8	0	0	0	0	0	0	9	3
27	0	9	8	0	0	0	0	25	6	6	3
26	10	6	6	0	0	0	0	0	0	0	3
25	10	9	8	0	0	0	0	0	0	6	3
24	10	12	8	0	0	0	0	0	0	9	3
23	10	12	10	15	0	0	0	0	0	9	3
22	8	12	10	0	0	0	0	0	0	9	3
21	10	6	4	9	0	0	0	0	0	0	3
20	10	9	6	0	0	0	0	0	0	6	3
19	10	6	8	12	0	6	0	0	0	0	3
18	10	0	10	15	0	0	0	0	0	0	3
17	8	3	8	9	0	0	0	0	0	0	3
16	10	6	8	6	0	0	0	0	0	3	3
15	10	6	2	0	0	0	0	0	0	3	3
14	10	3	6	0	0	0	0	0	0	3	3
13	10	3	2	0	0	0	0	0	0	3	3
12	0	3	6	3	0	0	0	0	0	3	3
11	6	3	4	3	0	0	0	0	0	0	3
10	0	3	4	0	0	0	0	0	0	0	3
9	10	3	2	0	3	2	0	0	0	0	3
8	6	0	0	0	0	0	0	0	0	6	3
7	6	3	2	0	0	0	0	0	0	6	3
6	10	3	4	0	0	0	0	0	0	3	3
5	10	3	6	0	0	0	0	0	0	3	3
4	0	3	2	0	0	0	0	0	0	3	3
3	0	3	2	0	0	0	0	0	0	0	3
2	4	0	0	0	0	4	0	0	0	3	3
1	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	3
	D1.2	D1.4	D1.5	D4.1	D5.1	D6.1	D6.3	D8.2	D9.1	D9.2	

DANOS

(b)

**LEGENDA:**

- Risco mínimo:  $CR \leq 3$
- Risco moderado:  $3 < CR \leq 12$
- Risco crítico:  $12 < CR \leq 25$
- DX.y não há danos visíveis

Figura 4.39: Matrizes de correlação entre trechos e danos para as bordas da fachada Sudeste: a) borda Sudoeste; b) borda Nordeste. Fonte: Autora, 2019.

Em uma análise descritiva, as matrizes de correlação mostram uma distribuição aparentemente homogênea dos danos nas fachadas. Contudo, há indícios de uma concentração daqueles de maior criticidade nos trechos de embasamento e de topo de cada empena. As bordas da fachada Sudeste, particularmente, evidenciam uma concentração de danos de maior CR a partir do 20º pavimento para cima.

A partir da análise das matrizes, é possível notar que há tipos de danos para os quais se verificou pouca ou nenhuma ocorrência, tais como: pátina artificial/pintura localizada/vandalismo (D1.1), colonização biológica por plantas (D2.1), desagregação da placa (D3.1) e deformação (D7.1), estes

sem nenhuma ocorrência visível nas empenas ou nas bordas; e fratura da placa (D6.3), descolamento (D8.1) e destacamento (D8.2), de ocorrência eventual ou muito baixa.

Adicionalmente, foram elaboradas as matrizes de correlação entre os 30 trechos e os quatro tipos de intervenções: substituição de placa (I1.1), reparo em mármore ou prótese (I1.2), reparo não adequado (I1.3) e interferências de pinos, parafusos, componentes das instalações prediais etc (I1.4). Nestes gráficos, o valor considerado consiste no Índice de Ocorrência (O), uma vez que as intervenções não são analisadas quanto à gravidade e não se pode obter, assim, a Classe de Risco (CR) correspondente (Figura 4.40).

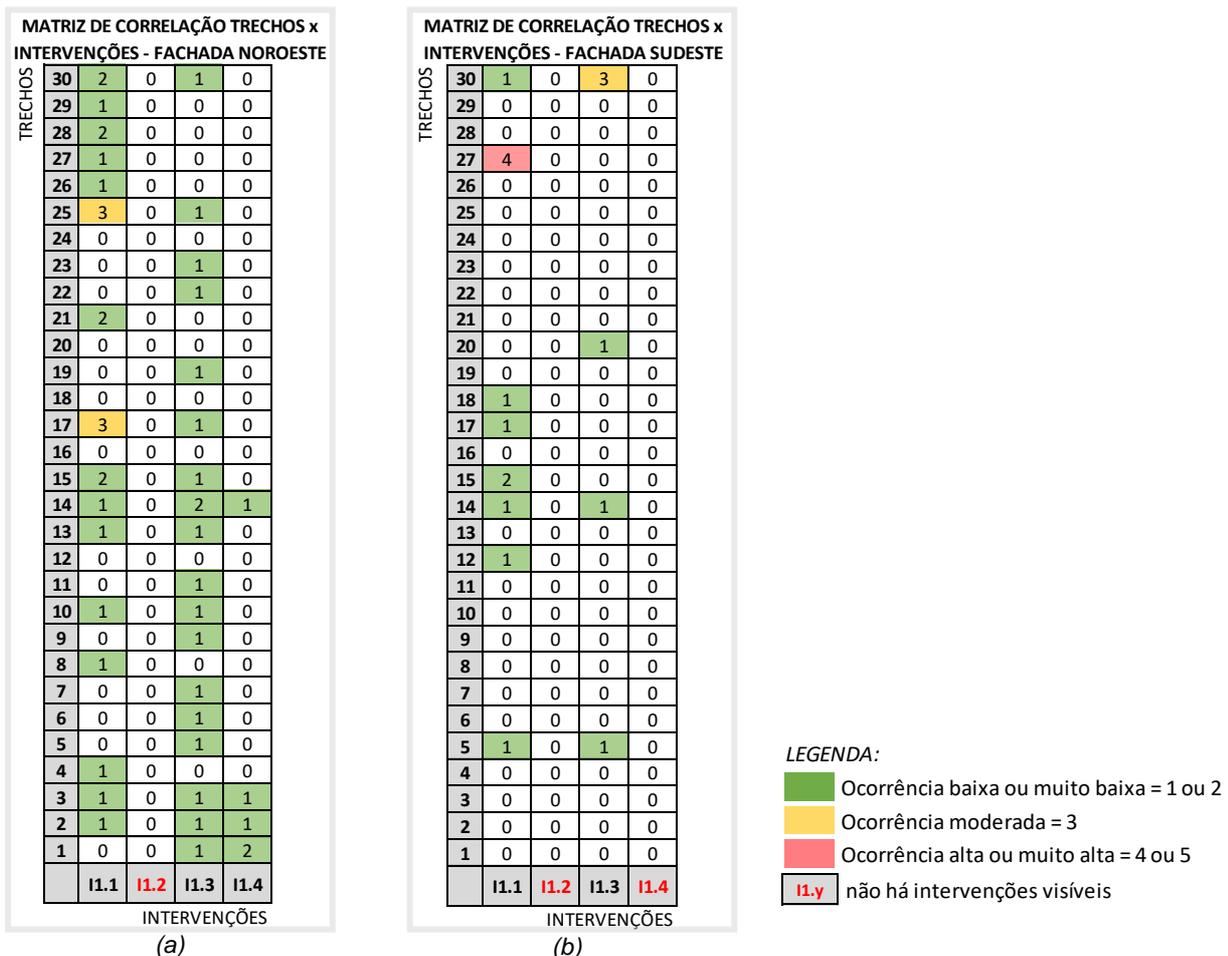


Figura 4.40: Matrizes de correlação entre trechos e intervenções: a) fachada Noroeste; b) fachada Sudeste. Fonte: Autora, 2019.

Por fim, tanto as matrizes de criticidade quanto as de correlação facilitaram a visualização das informações coletadas e o comportamento do sistema. Principalmente, essas ferramentas contribuíram para a organização do banco de dados sobre o caso em estudo.

#### 4.2.4 Testes Estatísticos

Frente a grande quantidade de dados obtidos, testes estatísticos paramétricos e não paramétricos foram realizados para subsidiar a análise. O objetivo foi identificar diferenças entre trechos e

criticidade de dano em uma mesma fachada, e em comparação uma com a outra, utilizando-se, para tanto, testes de comparações múltiplas e estudos de correlações.

A base de dados é composta das informações relativas à Classe de Risco (CR) dos danos em 30 trechos das duas fachadas do Palácio do Congresso Nacional, Noroeste e Sudeste, cada qual com duas bordas – Nordeste e Sudoeste. Para as análises e os testes estatísticos, foram consideradas três situações, que permitiram verificar se existem diferenças significativas entre trechos e entre agrupamentos de trechos<sup>1</sup> (Figura 4.41):

- trecho a trecho, considerando separadamente os 30 trechos de cada fachada;
- agrupamento com três trechos, o que resultou em 9 agrupamentos (Gr\_1);
- agrupamento com seis trechos, o que resultou em 5 agrupamentos (Gr\_2).

Partindo da hipótese de que os trechos 15, 16 e 17 pudessem apresentar maior criticidade de danos, uma vez que nesses pavimentos ocorre a ligação por passarelas entre as duas torres, optou-se por mantê-los agrupados nas análises, o que levou, no caso do Gr\_1, a um agrupamento intermediário de seis itens, conforme se observa na Figura 4.41.

MATRIZ DE CORRELAÇÃO TRECHOS x DANOS - FACHADA NOROESTE															Gr_1	Gr_2		
TRECHOS	30	10	4	9	8	4	15	3	4	0	4	0	0	12	6	9	5	
	29	8	0	9	6	4	9	0	4	0	0	0	0	12	6	9	5	
	28	8	0	9	6	4	9	0	4	0	0	0	0	12	6	9	5	
	27	8	0	9	8	2	9	3	4	0	0	0	0	9	6	8	5	
	26	8	0	9	6	2	9	3	6	0	0	0	0	9	6	8	5	
	25	6	0	9	6	2	9	3	4	0	0	0	0	9	6	8	5	
	24	4	0	9	8	2	9	0	2	0	0	0	0	9	6	7	4	
	23	6	0	6	6	2	6	0	4	0	0	0	0	6	6	7	4	
	22	6	0	9	6	2	9	3	2	0	0	0	0	9	6	7	4	
	21	8	0	6	4	2	3	3	2	0	0	0	0	12	6	6	4	
	20	6	0	9	6	2	6	0	2	0	0	0	0	9	6	6	4	
	19	4	0	6	6	0	6	3	2	0	0	0	0	9	6	6	4	
	18	6	0	9	6	0	6	0	2	0	0	0	0	6	6	5	3	
	17	8	0	9	6	2	9	3	2	0	0	0	0	12	6	5	3	
	16	8	2	9	6	2	9	3	2	0	0	0	0	9	6	5	3	
	15	6	0	9	8	2	6	3	2	0	0	4	0	9	6	5	3	
	14	6	0	6	4	2	3	3	2	0	0	0	0	9	6	5	3	
	13	6	0	9	8	0	3	3	2	0	4	0	0	9	6	5	3	
	12	4	0	9	6	2	3	3	2	0	0	0	0	9	6	4	2	
	11	4	0	9	6	2	3	3	2	0	0	0	0	9	6	4	2	
	10	2	0	9	6	0	3	3	2	0	0	0	0	9	6	4	2	
	9	4	0	6	6	0	6	3	4	0	0	0	0	12	6	3	2	
	8	6	0	6	8	0	6	0	2	0	4	0	0	9	6	3	2	
	7	2	0	6	6	0	3	3	6	4	0	0	0	12	6	3	2	
	6	4	0	9	8	2	3	3	4	4	0	0	0	9	6	2	1	
	5	4	0	9	6	0	3	3	4	4	0	0	0	9	6	2	1	
	4	2	0	6	6	0	6	3	2	0	4	4	0	9	6	2	1	
	3	2	0	6	8	2	9	3	2	4	4	0	0	9	6	1	1	
	2	6	0	9	8	2	9	3	2	4	0	0	0	9	6	1	1	
	1	10	2	15	10	10	12	6	4	16	4	0	0	12	6	1	1	
		D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.2	D4.1	D5.1	D6.1	D6.2	D6.3	D8.1	D8.2	D9.1	D9.2			
		DANOS																

**LEGENDA**

- Agrupamento Gr\_1
- Agrupamento Gr\_2
- Trechos que correspondem aos pavimentos que contêm as passarelas de ligação entre as torres

Figura 4.41: Agrupamentos Gr\_1 e Gr\_2, exemplificados para a fachada Noroeste. Fonte: Autora, 2019.

<sup>1</sup> A obtenção de uma média para o valor de Classe de Risco (CR) foi necessária nas análises trecho a trecho, devido à existência, em cada trecho, de diversos danos, cada qual com um valor de CR. As médias das CR, por trechos e por agrupamento de trechos (Gr\_1), constam no Apêndice D.

Os histogramas produzidos na análise exploratória para o agrupamento Gr\_2 foram menos representativos da criticidade dos danos no sistema quando comparados às outras duas situações analisadas (provavelmente devido a uma menor quantidade de grupos analisados). Além disso, os resultados dos testes estatísticos obtidos para os dois agrupamentos – Gr\_1 e Gr\_2, foram similares. Esses motivos conduziram à decisão de se considerar somente os resultados das análises para o agrupamento Gr\_2.

Adicionalmente, foram realizadas análises para as bordas de dois modos: trecho a trecho e por meio do agrupamento Gr\_1. Os dados para as bordas de mesma orientação solar foram agrupados, como modo de se obter análises mais representativas.

O programa *R Language and Environment for Statistical and Computing*, versão 3.6.0 para Windows (R Core Team, 2019) foi a ferramenta adotada para as análises dos dados. Considerou-se, em todas as análises, um nível de significância de 5% para os testes estatísticos, ou seja, diferenças foram consideradas estatisticamente significativas quando o valor de significância foi menor do que 0,05 ( $P\text{-valor} < 0,05$ ).

As análises e os resultados que melhor representam o estado de conservação do caso em estudo e favorecem as discussões e o atendimento aos objetivos da pesquisa estão relacionados a seguir.

#### a) *Análise da Classe de Risco trecho a trecho*

Para a análise considerando todos os 30 trechos de cada fachada, foi produzido o histograma da distribuição da Classe de Risco (CR) independente da fachada (Figura 4.42).

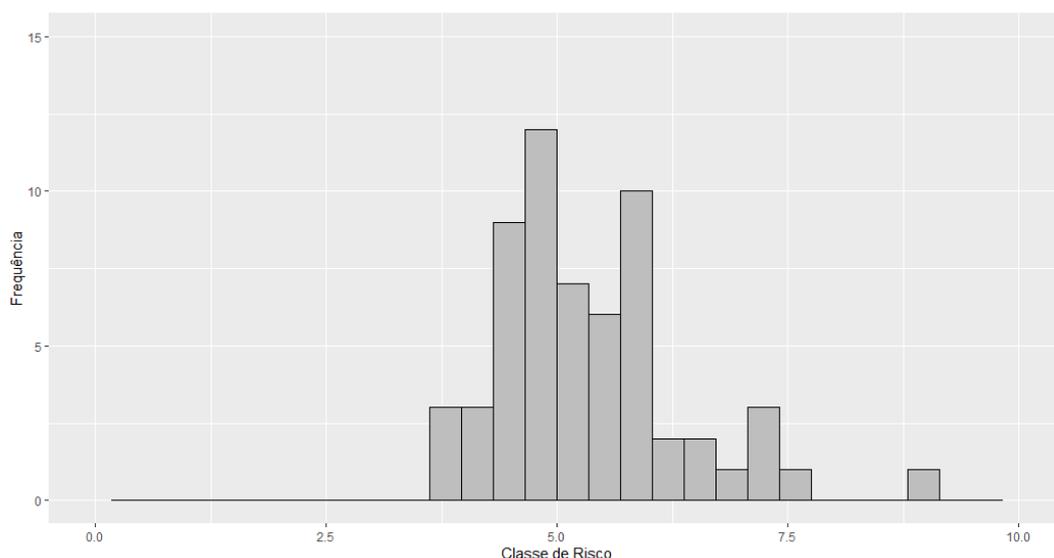


Figura 4.42: Histograma da Classe de Risco para as fachadas Noroeste e Sudeste.  
Fonte: Autora, 2019.

No histograma, tem-se a variação das médias encontradas para as Classes de Risco de danos, ficando evidente que há uma frequência maior na faixa em torno de 5,0, que pode ser considerada de risco moderado.

Na sequência, são trazidos os Boxplots com a variação da criticidade de dano segundo o trecho (Figura 4.43) e a fachada (Figura 4.44).

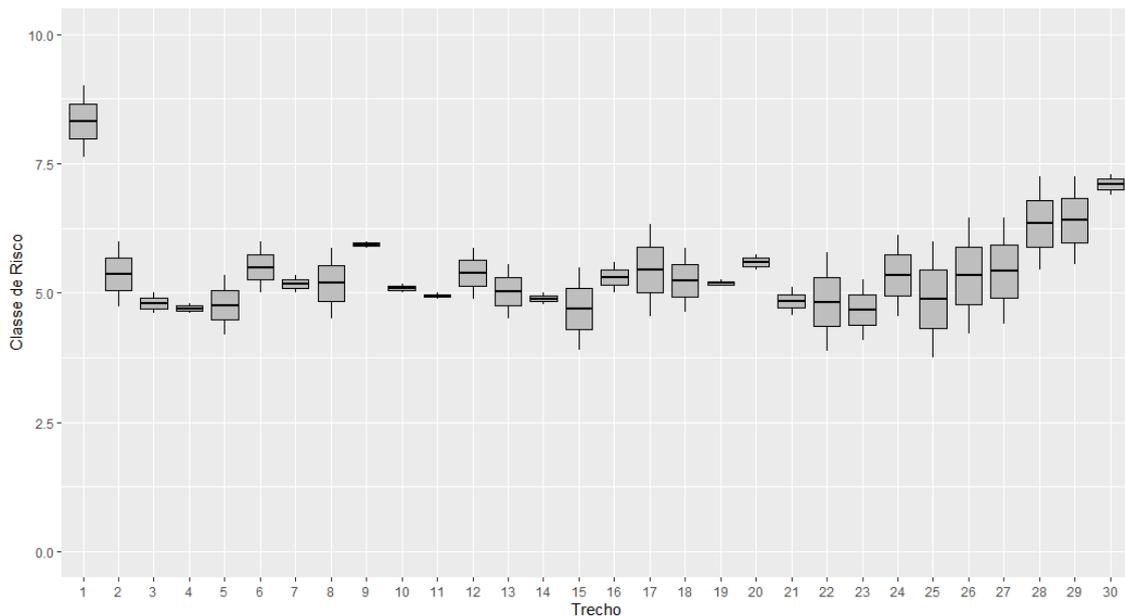


Figura 4.43: Boxplot da Classe de Risco por trecho, fachadas Noroeste e Sudeste.  
Fonte: Autora, 2019.

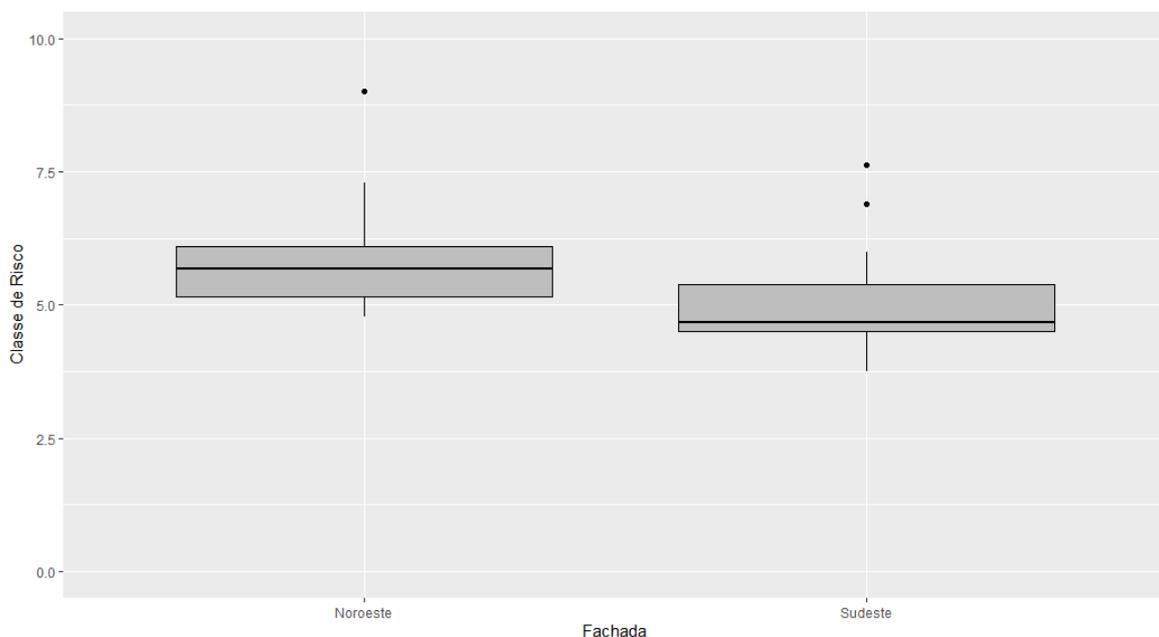


Figura 4.44: Boxplot da Classe de Risco por fachada.  
Fonte: Autora, 2019.

Quando analisada a Classe de Risco trecho a trecho, independente da fachada (Figura 4.43), nota-se uma elevação dos valores de CR no primeiro trecho (embasamento), no último (topo) e nos

trechos que o antecedem. Observa-se, portanto, o comportamento do edifício alto, com o aumento da variabilidade da CR e dos valores quanto mais altos os pavimentos. Ao se analisar a CR para cada fachada separadamente (Figura 4.44), nota-se que a fachada Noroeste apresenta maiores valores de criticidade do que a Sudeste.

Os Boxplots com a variação da Classe de Risco segundo o tipo de dano são mostrados a seguir (Figura 4.45; Figura 4.46). Eles evidenciam a variação da criticidade para um mesmo dano segundo a fachada.

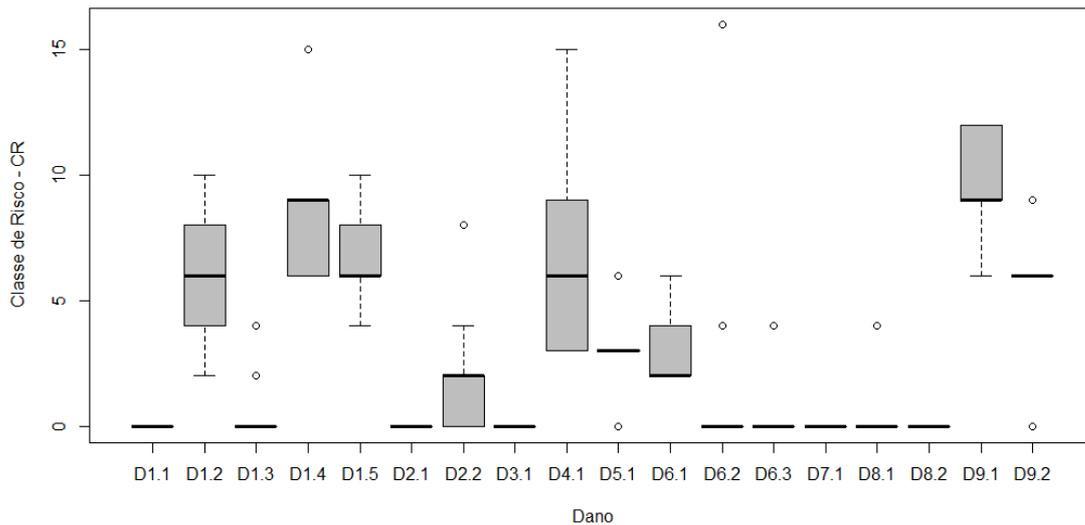


Figura 4.45: Boxplot da Classe de Risco por tipo de dano para a fachada Noroeste.  
Fonte: Autora, 2019.

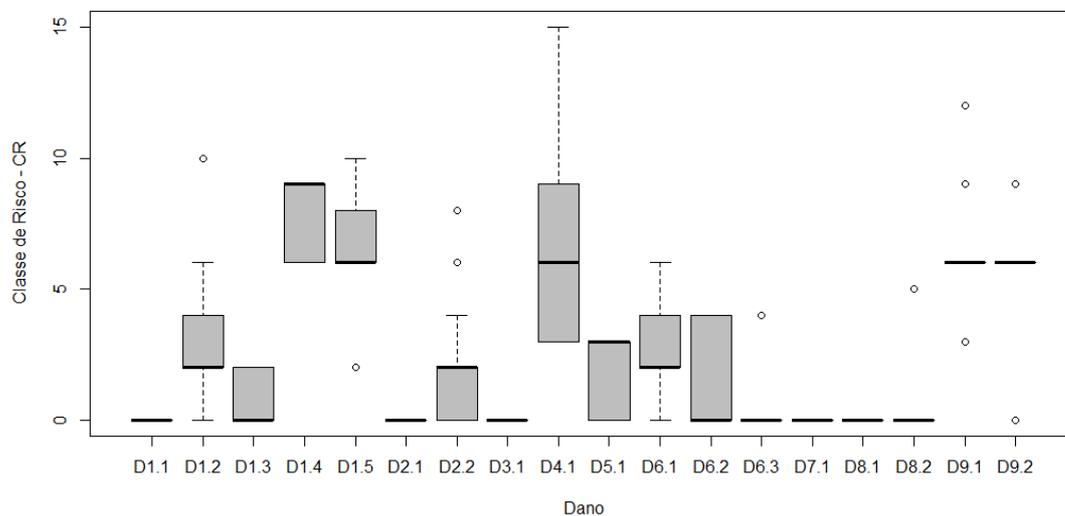


Figura 4.46: Boxplot da Classe de Risco por tipo de dano para a fachada Sudeste.  
Fonte: Autora, 2019.

Nesta análise, foram considerados todos os danos, inclusive aqueles sem ocorrência (CR = 0), que se apresentam como uma linha no gráfico, tais como desagregação (D3.1) e deformação (D7.1) em ambas as fachadas. Pode-se inferir desses gráficos que as manifestações patológicas preponderantes são desgaste na superfície (D4.1), com variabilidade e distribuição semelhante nas

duas fachadas, seguido de eflorescência (D1.4), mancha de umidade (D1.2) e depósito escuro ou sujidade (D1.5). Por fim, falha no rejunte (D9.1) apresenta valores mais elevados de criticidade na fachada Noroeste.

Foram realizados, ainda, testes de comparações múltiplas, a fim de se verificar a existência de diferenças quanto ao risco entre fachadas e trechos. Para adotar o teste paramétrico de Análise de Variância (Anova), deve-se atender aos critérios de normalidade e de variância constante dos resíduos. Quando não se verifica, adota-se teste não paramétrico, considerando como variáveis dependentes os valores de Classe de Risco (CR), e como variáveis independentes a orientação (fachada) e o andar (trecho). O teste não paramétrico Kruskal Wallis é demonstrado na Tabela 4.2, que evidencia não haver diferença entre trechos, mas que há diferença quanto à criticidade dos danos entre as fachadas, uma vez que resultou em um P-valor  $< 0,05$ .

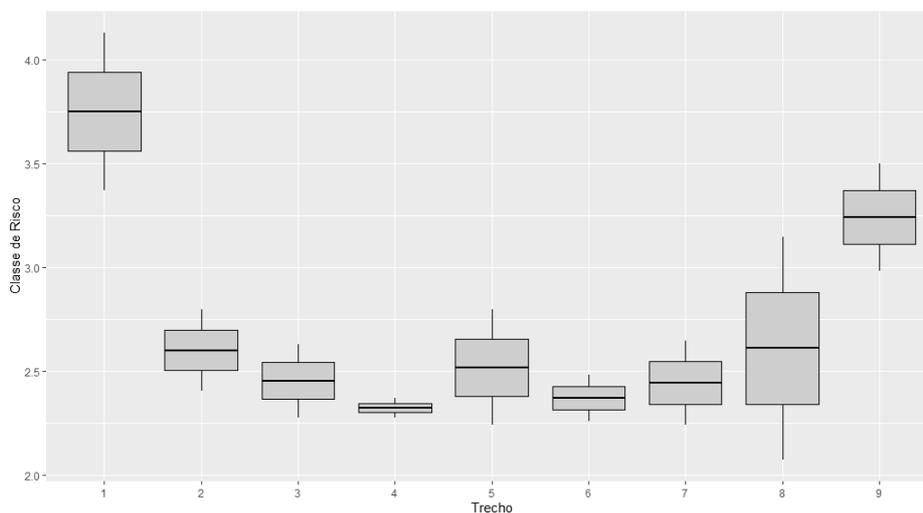
*Tabela 4.2: Teste de Kruskal Wallis de comparação Das Classes de Risco entre Fachadas e Trechos.*

Fonte de Variação	P-valor
Fachada	<b>0,0001</b>
Trecho	0,7325

*Fonte: Autora, 2019.*

#### *b) Análise da Classe de Risco para o agrupamento Gr\_1*

Na análise do agrupamento Gr\_1, foi produzido gráfico do tipo Boxplot, que relaciona a Classe de Risco aos nove agrupamentos de trecho – Agrupamento Gr\_1 (Figura 4.47).



*Figura 4.47: Boxplot da Classe de Risco por trechos (Agrupamento Gr\_1), fachadas Noroeste e Sudeste. Fonte: Autora, 2019.*

Em comparação à Figura 4.43 – análise trecho a trecho, o gráfico acima mostra de maneira mais perceptível o aumento da criticidade nas regiões do embasamento, seguidas do topo e trechos contínuos – primeiramente ao topo e depois ao embasamento. O agrupamento 5, que contém os pavimentos com as passarelas de ligação entre as torres, também apresenta variação com valores

de risco mais elevados em comparação aos trechos próximos, o que pode ser resultado do comportamento estrutural do edifício.

Em seguida, foram realizados os testes de comparações múltiplas da Classe de Risco nas fachadas e trechos para o agrupamento Gr\_1. Primeiramente se testou a Anova, que testa se há diferenças entre os grupos analisados, segundo consta na Tabela 4.3.

*Tabela 4.3: Anova da Classe de Risco por trecho e fachada (Agrupamento Gr\_1).*

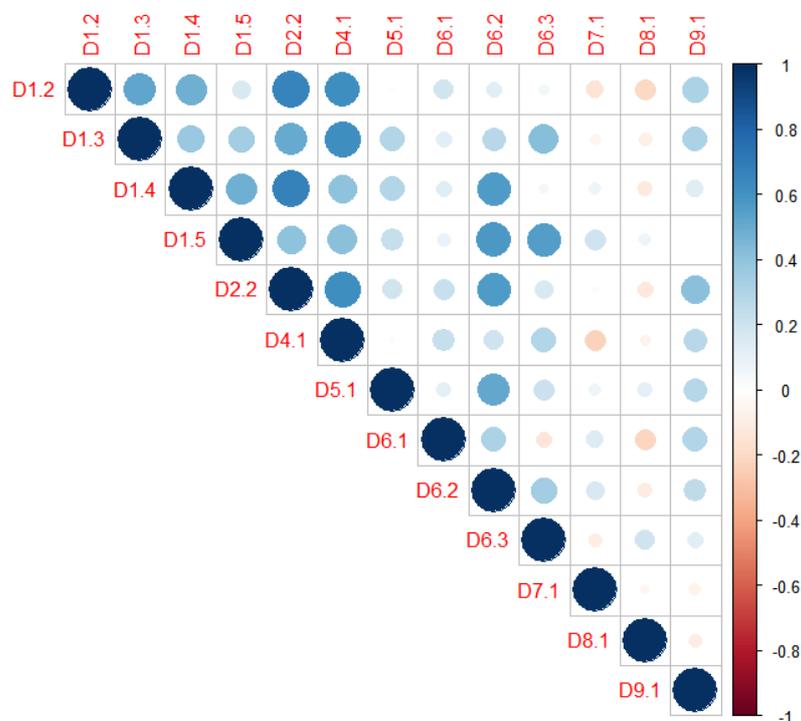
Fonte de Variação	P-valor
Trecho	0,6834
Fachada	<b>0,0241</b>
Interação Trecho x Fachada	0,2523
Resíduos	-

*Fonte: Autora, 2019*

O teste aponta que há diferença entre fachadas ( $P\text{-valor} < 0,05$ ), sendo que o teste de normalidade para os resíduos não rejeitou a hipótese de normalidade. Portanto, pode-se afirmar que há diferenças significativas dos trechos entre fachadas com relação à criticidade, o que confirma os achados anteriores.

### *c) Análise de Correlação para as fachadas Noroeste e Sudeste*

A Análise de Correlação de Pearson foi aplicada para os dados referentes ao dano e à Classe de Risco segundo cada fachada, gerando os mapas de correlação (Figura 4.48; Figura 4.49).



*Figura 4.48: Mapa de correlação entre os tipos de danos para a fachada Noroeste.*  
*Fonte: Autora, 2019.*

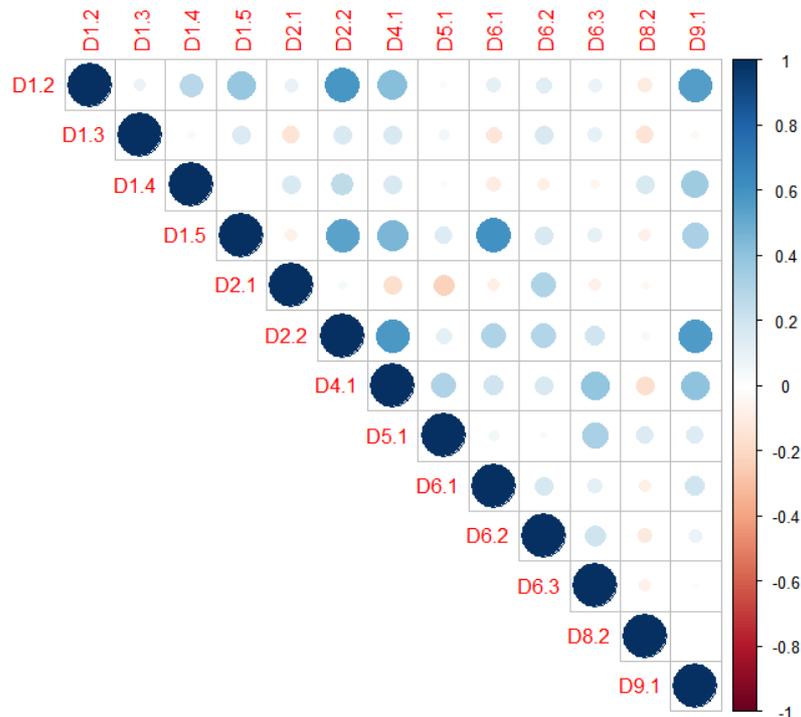


Figura 4.49: Mapa de correlação entre os tipos de danos para a fachada Sudeste.  
Fonte: Autora, 2019.

Os gráficos acima expressam as intensidades de correlação entre os diferentes tipos de danos, por meio da cor e do tamanho do círculo. Quanto mais forte o azul e maior o círculo, mais intensa é a correlação positiva, ou seja, quando um dano aumenta, o outro também aumenta, e quanto mais forte o tom do vermelho e maior a marcação, maior a correlação negativa ou inversa (quando um dano aumenta, o outro diminui).<sup>2</sup>

O mapa de correlação entre os tipos de danos relativo à fachada Noroeste (Figura 4.48), indica forte correlação entre mancha de umidade (D1.2) e os danos colonização biológica por microrganismos (D2.2), que por sua vez possui correlação intensa também com eflorescências (D1.4).

Para a fachada Sudeste (Figura 4.49), destaca-se a correlação intensa entre mancha de umidade (D1.2) e colonização biológica por microrganismos (D2.2) e falha no rejunte (D9.1), além do dano de depósitos escuros (D1.5) e fissura contida na placa (D6.1).

Ao comparar os mapas de correlação entre as duas fachadas, a Noroeste apresenta indícios de correlação positiva mais intensa entre os danos.

<sup>2</sup> Na produção dos mapas, foram desconsiderados os dados de danos sem ocorrência (CR = 0): D1.1, D2.1, D3.1, D8.1 para a fachada Noroeste (Figura 4.48); e D1.1, D3.1, D7.1, D8.1 para a fachada Sudeste (Figura 4.49). Além disso, foram suprimidos os dados referentes ao dano D9.2 (falha na junta de movimentação), que quando incluído, apresentava correlação muito baixa com os demais, o que se julgou não refletir a realidade do caso em estudo.

d) *Análise da Classe de Risco para as bordas*

Foram realizados os mesmos testes das análises anteriores, dessa vez considerando as bordas. Para tanto, adotou-se a análise trecho a trecho e por agrupamento de trechos do tipo Gr\_1. Para a produção dos gráficos das Figuras 4.50 a 4.54, que contêm histogramas da Classe de Risco nas bordas, independente da fachada e para cada uma delas (Noroeste e Sudeste), foram adotados os dados trecho a trecho.

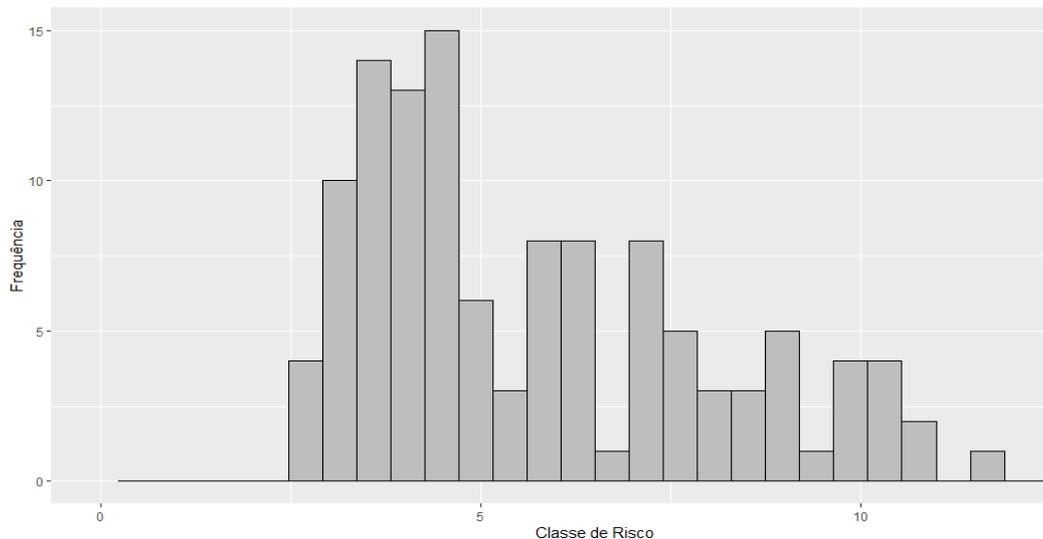


Figura 4.50: Histograma da Classe de Risco nas bordas, independente da fachada (Análise trecho a trecho).  
Fonte: Autora, 2019

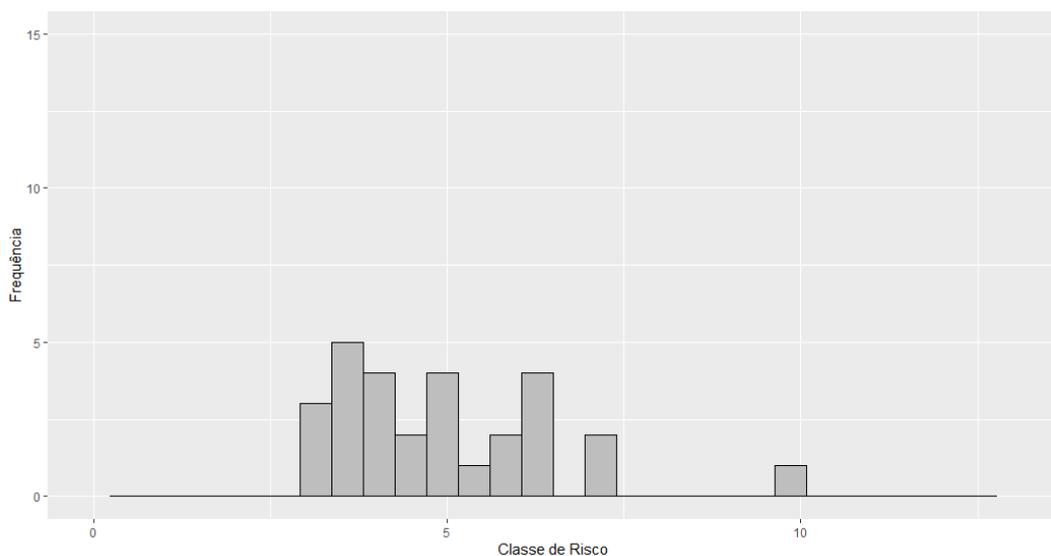


Figura 4.51: Histograma da Classe de Risco na borda NE da fachada Noroeste (Análise trecho a trecho).  
Fonte: Autora, 2019

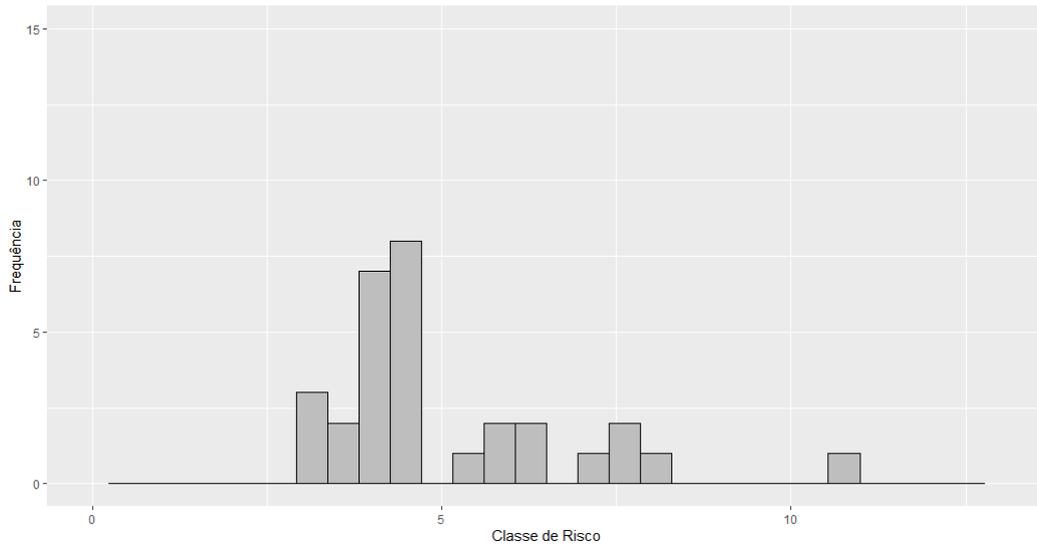


Figura 4.52: Histograma da Classe de Risco na borda SO da fachada Noroeste (Análise trecho a trecho).  
Fonte: Autora, 2019

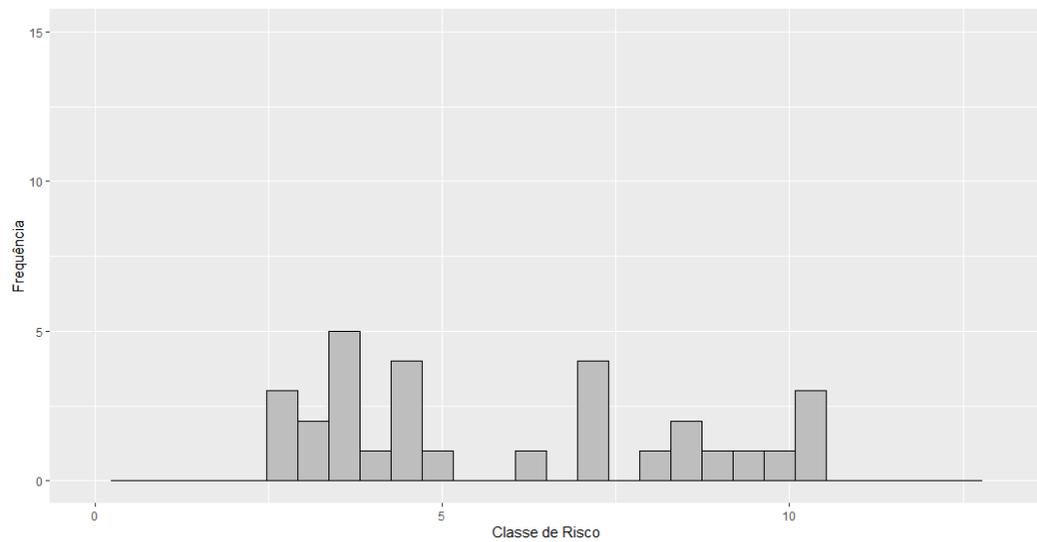


Figura 4.53: Histograma da Classe de Risco na borda NE da fachada Sudeste (Análise trecho a trecho).  
Fonte: Autora, 2019.

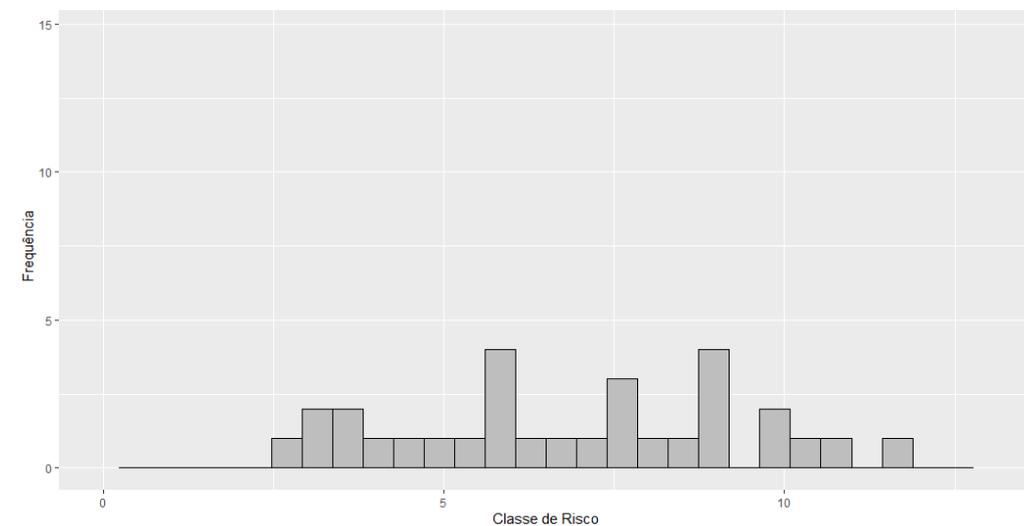


Figura 4.54: Histograma da Classe de Risco na borda SO da fachada Sudeste (Análise trecho a trecho).  
Fonte: Autora, 2019.

Nos histogramas, observa-se a variação da frequência dos valores da Classe de Risco nas bordas, com uma concentração em valores moderados, e uma redução da frequência à medida que os valores de CR aumentam, indicando uma menor ocorrência de danos com risco crítico.

A seguir, estão os gráficos do tipo Boxplot que expressam a variação da Classe de Risco com relação aos trechos e agrupamentos de trechos nas bordas (Figura 4.55 à Figura 4.57).

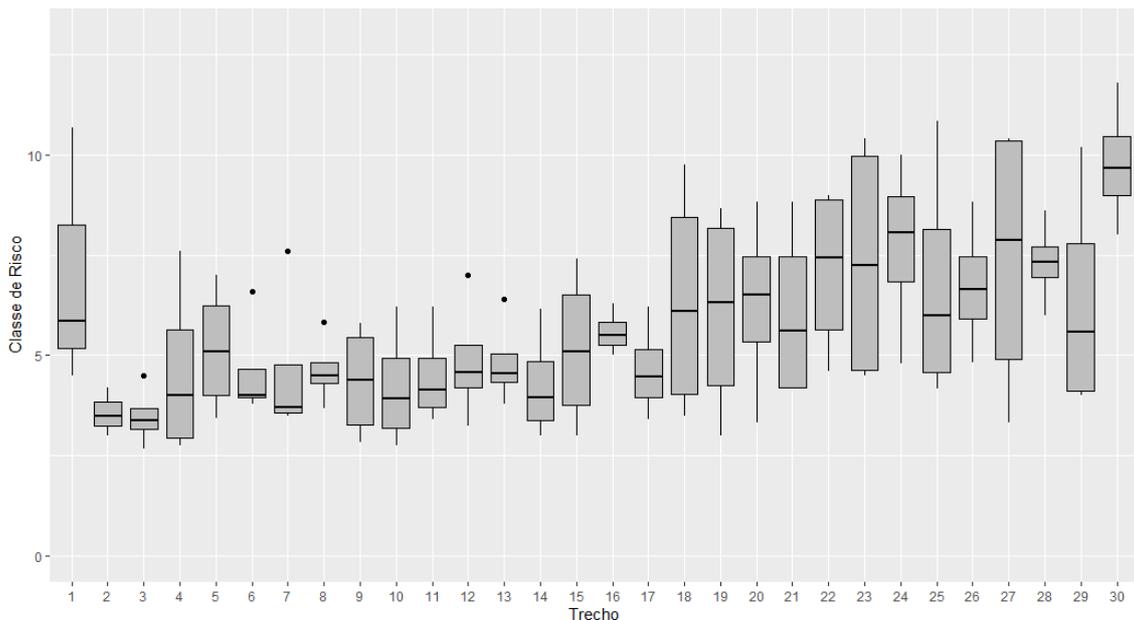


Figura 4.55: Boxplot da Classe de Risco por trecho (Análise trecho a trecho) – Bordas SO e NE, independente da fachada. Fonte: Autora, 2019.

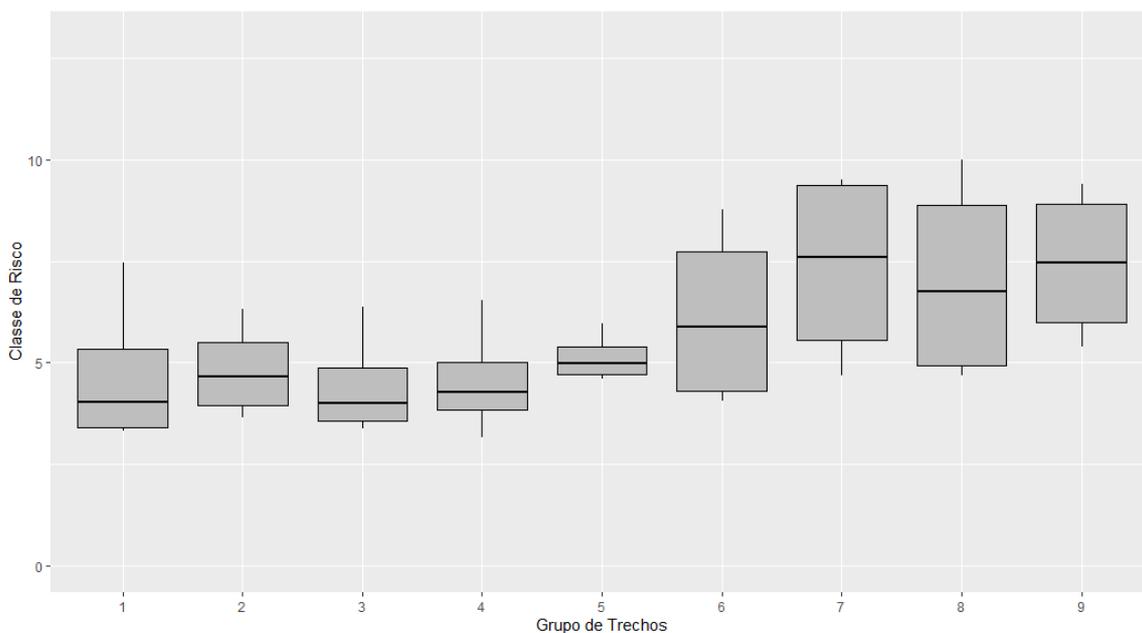


Figura 4.56: Boxplot da Classe de Risco por trecho (Agrupamento Gr\_1) – Bordas SO e NE, independente da fachada. Fonte: Autora, 2019.

A Figura 4.55 indica a variação da criticidade por trecho nas bordas, agrupadas segundo a orientação solar. Sua análise aponta valores maiores de CR nos trechos mais altos do edifício, e, de menor relevância, no embasamento. Segundo a Figura 4.56, os maiores valores de risco estão nos trechos do agrupamento 7 (trechos 22, 23 e 24) e no último agrupamento (trechos 28, 29 e 30). Quanto aos testes de comparações entre as bordas, foi aplicada a Anova para o Agrupamento Gr\_1, uma vez atendidos os pressupostos de normalidade e variância. Como resultado, observa-se que há diferença entre os trechos e entre as bordas das duas fachadas, agrupadas segundo a orientação solar, conforme a Tabela 4.4.

*Tabela 4.4: Anova da Classe de Risco para trecho e borda nas fachadas Noroeste e Sudeste.*

Fonte de Variação	P-valor
Trecho	<b>0,0045</b>
Borda	<b>0,0018</b>
Interação Trecho x Borda	<b>0,0702</b>
Resíduos	

*Fonte: Autora, 2019.*

O pós-teste de Tukey foi então realizado a fim de verificar quais grupos de trechos são diferentes, sendo o resultado indicado na Tabela 4.5. As múltiplas combinações mostram que o agrupamento 9 (a) se diferencia dos demais, assim como os agrupamentos 3 e 4 (c – que são iguais entre si). O agrupamento 7 (ab) apresenta sobreposições de características com o 9 (a), e o agrupamento 1 (bc) com o 4 e 3 (bc). Os agrupamentos 2, 5, 6 e 8 (abc), por fim, apresentam características comuns a todos os outros e são semelhantes entre si.

*Tabela 4.5: Teste de Tukey para a diferença de trechos nas bordas.*

Trecho	Classe de Risco	Grupos
9	7,4256	<b>a</b>
8	7,0461	<b>abc</b>
7	7,3407	<b>ab</b>
6	6,1529	<b>abc</b>
5	5,1336	<b>abc</b>
4	4,5637	<b>c</b>
3	4,4387	<b>c</b>
2	4,8148	<b>abc</b>
1	4,7198	<b>bc</b>

*Fonte: Autora, 2019.*

### 4.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados apresentados mostram que a gestão das torres do Congresso Nacional por dois órgãos com estruturas administrativas e planejamento estratégico distintos leva a posturas e intervenções diferentes para cada uma delas, conforme se verifica no caso da substituição das placas de mármore do trecho em contato com o espelho d'água da empena Noroeste da torre Norte, que compromete a leitura do conjunto arquitetônico. Tal intervenção possui pouca visibilidade por estar no embasamento, voltada para o Edifício Principal. Fosse na empena

Sudeste, que também é afetada pelos mesmos danos decorrentes do contato com o corpo d'água, esta modificação no sistema de fachada estaria visível desde a Praça dos Três Poderes – e poderia acarretar uma repercussão negativa por parte dos órgãos fiscalizadores ou mesmo da comunidade, devido à alteração de aspectos ligados à integridade e à autenticidade da obra. Da mesma forma, nas ações de manutenção, os tipos de rejunte utilizados para as juntas horizontais de movimento são distintos entre as duas torres. Também são diferentes as soluções dadas para o chapim da platibanda de ambas as torres. Nesse sentido, constata-se a importância de se tratar o edifício como um conjunto, zelando pela unidade da sua arquitetura e pela integridade do testemunho que representa enquanto objeto patrimonial.

Quanto às técnicas e aos processos construtivos das empenas, as prospecções feitas no âmbito dos levantamentos complementares foram uma etapa importante na identificação e no registro com vistas às ações de conservação, ao permitir verificar as características das camadas do sistema e a solução de fixação das placas de mármore do tipo aderida, contribuindo para a compreensão do seu comportamento.

O fato de as placas de mármore se destacarem com o tardo limpo indica a perda de aderência entre a placa de revestimento e a argamassa de assentamento, com resultado dos movimentos cíclicos que, ao longo do tempo, levam à fadiga. Isso se deve às solicitações higrotérmicas que exercem diferentes tensões nas camadas, que, por sua vez, comportam-se de modo distinto uma das outras, levando, com o tempo, ao rompimento da fixação fraca entre placa e argamassa. Além disso, a adoção da técnica original de fixação das placas no “bolão” resultou em vazios de argamassa, e, no caso de infiltração de água no sistema devido aos danos nas áreas contíguas, provoca retenção de umidade, o que leva ao aparecimento de mofo frente à dificuldade de evaporação da água no sistema. Nas intervenções históricas das últimas décadas, foi verificado o preenchimento da junta de movimentação com material rígido, o que restringe a movimentação do sistema e leva a tensões e, conseqüentemente, danos.

Há placas de mármore no sistema de revestimento que se diferem do conjunto por sua aparência, quanto ao padrão de veios e cores, mas, principalmente, com relação à espessura, que é de 30 mm nas placas originais. São placas mais finas, de 20 mm, cujas evidências apontam se tratarem de substituições posteriores à construção do edifício, e em geral especificadas com base na semelhança visual com relação ao padrão existente. No caso de destacamento do revestimento com relação ao substrato, a adoção de placas mais finas se apresenta como estratégia para uma mínima intervenção no sistema, uma vez que se tivessem a mesma espessura das peças originais seria necessário, na sua instalação, a remoção da argamassa de assentamento original, causando vibrações indesejadas no sistema. Para a substituição de placas de mármore, atualmente se adota a técnica de assentamento com argamassa colante, que deve garantir o prumo e o nivelamento da camada de acabamento, sem distorções geométricas no plano do revestimento. Considera-se que,

uma vez assegurada a boa prática, a adoção da argamassa colante para o assentamento das placas de revestimento destacadas (eventualmente e de forma pontual) pode ser considerada uma técnica adequada para esses casos.

As ações de conservação no sistema de revestimento em mármore do Palácio do Congresso Nacional enfrentam a dificuldade de reposição com rocha da pedra original, que se encontra inativa. O mármore original utilizado no Congresso Nacional não havia sido caracterizado quanto à petrografia e mineralogia até então. Por meio dos ensaios laboratoriais, constatou-se que o mármore Branco Italva original possui características especiais (presença de forsterita da família das olivinas), que conferem maior durabilidade e resistência à camada de acabamento do sistema em questão. As amostras ensaiadas indicaram que a qualidade do mármore não é mantida nas intervenções, visto que as substituições se diferem do mármore original no aspecto estético, na estrutura e na composição mineralógica. A simples especificação em projetos e editais de “mármore branco especial”, “branco nacional” ou “no padrão existente” se mostra insuficiente, dado que placas já substituídas continuam a apresentar danos, por vezes mais graves do que as demais – o que ocorre, em parte, por suas características mineralógicas, mas inclusive por não se investigar a causa para os danos no âmbito do sistema. Desse modo, uma melhor caracterização do mármore deve ser buscada nas especificações como meio de se contribuir para uma maior durabilidade do sistema de revestimento. Outra possibilidade é que a impregnação do substrato por microrganismos pode dificultar a aderência da argamassa colante, caso não haja a devida limpeza e remoção das partes danificadas.

O estudo de caso demonstrou que o VANT consiste em importante ferramenta auxiliar na inspeção/monitoramento e na análise do estado de conservação de sistemas de fachada de edifícios altos. A adoção dessa técnica possibilitou o registro fotográfico de trechos com difícil acesso, como os pavimentos mais altos. Além disso, viabilizou a formação de um banco de dados por meio da obtenção de fotografias perpendicularmente ao plano da fachada, o que resultou em imagens passíveis de processamento por nuvem de pontos gerando as ortoimagens, que são fontes de dados fundamentais para monitorar o sistema em estudo ao longo do tempo.

Há ainda desafios a serem vencidos, tais como a obtenção de imagens com a qualidade de resolução necessária à identificação de danos como fissuras, condicionada à restrição de aproximação do equipamento ao plano da fachada por motivos de segurança, e às configurações da câmera digital adotada. Ocorre que a técnica do VANT ainda não é de pleno domínio, podendo ser adotadas técnicas auxiliares convencionais na identificação de danos, como a observação por binóculos. No caso do registro fotográfico das bordas, foi necessário manter o equipamento inclinado e a uma distância maior com relação à fachada, o que resultou em maior distorção das fotos, demandando a justaposição e a retificação manual das imagens. Assim, a qualidade atingida foi inferior, o que limitou a identificação de danos. Apesar de não haver obstáculos físicos ao voo

do VANT, o partido arquitetônico dificultou o levantamento devido à configuração de torre dupla e à canalização dos ventos nas proximidades do vão entre as torres, o que acarretava a desestabilização do equipamento. Como medida de maior controle do voo e da distância com relação ao plano registrado, recomenda-se a adoção de sensores de distância acoplados ao equipamento.

A criação de um banco de dados para as torres do Congresso Nacional, resultante desta pesquisa, mais especificamente sobre o sistema de revestimento em mármore da torre Sul, possibilita o monitoramento mediante a sobreposição de imagens digitais. O objeto de estudo não contava até então com um banco de dados sistematizado. As imagens são uma fonte importante de construção da informação, e há cada vez mais ferramentas de análise e de extração desses dados, como por exemplo os estudos em visão computacional, campo da Inteligência Artificial. Por meio de redes neurais, as técnicas de visão computacional possibilitam a detecção e a classificação dos danos, a partir dos dados extraídos de imagens. No entanto, não basta o registro fotográfico sem o planejamento e a definição do propósito das imagens obtidas, uma vez que são requeridos parâmetros de precisão e qualidade para essa documentação visual, a fim de permitir a extração das informações necessárias.

A adaptação da metodologia Fmea / Fmeca da BS EN 60812 para a análise de risco também contribuiu para a sistematização das informações relativas ao sistema de revestimento abordado, tornando possível a construção da base de dados que foi, posteriormente, tratada mediante técnicas estatísticas, validando as suposições e a realidade encontrada. A partir da análise dos quadros-resumo para o sistema de revestimento em estudo, confirmou-se a sobreposição de mecanismos de degradação e efeitos, e a relação entre intervenções no sistema e a ocorrência de manifestações patológicas. A justaposição nas pranchas (quadros-resumo) do levantamento fotográfico, do registro das intervenções e dos danos com a criticidade correspondente, favoreceu a análise do sistema de revestimento trecho a trecho, na medida em que permitiu a visualização de todas as informações até então produzidas e a identificação de eventuais erros e inconsistências. Não se tratou, portanto, de um simples trabalho de diagramação, mas um refinamento das informações até então produzidas, com a retomada dos resultados anteriores e a realização de revisões, quando necessárias. A abordagem do trecho de modo a englobar não apenas a empena, como também as bordas, também contribuiu para a consolidação dos dados, uma vez que permitiu visualizar o sistema por completo, para o trecho analisado.

As matrizes de criticidade se mostraram importantes ferramentas de leitura dos dados obtidos, possibilitando acompanhar visualmente a evolução dos danos nas atividades de monitoramento do sistema de fachada ao longo do seu envelhecimento, na medida em que apresentam graficamente a Classe de Risco do dano nos trechos, com indicação de tendência da evolução. Neste trabalho, representam a situação presente do sistema levantado. Os resultados obtidos nas matrizes de

criticidade demonstraram que o risco no caso em estudo é moderado, o que depois foi confirmado pelos testes estatísticos.

A situação presente para o sistema analisado também consta nos resultados da aplicação dos testes estatísticos, quando da análise de criticidade de danos trecho a trecho. Os Boxplots evidenciam a variação da criticidade para um mesmo dano, que tende a se alterar com o tempo, tendo em vista que os processos de degradação continuam e os danos evoluem, podendo haver a aceleração desses processos em determinados períodos, ou ainda com a realização de uma intervenção que, ao buscar a solução para os danos encontrados, resulta na redução da criticidade no trecho afetado.

O levantamento e as análises para as bordas das empenas revestidas em mármore favorecem o entendimento dos processos de degradação instalados – ou mesmo os potenciais – no sistema de revestimento. Assume-se que as bordas internas (Nordeste) estão menos sujeitas aos fenômenos de degradação pelos agentes climáticos se comparadas às bordas externas (Sudoeste). Isto se deve ao fato de estarem voltadas para a outra torre e por ela protegida e sombreada, e, conseqüentemente, sofrerem menos movimentações higrotérmicas nas camadas do sistema. Não obstante, os testes e análises estatísticas não tiveram resultados significativos que confirmassem essa hipótese.

Nos Boxplots de criticidade por trecho e segundo a fachada, os valores para a Classe de Risco são maiores nos trechos das extremidades (embasamento e topo) e no trecho correspondente aos pavimentos que contêm as passarelas de ligação entre as torres (o que é mais evidente na análise do agrupamento Gr\_1). A fachada Noroeste demonstra maior criticidade dos riscos, conforme se observa no Boxplot de criticidade segundo a fachada, inclusive na análise de correlação, que apresenta correlações mais intensas entre os danos para esta fachada, o que se deve ao fato de estar submetida a condições de exposição mais severas. Esse achado vai ao encontro das constatações de Zanoni (2015) quanto à fachada de orientação Noroeste na cidade de Brasília estar sujeita às condições de exposição que mais favorecem a degradação por agentes climáticos, para os fenômenos relacionados à umidade e à temperatura (chuva dirigida, variação térmica e amplitude térmica).

#### **4.3.1 Identificação das Zonas de Tensão**

Conforme proposto nesta pesquisa, as Zonas de Tensão são percebidas como regiões que demonstram uma elevação nos valores de Classe de Risco de dano, quais sejam: o embasamento e os pavimentos mais altos (topo e trechos que o antecedem), conforme evidenciam os gráficos do tipo Boxplot que trazem a variação da criticidade segundo o trecho. Estas são as regiões mais afetadas pelas tensões decorrentes do conjunto – os sistemas estruturais e as soluções arquitetônicas e construtivas. As bordas também são consideradas regiões mais propensas ao

aparecimento de danos, visto que fazem interface entre dois planos, a empena de mármore e o sistema de esquadria metálica e vidro, sendo afetadas pelas variações térmicas desses dois tipos de sistema de fachada, acrescidas as tensões devido ao comportamento estrutural do edifício. Nos pontos onde há vínculo do sistema de revestimento com elementos da arquitetura, como o túnel e o jardim entre as torres, também se identificou maior ocorrência de substituições e destacamento de placas, configurando Zonas de Tensão.

Uma constatação importante da pesquisa é que não houve diferença quanto à criticidade por trechos, mostrando que nesses quase 60 anos de uso e operação, o edifício (no caso, o sistema de revestimento em mármore) vem envelhecendo como um todo. Os motivos para tanto se relacionam às soluções construtivas e ao ordenamento tectônico adotados, que se expressam na parede dupla da empena, que corre independentemente da estrutura, intermediada por um avanço da laje; na paginação intercalada das placas; na marcação de pavimentos pelas juntas de movimentação; e na largura de pouco mais de 10 metros para o pano da empena, o que se alinha à distância de 30 pés entre juntas verticais recomendada por Prudon (2008) para sistemas de revestimento com placas de rocha.

Apesar de não haver diferença significativa nas análises estatísticas por trecho, há diferença entre fachadas, o que mostra que a orientação solar é determinante para o estado de conservação do sistema estudado, principalmente no que tange aos fenômenos relacionados à umidade e à temperatura. Nesse sentido, quando a análise é realizada por fachada, a Noroeste se destaca pelos maiores valores de criticidade em comparação à Sudeste, tanto na análise trecho a trecho quanto na do agrupamento Gr\_1. Os mapas de correlação também demonstram a diferença entre as empenas Sudeste e Noroeste, sendo a última a mais exposta à degradação pelos agentes climáticos.

Mesmo que alguns aspectos do estado de conservação do sistema sejam previsíveis, como, por exemplo, a identificação do embasamento, do topo e das bordas como Zonas de Tensão, a análise estatística evidenciou que há outros fatores envolvidos que não apenas as interfaces entre o sistema de revestimento, o sistema estrutural e os demais elementos da arquitetura. Esses fatores consistem nas condições ambientais e climáticas. Uma vez que se tem duas empenas de um edifício em altura, que seguem a mesma técnica construtiva e possuem praticamente o mesmo percurso histórico de uso e intervenções, a constatação de que há diferença de criticidade entre os sistemas de fachada que as compõem se deve às diferentes condições de exposição aos agentes climáticos de degradação a que estão expostas.

## 5 CONCLUSÕES

Os edifícios altos da arquitetura moderna foram o eixo condutor dos conceitos e das ideias tratadas nesta pesquisa. Em especial, como um patrimônio nacional e reconhecido mundialmente, o Palácio do Congresso Nacional foi o exemplar escolhido para aplicar o método de investigação e de monitoramento para o estado de conservação de sistema de revestimento em rocha, desenvolvido nesta dissertação.

### 5.1 SOBRE OS OBJETIVOS E A QUESTÃO DE PESQUISA

O método proposto, quando testado nas empenas revestidas em mármore das torres do Congresso Nacional, provou ser um procedimento sistematizado para investigar e monitorar o seu estado de conservação, atingindo, assim, os objetivos desta pesquisa. A formação de um banco de dados sobre o caso em estudo foi possível frente às recomendações de padronização e de organização de cada fase de aplicação do método, na medida em que possibilitam o acesso a essa grande quantidade de dados gerada. As técnicas de levantamento por VANT e a identificação remota dos danos por meio de sobreposição das imagens digitais viabilizaram a coleta dos dados relativos ao sistema, mesmo nos andares mais altos. Os ensaios laboratoriais do mármore e as prospecções dos sistemas de fachada permitiram obter dados originais sobre o edifício. A análise estatística foi uma ferramenta útil para validar os dados que representam o comportamento do edifício e o envelhecimento do sistema de fachada.

As Zonas de Tensão, regiões mais vulneráveis e degradadas, identificadas com base na visão integrada entre o sistema de revestimento, o sistema estrutural e construtivo, são influenciadas pela linguagem arquitetônica, expressa nas soluções do repertório moderno – as torres simétricas que emergem do espelho d'água como lâminas verticais interligadas pela passarela suspensa, como que a emoldurar o cenário urbano da esplanada e da praça que o edifício conecta. Seus sistemas de fachada consistem em cortinas de aço e vidro e empenas em mármore, de sutil interface nas bordas também revestidas nesse material. A finalização das empenas e cortinas compõem o arremate de topo, que esconde a laje plana de cobertura.

A questão de pesquisa que se buscou responder – “Como investigar e monitorar o estado de conservação dos sistemas de revestimento em placas de rocha nas fachadas de edifícios altos modernos?” – permitiu percorrer os caminhos da fundamentação teórica-conceitual técnica e metodológica, embasando a formulação do método proposto na pesquisa. Como estratégia de planejamento na busca pela compreensão do comportamento do sistema de fachada, no tempo passado e no momento presente, projeta-se o olhar para o edifício como um todo, conectando os campos conceituais da arquitetura moderna, do patrimônio, da durabilidade e do estado de conservação.

## 5.2 DELINEAMENTO DOS CENÁRIOS DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO

Quanto à qualidade dos materiais, de projeto e construtiva, o cenário que remete ao tempo passado revela as soluções arquitetônicas e práticas construtivas da época em que o edifício foi construído e que favorecem a durabilidade do sistema, a exemplo da parede dupla e independente da estrutura e do mármore original com características especiais comprovadas nos ensaios laboratoriais trazidos na pesquisa. A técnica do sistema aderido e o preenchimento rígido nas juntas também são soluções que nasceram com o edifício, usuais naquele momento histórico. O cenário da situação presente reflete o bom estado de conservação do sistema, decorrente do envelhecimento natural do edifício – o que pode ser concluído a partir das análises de criticidade e testes estatísticos realizados. O sistema de revestimento em mármore apresenta uma condição de risco moderado de danos, com distribuição uniforme ao longo das empenas e bordas de mármore. Intervenções visíveis que afetam a materialidade do sistema se apresentam pontualmente em relação ao conjunto.

Como cenários futuros, há que se discutir a respeito da adequação do sistema aos novos parâmetros normativos, como modo de dirimir eventos críticos ao usuário e ao patrimônio, como o destacamento de placas de mármore da fachada. A recuperação dos danos levantados – observada a escala de priorização definida na pesquisa – inclui o refazimento das juntas de movimentação com preenchimento por meio de material selante flexível e a refixação de placas com problema de aderência ao substrato (o que requer uma investigação mais aprofundada e atualizações da técnica construtiva original, como a adoção de argamassa colante e de componentes mecânicos de fixação). Qualquer que seja a alternativa de intervenção adotada futuramente, as rotinas de monitoramento e inspeção devem ser incorporadas a um Plano de Conservação para o palácio e seus sistemas.

No cenário histórico do momento de inauguração e nos anos que se seguiram, conforme as condições de uso e operação, o mármore tido como um material durável e perene ainda não despertava preocupações quanto à manutenção. Esse cenário se altera com o passar do tempo, quando surgem danos como fissuras e perda de aderência das placas, sobretudo nas Zonas de Tensão identificadas nesta pesquisa. O espelho d'água influenciou significativamente o estado de conservação do sistema, uma vez que os trechos em contato com a água sofreram processos de degradação mais intensos, o que se refletiu na maior demanda por ações de manutenção. Além disso, a gestão do edifício por dois órgãos distintos resultou em intervenções que trataram a manutenção de cada torre separadamente. No entanto, o cenário atual indica ações integradas voltadas à conservação do palácio entre as equipes dos órgãos (Senado Federal e Câmara dos Deputados). Para o cenário futuro, deve-se prever ações de manutenção preventiva e rotineira, inclusive as atividades de monitoramento das fachadas, a fim de acompanhar a evolução dos danos observados e remediá-los, no escopo de um Plano de Conservação.

As condições de exposição aos agentes ambientais e climáticos não se alteraram com o passar do tempo, de modo que os cenários do estado de conservação são resultantes dessas ações cíclicas atuantes, com efeitos acumulativos que tendem a evoluir com o tempo e, em dado momento, até mesmo acelerar, aumentando a velocidade na perda de desempenho. Assim, se o tempo passado representa um sistema inicialmente com menor criticidade de danos, a ausência de ações de manutenção pode levar ao agravamento, com o passar do tempo. Os agentes climáticos se mostraram como uma das principais causas de degradação do sistema ao longo dos anos de envelhecimento natural do edifício. Isso ficou comprovado quando a fachada Noroeste se apresentou mais degradada que a fachada Sudeste. Nesse contexto, uma alteração climática futura pode acentuar ainda mais os processos de degradação já instalados. Se como cenário futuro não há como mudar essas condições, as ações de conservação e de manutenção são um meio de recuperar a funcionalidade dos componentes do sistema e de ampliar sua vida útil.

Conclui-se, em síntese, que os cenários da situação presente, do passado e a projeção para o futuro contribuem para a compreensão do comportamento do bem patrimonial e para o planejamento das ações relativas à sua conservação.

### **5.3 CONTRIBUIÇÕES DA PESQUISA**

A despeito dos diversos trabalhos sobre o Palácio do Congresso Nacional no campo da Teoria e História, do Patrimônio Arquitetônico e na área da Tecnologia (em que geralmente o enfoque é o Edifício Principal, por ser um elemento mais icônico e de maior vulnerabilidade), a contribuição desta pesquisa é agregar à discussão sobre a conservação do edifício e seu sistema de fachada outras disciplinas de interface, tais como os estudos geológicos, de durabilidade e do estado de conservação, sedimentados por uma reflexão sobre a conservação do patrimônio de modo amplo e a necessidade de monitoramento sistematizado dos bens culturais. O estudo de caso apresentado contribui para o repertório de pesquisas acerca da conservação do patrimônio moderno e seus sistemas, devido ao embasamento teórico-conceitual técnico e metodológico e às abordagens pouco exploradas pela bibliografia específica. Como contribuições originais desta pesquisa, destacam-se as prospecções e os ensaios laboratoriais.

### **5.4 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Considerando a delimitação do trabalho e as lacunas identificadas, são feitas algumas sugestões para aprofundamento em trabalhos futuros:

- consolidação do método proposto na aplicação em outros edifícios altos com sistema de revestimento em placa de rocha nas fachadas;

- consolidação do método proposto na aplicação em outros sistemas de fachada de edifícios altos, utilizando levantamento e captura de imagens por VANT, associados à termografia;
- consolidação e aprimoramento do banco de dados obtido como uma ferramenta de monitoramento, integrado à plataforma BIM;
- identificação de danos de modo automatizado, mediante técnicas de processamento digital das imagens, visão computacional e redes neurais.

## REFERÊNCIAS

- ABRAHAMSEN, S. A. T. H. Stones in Modern Buildings – Principles of cladding. In: **Stones in Modern Buildings – Principles of cladding**. Docomomo Preservation Technology Dossier 6, Roma: Docomomo International, pp. 51-53, 2003.
- AIRES-BARROS, L. 1991. **Alteração e alterabilidade de rochas**. Instituto Nacional de Investigação Científica, Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, 1991.
- ALLAN, J. Points of Balance – Patterns of Practice in the Conservation of Modern Architecture. In: Macdonald, Normandin, Kindred, eds. **Conservation of Modern Architecture**. Shaftesbury: Donhead, pp. 13-46, 2007.
- ALMEIDA, R. N. **Uso de Rochas na Arquitetura – Contribuições ao Processo da Especificação**. Tese (Doutorado em Geociências). Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2012.
- AMARAL, Izabel. **Quase tudo que você queria saber sobre tectônica, mas tinha vergonha de perguntar**. Pós. Rev Programa Pós-Grad Arquit Urban. FAUUSP [online]. n.26, ISSN, pp. 148-167, 2009.
- AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. **ASCE standard ASCE/SEI 30-14** – Guideline for Condition Assessment of the Building Envelope. Virginia, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5674** – Manutenção de Edificações – Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro: [s.n.], 2012.
- \_\_\_\_\_. **ABNT NBR 5462** – Confiabilidade e Manutenibilidade. Rio de Janeiro: [s.n.], 1994.
- \_\_\_\_\_. **ABNT NBR 7205** Placas de Mármore Natural para Revestimentos Superficiais Verticais Externos. Rio de Janeiro: [s.n.], 1982.
- \_\_\_\_\_. **ABNT NBR 13279** – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro: [s.n.], 2005.
- \_\_\_\_\_. **ABNT NBR 13707** – Projeto de revestimento de paredes e estruturas com placas de rocha. Rio de Janeiro: [s.n.], 1996.
- \_\_\_\_\_. **ABNT NBR 13755** – Revestimentos cerâmicos de fachadas e paredes externas com utilização de argamassa colante – Projeto, execução, inspeção e aceitação – Procedimento. Rio de Janeiro [s.n.], 2017.
- \_\_\_\_\_. **ABNT NBR 15012** – Rochas para revestimentos de edificações – Terminologia. Rio de Janeiro [s.n.], 2013(a).
- \_\_\_\_\_. **ABNT NBR 15575-1** – Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: [s.n.], 2013(b).
- \_\_\_\_\_. **ABNT NBR 15575-2** – Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais. Rio de Janeiro: [s.n.], 2013(c).
- \_\_\_\_\_. **ABNT NBR 15575-4** – Edificações Habitacionais – Desempenho. Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE. Rio de Janeiro [s.n.], 2013(d).
- \_\_\_\_\_. **ABNT NBR 15844** – Rochas para revestimento – Requisitos para granitos. Rio de Janeiro: [s.n.], 2015(a).
- \_\_\_\_\_. **ABNT NBR 15845-1** – Rochas para revestimento – Parte 1: Análise Petrográfica. Rio de Janeiro: [s.n.], 2015(b).
- \_\_\_\_\_. **ABNT NBR 15845-2** – Rochas para revestimento – Parte 2: Determinação da densidade aparente, da porosidade aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro: [s.n.], 2015(c).
- \_\_\_\_\_. **ABNT NBR 15845-3** – Rochas para revestimento – Parte 3: Determinação do coeficiente de dilatação térmica linear. Rio de Janeiro: [s.n.], 2015(d).
- \_\_\_\_\_. **ABNT NBR 15845-5** – Rochas para revestimento – Parte 5: Determinação da resistência à compressão uniaxial. Rio de Janeiro: [s.n.], 2015(e).
- \_\_\_\_\_. **ABNT NBR 15845-7** – Rochas para revestimento – Parte 7: Determinação da resistência à flexão por carregamento em quatro pontos. Rio de Janeiro: [s.n.], 2015(f).

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 15845-8** – Rochas para revestimento – Parte 8: Determinação da resistência ao impacto de corpo duro. Rio de Janeiro: [s.n.], 2015(g).

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 15846** – Rochas para revestimento – Projeto, execução e inspeção de revestimento de fachadas de edificações com placas fixadas por insertos metálicos. Rio de Janeiro: [s.n.], 2010.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. **ASTM C119/12** – Standard terminology relating to dimension stone. West Conshohocken: ASTM, 2012.

\_\_\_\_\_. **ASTM C 503/15** – Standard specification for marble dimension stone. West Conshohocken: ASTM, 2015.

BARELLI, M. L.; LUCAT, M.; MANTOVANI, S. Stone Facing Techniques in Twentieth–Century Handbooks. In: **Stones in Modern Buildings – Principles of cladding**. Docomomo Preservation Technology Dossier 6, Roma: Roma: Docomomo International, pp. 25-29, 2003.

BATISTA, L. F.; OLIVEIRA, L. A. **Revestimento não-aderido: proposta de critérios de desempenho e métodos de ensaio**. XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Porto Alegre: [s.n.], 2016.

BESSONI, G. O Tombamento das Obras de Oscar Niemeyer em Brasília. In: **IPHAN Processo de Tombamento do Conjunto Arquitetônico de Oscar Niemeyer em Brasília**. Brasília: [s.n.], 2007.

BICALHO, V.; MARQUES, R. A.; MEDEIROS JUNIOR, E. B. **Caracterização Petrográfica e Química do Mármore de Itavaia – RJ**. 1. ed. Beau Bassin, Mauritius: Novas Edições Acadêmicas – International Book Market Service Ltda. – OmniScriptum Publishing Group, v. 1, 2017.

BRASIL. CÂMARA DOS DEPUTADOS. SENADO FEDERAL. **Levantamento Histórico. Plataforma do Edifício Principal. Sistemas de Impermeabilização, Drenagem e Revestimentos**. Brasília: Não Publicado, 2017(a).

BRASIL. MINISTÉRIO DA CULTURA. Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. **Processo de Tombamento do Conjunto Arquitetônico de Oscar Niemeyer em Brasília**. Superintendência do Iphan no Distrito Federal. 2007.

BRASIL. SENADO FEDERAL. **Edital do Pregão Eletrônico 036/2017 – Contratação de empresa especializada para a prestação de serviços de manutenção de revestimentos de mármore nas fachadas do edifício Principal e do Anexo 1 do SENADO**. Brasília, 2017(b).

BRITISH STANDARD INSTITUTION. **BS ISO 15686-1: Buildings and constructed assets – Service life planning – Part 1: General principles and framework**. London: [s.n.], 2011.

\_\_\_\_\_. **BS ISO 15686–2: Buildings and constructed assets – Service life planning. Part 2: Service life prediction procedures**. London: [s.n.], 2012.

\_\_\_\_\_. **BS EN 60812: Analysis techniques for system reliability – Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA)**. London, 2006.

BRUAND, Y. **Arquitetura Contemporânea no Brasil**. São Paulo, Perspectiva, 2003.

CAMPOSINHOS, R.S. **Stone Cladding Engineering**. Springer, New York, 2014.

CARVALHO, J.; CASTRO, A.; MARTINS, L.; MACHADO K; ANDRADE, H. **Da Matéria à Memória: a significância na definição de diretrizes para os panos de vidro do Senado Federal**. XII Congresso Internacional de Reabilitação do Patrimônio Arquitetônico e Edificado: A Dimensão do Cotidiano do Patrimônio e os Desafios para sua Preservação, São Paulo, pp. 438-446, 2014.

CARVALHO, G. B. **Proposta para representação gráfica de mapas de danos em fachadas modernistas de concreto armado aparente. Dissertação (Mestrado)**, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

CASTRO, A.; CARVALHO, S. Senado Federal – O edifício e sua história. **Senatus: Cadernos da Secretaria de Informação e Documentação**, Brasília, v. 8, n. 1, pp. 156-195, abr. 2010.

CASTRO, E. K.; BAUER, E. Avaliação e diagnóstico das manifestações patológicas identificadas nas fachadas do Panteão da Pátria Tancredo Neves em Brasília/Brasil – Estudo de caso. In: **CONPAT (Anais)**, Lisboa, 2015.

CHAROLA, A. E. **Stone deterioration characterizations for its conservation**. Geonomos 24(2), pp. 16-20, 2016.

CHIODI FILHO, C.; RODRIGUES, E. P. **Guia de aplicação de rochas em revestimentos – Projeto Bula**. São Paulo: ABIROCHAS, 2009.

\_\_\_\_\_; CHIODI, D., K. **Relatório Técnico 33 – Perfil de rochas ornamentais e de revestimento**. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral – SGM, do Ministério de Minas e Energia – MME, Brasília, 2009.

CHIN, I.R.; STECICH, J.P. The Amoco Building (Stone, 1970). Recclading aof a marble landmark. In: JONGE, de W.; DOOLAR, Arjan. **Curtain Wall Refurbishment: a challenge to manage**, Docomomo conference proceedings; Vol. 1996, Eindhoven: Docomomo International, pp. 80-82, 1997.

CÓIAS, V. **Inspecções e Ensaios na Reabilitação de Edifícios**. Instituto Superior Técnico. Lisboa. Portugal, 2009.

COSTA, L. Relatório do Plano Piloto de Brasília. In: **Módulo – Edição especial**: Brasília, Rio de Janeiro, n. 8, 1957.

\_\_\_\_\_; NIEMEYER, O. Praça dos Três Poderes e Palácio do Congresso Nacional. In: **Módulo**, Rio de Janeiro, v.2, nº 9, fev., pp. 14-21, 1958.

COSTA, L.G.G.; AMORIM, A.L. Geração de ortofotos para produção de mapas de danos. In: **SIGRADI 2009 – Congresso da Sociedade Ibero-americana de Gráfica Digital**, 13, 2009, São Paulo. SIGRADI – Anais... São Paulo: Sociedade Ibero-americana de Gráfica Digital, v. 1, pp. 62-64, 2009.

COSTA, M. S. **Identificação de Danos em Fachadas de Edificações por meio de Imagens Panorâmicas Geradas por Plataforma Robótica Fotográfica**. 2014. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil). Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília, 2014.

CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE – CENTRALE PER IL RESTAURO (CNR-ICR). **NORMAL 1/88: Alterazione Macroscopiche dei Materiali Lapidei**: Lessico, Roma, 1990.

DIONÍSIO, A.; AIRES-BARROS, L.; BASTO, M. J. A degradação das rochas do património cultural construído: o caso das rochas carbonatadas. **Boletim da Sociedade Portuguesa de Química**, Lisboa, v. 93, pp. 61-68, 2004.

ENTE NAZIONALE ITALIANO DI UNIFICAZIONE. **UNI 11182 – Materiali lapidei naturali ed artificiali – Descrizione della forma di alterazione – Termini e definizioni**, Milano: UNI, 2006.

FICHER, S. Edifícios altos no Brasil. **Boletim do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília**, nº 52, pp. 30-52, nov., 1991.

\_\_\_\_\_; SCHLEE, A. **Brasília 50 Anos. Guia das Obras de Oscar Niemeyer**. Brasília: Instituto dos Arquitetos do Brasil: Câmara dos Deputados, 2010.

FLAIN, E.P. **Desenvolvimento da cadeia produtiva como fator de qualidade dos revestimentos pétreos em fachadas de edifícios corporativos contemporâneos**. Tese (Doutorado). Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2017.

\_\_\_\_\_. Processos de Assentamentos de Rochas Ornamentais como Revestimentos. In: **Anais do I Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais e II Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste**, pp. 136-142, novembro. Salvador, 2001.

FRASCÁ, M.H.B.O., **Estudos Experimentais de Alteração Acelerada em Rochas Graníticas para Revestimento**, Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 2003(a).

\_\_\_\_\_. Rochas para Revestimentos de Edificações: Variedades, Seleção, Usos e Durabilidade – Curso. In: **Anais do IV Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste**, CETEM/SBG, pp. 332-341. Rio de Janeiro RJ, 2003(b).

\_\_\_\_\_. Tipos de rochas ornamentais e características tecnológicas. In: VIDAL, F.V.; AZEVEDO, H.C.A.; CASTRO, N.F. **Tecnologia das Rochas Ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento**. CETEM, Rio de Janeiro, pp. 43-97, 2014.

\_\_\_\_\_.; NEVES, R. O uso dos mármoreos em obras da Pampulha e do Distrito Federal. In: IX Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste. **Anais...** 10 a 13 abr. 2016, João Pessoa, pp. 114-123, 2016.

FRAMPTON, K. **Studies in tectonic culture: the poetics of construction in nineteenth and twentieth century architecture**. Organização John Cava. Cambridge, Graham Foundation for Advanced Studies in the Fine Arts/MIT Press, 1995.

GOMIDE, J. H.; SILVA, P. R. D.; BRAGA, S. M. N. **Manual de elaboração de projetos de preservação do patrimônio cultural**. Brasília: Ministério da Cultura/ Programa Monumenta, 2005.

HAAS, Y. C. **Tecnologia de Conservação de Pedras: Uma Sistematização dos Procedimentos para Conservação dos Elementos de Fachada**. Rio de Janeiro, UFRJ. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003.

HAAS, Y. C.; RIBEIRO, R. T. M. **Tecnologia da Conservação de Pedras: uma proposta de metodologia**. In: CICOP – XI Congreso Internacional de Rehabilitación del Patrimonio Arquitectónico y Edificación – Módulo 2, Cascais, 2012.

HERZOG, T.; KRIPPNER, R.; LANG, W. **Facade Construction Manual**. 2 ed, Institut für Internationale Architektur-Dokumentation, Munich, 2004.

HOLANDA, F. D. **Brasília Cidade moderna, Cidade eterna**. Brasília: FAUUnB, 2010.

INTERNATIONAL COUNCIL ON MONUMENTS AND SITES. Icomos. **Carta de Veneza**. Veneza, 1964.

\_\_\_\_\_. **Documento de Madri – Critérios para a Conservação do Patrimônio Arquitetônico do Século XX**. Madri, 2011.

\_\_\_\_\_. **The Burra Charter**. Burra, 1980.

\_\_\_\_\_. **The Nara Document on Authenticity**. Nara, 1994.

INTERNATIONAL COUNCIL ON MONUMENTS AND SITES – INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE FOR STONE. ICOMOS-ISCS. **Illustrated Glossary on Stone Deterioration Patterns**. Paris, 2010.

INSTITUTO DE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO NACIONAL. Iphan. **Anexo 4 – Normativa de mapeamento de danos de materiais lapídeos**. PROCESSO nº 01500.000925/2012-24. Não publicado. Rio de Janeiro: [s.n.], 2012.

JERNBERG, P.; LACASSE, M. A.; HAAGENRUD, S.E.; SJÖSTRÖM, C. **Guide and Bibliography to Service Life and Durability Research for Building Materials and Components**. Joint CIB W80 / RILEM TC 140 – TSL Committee on Service Life of Building Materials and Components, CIB Report, Publication 295, 2004.

JOHN, V. M.; SATO, N.M.N. Durabilidade de componentes da construção. In: SATTler, M. A.; PEREIRA Fernando Oscar Ruttkey (Ed.). **Coletânea Habitare: Construção e Meio Ambiente**, v.7. pp. 21-57, 2006.

JONGE, W.; DOOLAR, A. (Eds.) **Curtain wall refurbishment: a challenge to manage**. Docomomo conference proceedings; Vol. 1996, Eindhoven: Docomomo International, 1997.

JOKINEN, M. Finlandia Hall, Helsinki. In: **Stones in Modern Buildings – Principles of cladding**. Docomomo Preservation Technology Dossier 6, Roma: Docomomo International, pp. 64-72, 2003.

JOKILEHTO, J. Continuity and change in recent heritage. In: OERS, R.V.; HARAGUCHI, S. (Ed.). **World Heritage papers, 5 Identification and documentation of modern heritage**. Paris: UNESCO/WHC, pp.102-109, 2003.

KELLEY, S. J. An image of modernity. An American history of the curtain wall. In: JONGE, W.; DOOLAR, A. (Eds.) **Curtain wall refurbishment: a challenge to manage**. Docomomo conference proceedings; Vol. 1996, Eindhoven: Docomomo International, pp. 16-21, 1997.

LAMA, E.A. **Estudos de conservação em pedra**. Tese (Doutorado em Geoconservação), Departamento de Mineralogia e Geotectônica, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2016. 187p.

LICHTENSTEIN, N. B. **Patologia das Construções**. Boletim Técnico 06/86. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil, 1986.

LIMA, B. B.; ZANONI, V. A. G. Método de Análise do Estado de Conservação para Sistemas de Revestimento de Fachada em Mármore: O Caso do Congresso Nacional. In: **13º Seminário Docomomo Brasil: Arquitetura Moderna Brasileira. 25 anos do Docomomo Brasil. Todos os mundos. Um só mundo**, Salvador, 2019a.

\_\_\_\_\_; ZANONI, V. A. G. Visual Documentation of the State of Conservation by means of UAV: the case of Marble Cladding System on the Façades of the Brazilian Palace of Congress. In: **16th International Conference on Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture – Stremah 2019**, Seville, Spain, 2019b.

\_\_\_\_\_; LEITE, T. M.; ZANONI, V.A.G. The preservation of modern architecture in Brasília a study of stress zones. In: **PROHITEC 17 - 3rd International Conference on Protection of Historical Constructions**, 2017, Lisbon, Portugal. PROHITEC 17 - 3rd International Conference on Protection of Historical Constructions. Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2017.

\_\_\_\_\_; MACEDO, D. M.; SILVA, E.G. The Glass Walls of the Brazilian Palace of Congress. In: **14th International Conference DOCOMOMO: Adaptive Reuse. The Modern Movement Towards the Future**. 2016, Lisboa. 14th International Conference Docomomo: Adaptive Reuse. The Modern Movement Towards the Future, 2016.

MACDONALD, S. 20th century heritage: recognition, protection and practical challenges. In: Icomos World Report 2002-2003 on monuments and sites in danger. Paris: Icomos, 2003.

\_\_\_\_\_. **Modern matters: principles and practice of conserving recent architecture**. Shaftesbury: Donhead, 1996.

\_\_\_\_\_. Materiality, monumentality and modernism: continuing challenges in conserving twentieth-century places. In: **(Un) Loved Modern: Conservation of 20<sup>th</sup> Century Heritage Conference**, Sydney, jul. de 2009.

\_\_\_\_\_; NORMANDIN, K.; KINDRED, B. **Conservation of Modern Architecture**. Shaftesbury: Donhead, 2007.

MACEDO, D. M. **Da matéria à invenção: as obras de Oscar Niemeyer em Minas Gerais: 1938-1955**. Brasília: Câmara dos Deputados, Coordenação de Publicações, 2008.

\_\_\_\_\_; LIMA, B. L.; SILVA, E. G. Aço e Alumínio nas Fachadas da Câmara dos Deputados. In: **IV Seminário Docomomo Sul: pedra, barro e metal: norma e licença na Arquitetura Moderna do Cone Sul Americano 1930/70**, Porto Alegre, 2013.

\_\_\_\_\_; SILVA, E. G. **Ordens tectônicas no Palácio do Congresso Nacional**. Arqtextos, São Paulo, 131.00 ano 11, Vitruvius, abr 2011. Disponível em < <http://vitruvius.es/revistas/read/arqtextos/11.131/3829>>. Acesso em: 5 out. 2017.

\_\_\_\_\_; SOBREIRA, F. J. A. (Org.). **Forma estática – forma estética: ensaios de Joaquim Cardozo sobre arquitetura e engenharia**. Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2009.

MACHADO, M. P. N. M. **Manutenção preventiva de um edifício hospitalar**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Área de Especialização de Edificações, Lisboa, 2013.

MELO JÚNIOR, C. M. **Metodologia para Geração de Mapas de Danos de Fachadas a partir de Fotografias obtidas por Veículo Aéreo não Tripulado e Processamento Digital de Imagens**. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil). Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília, 2016.

MOREIRA, F. D. Os desafios postos pela conservação da arquitetura moderna. In: **Revista CPC**, São Paulo, n. 11, nov. 2010/abr. pp. 152-187, 2011.

MOURA, C. **Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA) – Manual de Referência**. Comissão Para Assuntos da Qualidade – Anfavea, 2000.

MUÑOZ VIÑAS, S. **Teoría contemporánea de la Restauración**. Madrid: Síntesis, 2003.

NIEMEYER, O. **Depoimento**. Módulo, Rio de Janeiro, v. 2, nº. 9, pp. 3-6, 1958.

\_\_\_\_\_. **Minha experiência em Brasília**. Gráfica Editora Itambé S. A. Rio de Janeiro, 1961.

NOVACAP – Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil. [Congresso Nacional], **Processo nº 38124/1965. Processos / Correspondências Protocoladas. Solicita proceder uma revisão geral em todas as dependências por entrada em recesso do Congresso Nacional. Ofício nº 1199 de 25 de novembro de 1965**. Pertencente ao acervo do Arquivo Público do Distrito Federal, 1965.

\_\_\_\_\_. [Congresso Nacional], **Processo nº 12087/1966. Contrato de empreitada que entre si fazem a Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil, e a firma Impeco Brás Impermeabilizantes e coberturas, para os serviços de impermeabilização e proteção do “espelho d’água” do Anexo I do Congresso Nacional, na Praça dos Três Poderes, em Brasília, Distrito Federal. jun.1966 / fev.1968**. Pertencente ao acervo do Arquivo Público do Distrito Federal, 1966.

OLIVEIRA, L. A. D. **Metodologia para desenvolvimento de projeto de fachadas leves**. Tese (Doutorado). São Paulo: Universidade de São Paulo, 2009.

OLIVEIRA, M. M. **Tecnologia da Conservação e da Restauração**. 4. ed. Salvador: EDUFBA, 2011.

\_\_\_\_\_. **Sobre Pedra, Arquitetura e Restauo**. *Geonomos* 24(2), pp. 21-29, 2016.

PAIVA, C. **Pedras no revestimento de fachadas**. Publicado originalmente em *Finestra*, nº 33, 2003. Disponível em <<https://www.arcoweb.com.br/finestra/tecnologia/revestimentos-01-05-2003>>. Acesso em 14 mar. 2019.

PORETTI, S. Marble Sheeting in Modern Architecture. In: **Stones in Modern Buildings – Principles of cladding**. Docomomo Preservation Technology Dossier 6, Roma: Docomomo International, pp. 14–18, 2003.

PRUDON, Theodore. **Preservation of modern architecture**. New York: John Wiley, 2008.

REDDING, J. Natural stone in the context of ageing curtain walls in the UK. In: JONGE, de W.; DOOLAR, Arjan. **Curtain Wall Refurbishment: a challenge to manage**, Docomomo conference proceedings; Vol. 1996, Eindhoven: DOCOMOMO International, pp. 13-45, 1997.

RIOS, R. B. **Proposta de Classificação Climática Diária e de Perfis Higrotérmicos Diários para Medições Térmicas em Inspeções de Fachada**. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

ROMERO, M.; VAVALLO, H. M. O microclima criado por espelhos d'água: estudo de caso do espelho d'água do Congresso Nacional. **Paranoá: cadernos de arquitetura e urbanismo**, v. 14, n. 14, 25 ago. 2015.

ROSCOE, M. T. **Patologia em Revestimento Cerâmico de Fachada**. Monografia (Especialização em Construção Civil). Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

SAKURADA, E. Y. **As técnicas de Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos e Análise da Árvore de Falhas no desenvolvimento e na avaliação de produtos**. Dissertação (Mestrado). Engenharia Mecânica da UFSC. Florianópolis, 2001.

SAMPAIO, J. A.; ALMEIDA, S. L. M. Capítulo 16 – Calcário e Dolomito. In: **Rochas e Minerais Industriais: usos e especificações**. Ed. Luz, Adão Benvindo da; Lins, Fernando A. Freitas. CETEM/2008, 2. Ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, pp. 363-391, 2008.

SANTOS, M. S. Os desafios de ser grande: o arranha-céu moderno e a experimentação tecnológica pós-segunda guerra. In: 11º Seminário Domomomo Brasil. **Anais...** Recife: Docomomo\_BR, pp. 1-12, 2016.

SCHEFFLER, M. J. Thin-Stone Veneer Building Facades: Evolution and Preservation. In: APT Bulletin: **The Journal of Preservation Technology**, v. 32, nº 1, Curtain Walls, pp. 27-34, 2001.

SILVA, A. F. F. D. **Previsão da vida útil em revestimentos de pedra natural de paredes**. Dissertação (Mestrado). Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, 2009.

\_\_\_\_\_; BRITO, J.; GASPAR, P. Modelo de previsão da vida útil de revestimentos de pedra natural de paredes. **Revista Engenharia Civil**, 41: pp. 35-50, 2011.

SILVA, E. G. S. **Os palácios originais de Brasília**. Tese (Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2012(a).

\_\_\_\_\_. **Nações Unidas e Congresso Nacional, Conexões e Preservação**. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

SILVA, M. N. B. **Avaliação quantitativa da degradação em vida útil de revestimentos de fachada – aplicação ao caso de Brasília/DF**, Tese (Doutorado), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

SILVA, P. M. **Conservar, uma questão de decisão: o julgamento na conservação da arquitetura moderna**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 2012(b).

SILVA, S. A. **Estado da arte na alterabilidade de placas pétreas: estudo de casos na região litorânea do Recife – PE**. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

SOUZA, N. R. **Análise comparativa entre os revestimentos externos de fachada ventilada e Corian® DuPont™**. Monografia (Especialização em Tecnologia e Gestão na Produção de Edifício) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica de São Paulo, São Paulo, 2016.

STELLIN, M. R. M. **Contribuição à escolha de mármore e granitos numa intervenção arquitetônica**. Tese (Doutorado em Engenharia no Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

TINOCO, J. E. L. Mapa de danos: recomendações básicas. In: **Textos Para Discussão: Série 2 – Gestão de restauro**, Olinda: Centro de Estudos de Conservação Integrada – CECI, v.43, pp.1-21, 2009.

TONDELO, P. G.; BARTH, F. Análise das manifestações patológicas em fachadas por meio de inspeção com VANT. In: **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, v.10, p.e 019009, fev. 2019. Disponível em: <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8652817>>. Acesso em: 12 abr. 2019.

TOSTÕES, A. Construção Moderna: as grandes mudanças do Século XX, in: HEITOR, M.; BRITO, B.; Rolo, F. (ed.), **Momentos de Inovação e Engenharia em Portugal no século XX**, Vol. 2 – Grandes Temas, Lisboa, Dom Quixote, pp.131-153, 2004.

VENEZIANI, G. **Depoimento – Programa de História Oral**. Arquivo Público do Distrito Federal, 1989.

VIDAL, F.V.; CASTRO, N.F.; FRASCÁ, M.H.B.O. Capítulo 1 – Introdução. In: VIDAL, F. V.; AZEVEDO, H. C. A.; CASTRO, N. F. **Tecnologia das Rochas Ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento**. CETEM, Rio de Janeiro, pp. 17-42, 2014.

ZANONI, V.A.G. **Influência dos agentes climáticos de degradação no comportamento higrotérmico de fachadas em Brasília**. Tese (Doutorado). Programa de pós-graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

\_\_\_\_\_; BUSON, M. *Matriz de criticidade na avaliação da qualidade construtiva do Programa Minha Casa Minha Vida*. In: **XIII Congresso Latino-Americano de Patologia da Construção, XV Congresso de Controlo da Qualidade na Construção, Congresso Luso-Africano da Construção, 2015, Lisboa. Anais**. Lisboa: Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 2015.

## DOSSIÊS DE PROJETOS DE ARQUITETURA E ENGENHARIA DO ACERVO DA CÂMARA DOS DEPUTADOS

CÂMARA DOS DEPUTADOS (CD), [Anexo I], **Dossiê ARQ-AI-0006: Congresso Nacional – Anexo I**. Pertencente ao Acervo da Câmara dos Deputados, 1958-1960.

CÂMARA DOS DEPUTADOS (CD), [Edifício Principal], **Dossiê ARQ-EP-0003 Projeto - Congresso Nacional - Acréscimo**. Pertencente ao Acervo da Câmara dos Deputados, 1971.

CÂMARA DOS DEPUTADOS (CD), [Anexo I], **Dossiê ARQ-AI-0311: Reforma Anexo I**. Pertencente ao Acervo da Câmara dos Deputados, 1984-1988.

CÂMARA DOS DEPUTADOS (CD), [Anexo I], **Dossiê HIN-AI-0316: Instalação de Combate a incêndio - Sprinklers – Anexo I**. Pertencente ao Acervo da Câmara dos Deputados, 1986-1988.

CÂMARA DOS DEPUTADOS (CD), [Anexo I], **Dossiê ELE-AI-0701: Elétrica – Anexo I**. Pertencente ao Acervo da Câmara dos Deputados, 1985(a).

CÂMARA DOS DEPUTADOS (CD), [Anexo I], **Dossiê HAG-AI-0702: Hidráulica – Água Fria – Anexo I**. Pertencente ao Acervo da Câmara dos Deputados, 1985(b).

CÂMARA DOS DEPUTADOS (CD), [Anexo I], **Dossiê HEG-AI-0703: Hidráulica – Esgoto – Anexo I**. Pertencente ao Acervo da Câmara dos Deputados, 1985(c).

CÂMARA DOS DEPUTADOS (CD), [Anexo I], **Dossiê ETE-AI-0704: Elétrica – Telefonia – Anexo I**. Pertencente ao Acervo da Câmara dos Deputados, 1985(d).

CÂMARA DOS DEPUTADOS (CD), [Anexo I], **Dossiê CRO-AI-0034: Reforma do Anexo I – Cronograma Físico**. Pertencente ao Acervo da Câmara dos Deputados, 1986(a).

CÂMARA DOS DEPUTADOS (CD), [Anexo I], **Dossiê ESO-AI-0319: Instalação Som - Anexo I**. Pertencente ao Acervo da Câmara dos Deputados, 1986(b).

CÂMARA DOS DEPUTADOS (CD), [Anexo I], **Dossiê STR-AI-0343: Cobertura Anexo I**. Pertencente ao Acervo da Câmara dos Deputados, 1986(c).

CÂMARA DOS DEPUTADOS (CD), [Anexo I], **Dossiê AIT-AI-0358: Máscara do conjunto de alto falantes para ao 2º e 20º pavimento**. Pertencente ao Acervo da Câmara dos Deputados, 1987(a).

CÂMARA DOS DEPUTADOS (CD), [Anexo I], **Dossiê ARQ-AI-0367: Anexo I – Reforma – Modulação na fórmica nas empenas Leste e Oeste**. Pertencente ao Acervo da Câmara dos Deputados, 1987(b).

**FICHA DE IDENTIFICAÇÃO DE DANOS**

EDIFÍCIO: Palácio do Congresso Nacional, Torre Sul

ORIENTAÇÃO DA FACHADA: Noroeste

**MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA**

Código: D4.1

Identificação: Desgaste na superfície

**REGISTRO FOTOGRÁFICO**

LOCALIZAÇÃO: Fachada Noroeste, trecho 01

**NATUREZA:**

Mecânica

Eletromagnética

Biológica

Química

Térmica

AGENTE: água, contaminantes químicos e biológicos

**CAUSAS PROVÁVEIS**

1. Contato da água do espelho com o sistema de revestimento.
2. Agentes biológicos de degradação presentes no espelho d'água, como excrementos de peixes e aves.
3. Produtos químicos agressivos usados na manutenção do espelho d'água.
4. Porosidade da rocha, que a deixa mais suscetível às alterações.

**MECANISMO DE DEGRADAÇÃO**

O contato da água do espelho d'água na superfície da rocha de revestimento do embasamento da empena provoca um processo de desgaste, decorrente da presença produtos químicos agressivos utilizados na manutenção e tratamento de água do espelho e de dejetos biológicos de peixes e ave.

**POSSÍVEIS DANOS (EFEITOS)**

Agravamento do desgaste da superfície da rocha, manchamentos e perda da estanqueidade, resultante do aumento da porosidade, perda de material ou erosão, que pode evoluir para fissuras, fraturas, descolamento, ou destacamento.

Observações:

Data: 18/09/2018

Responsável: Bruna Barbosa de Lima

## Conservação de Sistemas de Revestimento em mármore.<sup>1</sup>

Trata-se de perguntas relativas às rotinas de manutenção em sistemas de revestimento em mármore nas fachadas dos edifícios, a fim de balizar o estabelecimento de índices de priorização no escopo da manutenção preventiva.

Comece pelo seu nome, local de trabalho e atribuição.

Considere um sistema de revestimento poroso composto por placas de mármore assentadas sobre emboço e base de alvenaria ou concreto armado, além das juntas de assentamento e de movimentação.

Quanto ao estado de conservação, a gravidade do dano pode ser classificada segundo critérios relacionados à conservação do patrimônio edificado, ao meio ambiente e à saúde e segurança do usuário sendo classificados como (1) danos de menor grau de risco e geralmente reversíveis, e (5) danos de gravidade altamente crítica, irreversíveis e com risco ao usuário.

Escala de Risco:



1. Classifique as manifestações patológicas de 1 a 5:

	1	2	3	4	5
Manchas, sujidades, depósitos escuros	<input type="radio"/>				
Destacamento (consequência do descolamento e implica na queda de partes do sistema)	<input type="radio"/>				
Fissura contínua no plano do revestimento, fratura da placa	<input type="radio"/>				
Eflorescências, desgaste de superfície, perda de material, desagregação	<input type="radio"/>				

<sup>1</sup> Questionário adotado para balizar os critérios de criticidade de danos no método proposto.

Descolamento (perda de aderência, contudo sem a queda de partes do sistema)	<input type="radio"/>				
Fissura localizada na placa	<input type="radio"/>				
Pátina artificial, pintura localizada, vandalismo	<input type="radio"/>				
Deformação da placa	<input type="radio"/>				
Colonização biológica (plantas, microorganismos)	<input type="radio"/>				

A ocorrência de um dano refere-se à frequência com que esse dano ocorre, e pode variar segundo a escala:



A tomada de decisão para as ações de manutenção no sistema de revestimento será influenciada pela ocorrência do dano (assim como por sua gravidade). Uma grande área da fachada com sujeidade, por exemplo, pode não demandar ações de manutenção. Por outro lado, uma pequena área afetada por fissura contínua ou destacamento de placa pode requerer que ações sejam tomadas.

2. Para danos como PÁTINAS ARTIFICIAIS E VANDALISMO, a partir de qual área de fachada você considera uma ocorrência alta, que demanda ações de manutenção?

*Pátinas artificiais são causadas por pinturas ou tratamentos de superfícies que levam a alterações cromáticas, como, por exemplo, a aplicação de verniz ou impermeabilizante.*

5%                       10%                       20%                       30%                       50%

3. Para danos como MANCHAS E SUJIDADES, a partir de qual área de fachada você considera uma ocorrência alta, que demanda ações de manutenção?

*As manchas consistem na variação cromática localizada na superfície, relacionada à presença de determinados componentes naturais do próprio material ou ainda à presença de materiais estranhos, tais como água e produtos de oxidação de metais. Sujidade, por sua vez, consiste no acúmulo de materiais estranhos de naturezas diversas com pouca adesão ao substrato (ex: poeira, terra).*

5%                       10%                       20%                       30%                       50%

4. Para danos como FISSURA CONTIDA NA PLACA DE MÁRMORE, a partir de qual área da fachada você considera uma ocorrência alta, que demanda ações de manutenção?

*Trata-se de seccionamento na superfície ou em toda seção transversal de um componente, com abertura capilar.*

5%                       10%                       20%                       30%                       50%

5. Para danos como EFLORESCÊNCIAS, a partir de qual área da fachada você considera uma ocorrência alta, que demanda atenção?

As eflorescências são resultantes do transporte pela água de sais da própria rocha ou outros materiais componentes do sistema, como a argamassa, que, ao evaporar, depositam-se na superfície do mármore.

5%                       10%                       20%                       30%                       50%

6. Para danos como PERDA DE MATERIAL, DESGASTE DE SUPERFÍCIE E DESAGREGAÇÃO, a partir de qual área da fachada você considera uma ocorrência alta, que demanda atenção?

*Manifestações tidas como "perda de material" são decorrentes de ação mecânica, como lascamento, escoriação, perfuração. "Desgaste de superfície" inclui manifestações com desgaste superficial da placa de mármore por mecanismos diversos, como erosão química ou física, alveolização, degradação diferenciada. "Desagregação", por seu turno, refere-se a perda de pequenas partículas (grãos), componentes minerais da rocha.*

5%                       10%                       20%                       30%                       50%

7. Para danos como COLONIZAÇÃO BIOLÓGICA, a partir de qual área da fachada você considera uma ocorrência alta, que demanda atenção?

*Colonização biológica pode se caracterizar pelo crescimento de plantas ou pela colonização por microorganismos (musgo, líquen, fungo) que causa manchas por biodegradação.*

5%                       10%                       20%                       30%                       50%

8. Para danos como FALHAS NAS JUNTAS, a partir de qual área da fachada você considera uma ocorrência alta, que demanda atenção?

*As juntas no sistema de revestimento, sejam elas estruturais, de assentamento, de movimentação ou de dessolidarização, têm o papel de aliviar as tensões no sistema decorrentes de movimentações das camadas devido às variações de temperatura e umidade. Falhas nas juntas referem-se a problemas no seu dimensionamento, posicionamento ou composição que prejudicam o desempenho dessa função.*

5%                       10%                       20%                       30%                       50%

9. Para danos como DESCOLAMENTO DE PLACA E FISSURA CONTÍNUA NO PLANO DO REVESTIMENTO, a partir de qual área da fachada você considera uma ocorrência alta, que demanda intervenção?

*O descolamento decorre de perda de aderência, contudo sem a queda de partes do sistema. A fissura contínua no plano de revestimento consiste em abertura inferior ou igual a 0,5 mm que abrange mais de uma placa de mármore.*

5%                       10%                       20%                       30%                       50%

10. Para danos como DESTACAMENTO DE PLACA, a partir de qual área da fachada você considera uma ocorrência alta, que demanda intervenção?

*O destacamento é uma consequência do descolamento e implica na queda de partes do sistema - placas de mármore, nesse caso.*

5%                       10%                       20%                       30%                       50%

Tabela: Critérios de Classificação do Índice de Ocorrência da falha (O) para as bordas

Índice de Ocorrência (O)	Intervalos relativos à área de ocorrência do dano (bordas)		
	grupo 1 <sup>1</sup>	grupo 2 <sup>2</sup>	grupo 3 <sup>3</sup>
1	$O \leq 20\%$	$O \leq 5\%$	–
2	$20\% < O \leq 30\%$	$5\% < O \leq 20\%$	–
3	$30\% < O \leq 50\%$	$20\% < O \leq 30\%$	$20\% < O \leq 30\%$
4	$50\% < O \leq 70\%$	$30\% < O \leq 40\%$	$30\% < O \leq 40\%$
5	$O > 70\%$	$O > 40\%$	$O > 40\%$

grupo 1: inclui danos com Índice de Severidade (S) equivalente a 1, 2 e 3.

grupo 2: inclui danos com Índice de Severidade (S) equivalente a 4.

grupo 3: inclui danos com Índice de Severidade (S) equivalente a 5.

Fonte: Autora, 2019.

Tabela: Cálculo das médias de Classe de Risco de dano para as Fachadas Noroeste e Sudeste, Torre Sul do Palácio do Congresso Nacional - Análise Trecho a Trecho

Trecho	Fachada	CR	Fachada	CR
1	Noroeste	9	Sudeste	7,64
2	Noroeste	6	Sudeste	4,73
3	Noroeste	5	Sudeste	4,6
4	Noroeste	4,8	Sudeste	4,6
5	Noroeste	5,33	Sudeste	4,2
6	Noroeste	5	Sudeste	6
7	Noroeste	5,33	Sudeste	5
8	Noroeste	5,88	Sudeste	4,5
9	Noroeste	5,88	Sudeste	6
10	Noroeste	5	Sudeste	5,17
11	Noroeste	4,89	Sudeste	5
12	Noroeste	4,89	Sudeste	5,88
13	Noroeste	5,56	Sudeste	4,5
14	Noroeste	4,78	Sudeste	5
15	Noroeste	5,5	Sudeste	3,9
16	Noroeste	5,6	Sudeste	5
17	Noroeste	6,33	Sudeste	4,56
18	Noroeste	5,86	Sudeste	4,63
19	Noroeste	5,25	Sudeste	5,13
20	Noroeste	5,75	Sudeste	5,44
21	Noroeste	5,11	Sudeste	4,57
22	Noroeste	5,78	Sudeste	3,88
23	Noroeste	5,25	Sudeste	4,08
24	Noroeste	6,13	Sudeste	4,56
25	Noroeste	6	Sudeste	3,75
26	Noroeste	6,44	Sudeste	4,22
27	Noroeste	6,44	Sudeste	4,4
28	Noroeste	7,25	Sudeste	5,44
29	Noroeste	7,25	Sudeste	5,56
30	Noroeste	7,3	Sudeste	6,89

Fonte: Autora, 2019.

Tabela: Cálculo das médias de Classe de Risco de dano para as Fachadas Noroeste e Sudeste, Torre Sul do Palácio do Congresso Nacional - Análise do Agrupamento Gr\_1

Gr_1	Fachada	CR	Fachada	CR
1	Noroeste	6,76	Sudeste	5,69
2	Noroeste	5,03	Sudeste	4,81
3	Noroeste	5,68	Sudeste	5,13
4	Noroeste	4,92	Sudeste	5,35
5	Noroeste	5,59	Sudeste	4,57
6	Noroeste	5,36	Sudeste	5,08
7	Noroeste	5,72	Sudeste	4,17
8	Noroeste	6,3	Sudeste	4,15
9	Noroeste	7,27	Sudeste	5,96

Fonte: Autora, 2019.

Tabela: Principais características tecnológicas e petrográficas do mármore Branco Italva.

Mármore Branco Italva (Italva-RJ)									
Características tecnológicas									
Densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	2.855 ± 4								
Absorção de água (%)	0,10 ± 0,01								
Porosidade aparente (%)	0,29 ± 0,02								
Coefficiente de dilatação térmica linear (10-3mm/m.°C)	5,2								
Resistencia à compressão uniaxial (MPa)	88,2 ± 15,4								
Módulo de ruptura (MPa)	8,75 ± 1,33								
Resistencia à flexão (MPa)	5,58 ± 0,42								
Desgaste abrasivo (Amsler) – 1.000 m	5,4								
Resistência ao impacto (J)	0,45 ± 0,00								
<i>Nota: valores de resistência mecânica na condição seca</i>									
Características petrográficas									
Natureza	metamórfica								
Cor	branca acinzentada								
Estrutura	maciça								
Textura	granoblástica poligonal								
Minerais (%)	<table> <tr> <td>1. Dolomita</td> <td>90</td> </tr> <tr> <td>2. Calcita</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>3. Diopsídio + Actinolita</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>4. Mica incolor</td> <td>-</td> </tr> </table>	1. Dolomita	90	2. Calcita	5	3. Diopsídio + Actinolita	5	4. Mica incolor	-
1. Dolomita	90								
2. Calcita	5								
3. Diopsídio + Actinolita	5								
4. Mica incolor	-								
Granulação	Média (varia entre 1,0 e 2,5 mm)								
Classificação	Dolomita mármore								

Fonte: Frascá e Neves (2016), a partir de DRM (2003).