

Método de avaliação do estado de conservação de estruturas pré-fabricadas de concreto armado

Method for evaluating the state of conservation of prefabricated reinforced concrete structures

Método de evaluación del estado de conservación de estructuras prefabricadas de hormigón armado

Hisa Dutra Alves 

Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília. Brasília, Distrito Federal, Brasil.

Carlos Eduardo Luna de Melo* 

Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília. Brasília, Distrito Federal, Brasil. carlostluna@unb.br

* Autor correspondente.

CRediT

Contribuição de autoria: Concepção; Metodologia; Redação – rascunho original: ALVES, H. D. Concepção; Supervisão; Redação – revisão e edição: MELO, C. E. L.

Conflitos de interesse: Os autores certificam que não há conflito de interesse.

Financiamento: Não possui.

Aprovação de ética: Não aplicável.

Uso de I.A.: Os autores certificam que não houve uso de inteligência artificial na elaboração do trabalho.

Editor responsável: Daniel Sant'Ana (Editor-Chefe).

Resumo

O objetivo deste trabalho é propor um método de avaliação do estado de conservação de estruturas pré-fabricadas de concreto armado, tendo como referencial a metodologia FMECA – Análise dos Modos de Falhas, Efeitos e Criticidade. Foram sistematizadas três etapas: caracterização do sistema; análise do estado de conservação; e hierarquização de riscos. Os pilares pré-fabricados de concreto armado do Instituto Central de Ciências Norte da Universidade de Brasília foram escolhidos como objeto de estudo devido a relevância da edificação, tendo como característica processos construtivos inovadores no cenário da arquitetura moderna brasileira. Os resultados exibiram o nível de criticidade moderado em relação aos 168 pilares inspecionados. As análises revelaram uma precariedade na manutenção, não somente dos pilares, mas de toda edificação. Concluiu-se que o método proposto serve como instrumento para avaliar as manifestações patológicas em estruturas pré-fabricadas.

Palavras-Chave: Métodos de avaliação; FMECA; Concreto armado; Pré-fabricados.

Abstract

The objective of this work is to propose a method for evaluating the state of conservation of prefabricated reinforced concrete structures, using the FMECA methodology – Analysis of Failure Modes, Effects and Criticality as a reference. Three steps were systematized: system characterization; conservation status analysis; and risk ranking. The prefabricated reinforced concrete pillars of the Instituto Central de Ciências Norte of the University of Brasília were chosen as an object of study due to the relevance of the building, having as a characteristic innovative construction process in the scenario of modern Brazilian architecture. The results showed a moderate level of criticality in relation to the 168 inspected pillars. The analyzes revealed a precariousness in the maintenance, not only of the pillars, but of the entire building. It was concluded that the proposed method serves as an instrument to evaluate pathological manifestations in prefabricated structures.

Key-Words: Assessment methods; FMECA; Reinforced concrete; Prefabricated.

Resumen

El objetivo de este trabajo es proponer un método para evaluar el estado de conservación de estructuras prefabricadas de hormigón armado, utilizando como referencia la metodología FMECA – Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad. Se sistematizaron tres pasos: caracterización del sistema; análisis del estado de conservación; y clasificación de riesgos. Los pilares prefabricados de hormigón armado del Instituto Central de Ciências Norte de la Universidad de Brasília fueron elegidos como objeto de estudio debido a la relevancia del edificio, teniendo como característica procesos constructivos innovadores en el escenario de la arquitectura moderna brasileña. Los resultados mostraron un nivel moderado de criticidad en relación a los 168 pilares inspeccionados. Los análisis revelaron una precariedad en el mantenimiento, no solo de los pilares, sino de todo el edificio. Se concluyó que el método sirve como instrumento para evaluar manifestaciones patológicas en estructuras prefabricadas.

Palabras clave: Métodos de evaluación; FMECA; Concreto armado; Pré-fabricado.

1 Introdução

O desabamento de um edifício residencial em Miami, nos Estados Unidos, o desabamento de parte do viaduto da rodovia DF – 002, em Brasília, e o desabamento de uma laje do subsolo de um edifício residencial também na capital brasileira (Figura 1) foram sinistros da construção civil que tiveram grande repercussão na mídia e que ocorreram recentemente entre os anos de 2018 e 2021. Embora sejam tipos diferentes de estruturas, as ocorrências refletem, de certo modo, o nível de negligência em relação ao estado de conservação das estruturas.

Figura 1: Sinistros na construção civil.



Fonte: a) <<https://g1.globo.com/mundo/noticia/2021/06/25/desabamento-de-predio-na-regiao-de-miami-o-que-se-sabe-e-o-que-falta-saber.ghtml>>; b) <<https://www.metropoles.com/distrito-federal/asfalto-cede-no-eixo-monumental-no-viaduto-da-galeria-dos-estados?amp>>; c) <<https://cbn.globoradio.globo.com/media/audio/157833/laje-de-garagem-de-predio-desaba-em-brasilia-e-des.htm>>.

O trecho acidentado do viaduto da rodovia DF-002 é localizado na zona central de Brasília, próximo à Rodoviária do Plano Piloto, local de grande movimentação de pessoas e veículos. Vizinho ao setor que sofreu o colapso funcionava um restaurante com grande movimentação de pessoas, fato esse que evidenciou o grande potencial de danos causados pelo acidente, principalmente por ter ocorrido próximo ao horário de almoço. Felizmente ocorreram apenas danos materiais, em ambos os acidentes que ocorreram em Brasília.

Os relatórios de análise do sinistro do viaduto da rodovia em Brasília forneceram diferentes procedimentos de ações corretivas a serem adotadas. A Universidade de Brasília apontou como ação corretiva a demolição total do viaduto em questão. O Conselho Regional de Engenharia e Agronomia (CREA) do Distrito Federal (DF) apresentou como resolução a recuperação estrutural do viaduto. Já o Departamento de Estradas de Rodagem (DER) do DF, juntamente com a Companhia Urbanizadora da Nova Capital (NOVACAP), apresentaram como medida corretiva uma solução mista que consistia na demolição do setor entre os pilares da região colapsada e a recuperação estrutural dos demais setores do viaduto, bem como a substituição das galerias de águas pluviais por drenagem direta (SEDUH, 2017).

Apesar do decreto público 38.841, de 06 de fevereiro de 2018, que criou o Grupo de Trabalho responsável por analisar e propor soluções para a reconstrução do viaduto, e pelas emissões dos relatórios técnicos representarem um relativo avanço da área de avaliações sobre o estado de conservação de estruturas existentes, verificou-se que os relatórios forneceram diferentes resultados de procedimentos a serem adotados, fato que demonstra pouca confiabilidade nas diferentes ferramentas de inspeção existentes Brasil.

Observa-se, a partir da análise dos relatórios de inspeções, a necessidade da realização de estudos acerca das metodologias de inspeções de estruturas que considerem o estado de conservação, as manutenções periódicas, as condições de utilização e a qualidade do projeto estrutural. Vale salientar que a durabilidade das estruturas de concreto foi considerada apenas a partir da norma ABNT NBR 6118:2003, quando esta passou a ter critérios para o cobrimento da armadura em função da classe de agressividade ambiental, o que não ocorria nas versões anteriores da norma. Tal fato permitiu o avanço da corrosão das armaduras até mesmo em estruturas pré-fabricadas.

Blumenschein *et al.* (2015) evidencia a precariedade do conhecimento sistematizado de metodologias de inspeção no cenário da construção civil brasileira, havendo uma lacuna de conhecimento sólido sobre as práticas de avaliação e seus resultados, os quais sequer possuem divulgação ampla nacional. Assim sendo, espera-se que através de estudos sobre instrumentos de avaliação que possam ser disseminados e replicados em nível nacional, haverá o fortalecimento de práticas de avaliações com resultados confiáveis (Blumenschein *et al.*, 2015).

A busca por esta correta análise do estado de conservação e desempenho de elementos e até edificações vem sendo abordada por alguns autores, como Zanoni e Buson (2015), Khan *et al.* (2017), Vervloet (2018), Braga *et al.* (2019), Medeiros *et al.* (2019), Lima (2019) e Porto (2020). Castro (1994) desenvolveu a metodologia GDE, uma ferramenta que proporciona a quantificação das manifestações patológicas e suas evoluções, visando priorizar as ações de manutenção e que foi utilizada na avaliação do viaduto da rodovia DF-003 pela Universidade de Brasília.

No cenário atual, estados e municípios brasileiros utilizam de forma ampla como embasamento teórico conceitual para inspeções técnicas a metodologia de inspeção predial do Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia de São Paulo (IBAPE, 2012). Essa norma apresenta em seu escopo critérios de priorização por grau de criticidade, sendo respectivamente pelo: nível de criticidade; método GUT - Gravidade, Urgência e Tendência; e por fim, pelo método FMEA - Análise dos Modos de Falhas e Efeitos (BSI BS EN 60812, 2006).

Estes critérios de priorização da Norma IBAPE (2012) possuem características semelhantes por serem análises qualitativas, possuindo assim, relação direta com a avaliação subjetiva do profissional avaliador. Todavia, o método FMEA apresenta uma extensão de seu método, a metodologia FMECA - Análise dos Modos de Falha, Efeitos e Criticidade, que tem como objetivo avaliar o nível de criticidade do modo de falha observada nas inspeções técnicas (Military Standard, 1980). Apesar do Projeto de Lei nº 6.014/2013 que trata da obrigação de realização periódica de inspeções estar em tramitação no Congresso Nacional e indicar essa obrigatoriedade num futuro próximo, ainda não existe uma normativa técnica de referência unificada e disseminada amplamente.

Sendo assim, seguindo as lacunas expostas, este artigo tem como objetivo propor um método de avaliação do estado de conservação de estruturas pré-fabricadas de concreto armado, tendo como principal embasamento teórico para sua formulação o método FMECA, tendo como foco a identificação de modos de falhas potenciais, suas causas e efeitos.

2 Procedimentos metodológicos

O método proposto tem como base o método FMECA (Military Standard, 1980) e tem como principal objetivo avaliar o estado de conservação de estruturas pré-fabricadas de concreto armado. Através da realização de inspeções técnicas, esse objetivo deve ser alcançado por meio da identificação do nível de criticidade de cada elemento a ser vistoriado. Essa avaliação torna-se possível a partir da detecção dos modos de falhas, suas causas e efeitos na estrutura avaliada. Os modos de falhas referem-se à perda de funcionalidade de um objeto ou sistema, causado por falhas em seus componentes, tendo como resultado danos os quais são percebidos no modo que se manifestam e que são notados à percepção do usuário. Isto posto, os modos de falha podem ser representados como as manifestações patológicas em uma edificação (ABNT, 1994; Sakurada, 2001; ABNT, 2013; Zanoni; Buson, 2015; Lima, 2019). A metodologia FMECA considera além dos modos das falhas e seus danos, também a frequência de ocorrência, o nível de gravidade ou o grau de risco e a probabilidade de detecção dos modos de falha, sendo possível assim, calcular e definir uma hierarquização do risco do objeto de estudo (ABNT, 1994; Sakurada, 2001).

O número de prioridade de risco (*NPR*) define a prioridade da falha a partir da multiplicação do pelo índice de severidade (*S*), índice de ocorrência (*O*) e índice de detecção (*D*), podendo ser determinado pela Equação 1.

$$NPR = S \times O \times D \quad (1)$$

Onde:

NPR = Número de prioridade de risco

S = Índice de severidade: refere-se à gravidade do efeito do modo de falha na função 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

Após o cálculo do *NPR* é possível hierarquizar as prioridades de ações de manutenção preventiva de cada elemento integrante do sistema a partir do desenvolvimento de uma matriz de criticidade (Machado, 2013; Zanoni; Buson, 2015). O método proposto visa avaliar o estado de conservação de estruturas na fase de uso da edificação a partir inspeções, conforme o que preconiza a norma ABNT NBR 15575-1:2013, que exige que as avaliações de campo só devem ser aceitas se a construção ou instalação tiver ocorrido há pelo menos dois anos. A seguir, são apresentadas as etapas de aplicação do método e os possíveis produtos de cada uma, a fim de se obter como resultado uma completa análise do estado de degradação de elementos pré-fabricados de concreto armado.

Etapa I – Caracterização do sistema

Esta etapa fundamenta-se no levantamento de dados históricos da edificação, como documentação técnica, processos administrativos, projetos e intervenções já realizadas. Ademais, realiza-se um levantamento fotográfico dos danos e condições de exposição presentes do sistema estrutural, além do possível levantamento de dados complementares, como realização de ensaios tecnológicos. O produto dessa primeira etapa será a construção do histórico de intervenções na edificação.

Etapa II – Análise do estado de conservação

Esta segunda etapa baseia-se na análise do estado de conservação de cada elemento, além da análise por grupos. Para a análise por elementos pré-fabricados, a primeira

subetapa se dá pela identificação dos modos de falhas, causas e efeitos de cada tipo de dano vistoriado in loco.

A segunda subetapa é a determinação dos índices de severidade, ocorrência para os danos resultantes dos modos de falhas. As Tabelas 1 e 2 apresentam os critérios de classificação dos índices a serem indicados a partir da inspeção realizada.

Tabela 1: Classificação do índice de severidade.

Categoria de risco	Índice de severidade	Critério de classificação do índice de severidade
Muito baixa	1	Danos: pichações, pinturas, colagens, cartazes. Danos que não possuem nenhum tipo de interação do meio ambiente, ou seja, não provocam nenhum prejuízo ou impactam na segurança aos usuários da edificação, ou ao meio ambiente. São geralmente reversíveis, ocorrendo de maneira pontual.
Baixa	2	Danos: fissuras/trincas, ninhos de concretagem. Danos que possuem interação do meio ambiente de forma física, ou seja, riscos que podem provocar algum tipo de prejuízo ao usuário visualmente e interferem diretamente na perda parcial de desempenho e funcionalidade do elemento, e conseqüentemente do sistema.
Moderada	3	Danos: manchas de umidade, bolor, eflorescências. Danos que possuem interação do meio ambiente de forma química e biológica. Riscos que interferem diretamente na perda parcial de desempenho e funcionalidade do sistema. Podem prejudicar em pequeno grau a segurança e saúde do usuário. Podem evoluir e acarretarem pontos de vulnerabilidade no sistema.
Alta	4	Danos: grau de corrosão sem perda de seção das armaduras. Danos que possuem interação do meio ambiente de forma química. Riscos de provocarem danos à segurança e saúde dos usuários ou ao meio ambiente. São danos que provocam perda de desempenho e funcionalidade, comprometendo diretamente a vida útil do sistema e edificação. Faz-se necessária a intervenção.
Muito alta	5	Danos: alto grau de corrosão com perda de seção das armaduras, deslocamento ou desaprumo. Danos que possuem interação do meio ambiente de forma química. Danos graves que comprometem a saúde e segurança do usuário e o meio ambiente. São resultantes de processo de degradação avançada. É necessária intervenção imediata.

Tabela 2: Classificação do índice de ocorrência.

Frequência da falha	Índice de ocorrência	Critério de classificação do índice de ocorrência
Muito baixa	1	A ocorrência do dano é insignificante ou com baixo risco de afetar a integridade estrutural, sendo assim, baseada na percepção do usuário. Gera baixo impacto em ações de manutenções.
Baixa	2	Ocorrência do dano até 1/4 do comprimento do elemento estrutural, com risco de integridade estrutural fora da zona de maior momento fletor do elemento inspecionado. Ações corretivas necessárias eventualmente em um escopo de manutenção preventiva.
Moderada	3	Ocorrência do dano acima de 1/4 do comprimento do elemento estrutural, com risco de integridade estrutural fora da zona de maior momento fletor do elemento inspecionado. Demanda um acompanhamento planejado em manutenções preventivas a fim de se evitar evolução dos danos.
Alta	4	Ocorrência do dano até 1/4 do comprimento do elemento estrutural, com risco de integridade estrutural na zona de maior momento fletor do elemento inspecionado. Demanda intervenção com brevidade, sendo necessárias medidas de ações corretivas.
Muito alta	5	Ocorrência do dano acima de 1/4 do comprimento do elemento estrutural, com risco de integridade estrutural na zona de maior momento fletor do elemento inspecionado. Demanda ações de manutenção corretivas imediatas.

A próxima subetapa é o cálculo do número de prioridade de risco (*NPR*), a partir da Equação 2. O *NPR* varia entre 1 e 25, e pode ser classificado como grau de risco mínimo ($NPR \leq 3$), moderado ($3 < NPR \leq 12$) e crítico ($12 < NPR \leq 25$).

$$NPR = S \times O \quad (2)$$

Onde:

NPR = Número de prioridade de risco

S = Índice de severidade: refere-se à gravidade do efeito do modo de falha na função do sistema

O = Índice de ocorrência: refere-se à frequência ou à probabilidade de a falha ocorrer

O produto gerado por essa subetapa é a matriz de criticidade, onde é possível fazer uma análise de criticidade dos danos, sem levar em consideração a detecção. Após o cálculo do NPR, a subetapa subsequente é a determinação do índice de detecção, que leva em consideração a complexidade das inspeções técnicas realizadas. A Tabela 3 apresenta as pontuações e os critérios estabelecidos relacionados à complexidade de inspeções técnicas.

Tabela 3: Classificação do índice de detecção.

Complexidade das inspeções técnicas	Índice de detecção	Critério de classificação do índice de detecção
Alta	1	Inspeção técnica com alta complexidade, visual com registro fotográfico, com ensaios destrutivos e medições.
Moderadamente alta	2	Inspeção técnica com alta complexidade, visual com registro fotográfico, com ensaios não destrutivos e medições.
Pequena	3	Inspeções técnicas com média complexidade, visual com registro fotográfico, sem ensaios técnicos, porém com realização de medições.
Muito pequena	4	Inspeções técnicas com baixa complexidade, visual com registro fotográfico, sem ensaios técnicos e medições.
Improvável	5	Inspeções técnicas com baixa complexidade, visual, sem registro fotográfico e sem realização de ensaios técnicos e medições.

Ao se obter os índices de detecção (D), é possível calcular o número de prioridade de risco com detecção ($NPRD$), a partir da Equação 3. O NPRD varia entre 1 a 125, onde pode ser classificado como criticidade mínima ($1 \leq NPRD \leq 27$), moderada ($27 < NPRD < 64$) e crítica ($64 \leq NPRD \leq 125$).

$$NPRD = NPR \times D \quad (3)$$

Onde:

$NPRD$ = Número de prioridade de risco com detecção

NPR = Número de prioridade de risco

D = Índice de detecção: refere-se à facilidade de se detectar uma falha

A próxima subetapa baseia-se no mapeamento dos danos vistoriados durante as inspeções técnicas. O mapeamento é um produto da classificação dos danos pelos índices de severidade (S). O método proposto agrupa os danos a partir desse índice. A Tabela 4 mostra a classificação e codificação dos danos observados durante a inspeção.

Por fim, a última subetapa, a qual fundamenta-se na análise dos elementos pré-fabricados por grupo, foi convencionada a partir de que cada grupo de elementos de concreto armado alinhados/agrupados e orientados pelas mesmas fachadas (externas ou internas) e seus pontos cardeais de referência (norte ou sul, leste ou oeste), com o objetivo de organizar e facilitar a leitura dos dados e a análise, possibilitando assim, identificar a(s) zona(s) de tensão dos objetos de estudo.

O produto desta última subetapa, juntamente com a obtenção dos NPRD, é a matriz de correlação. Essa matriz representa a principal ferramenta para análise de criticidade do sistema objeto de estudo como um todo, pois além de representar por grupos o sistema

em avaliação em série, a matriz de correlação apresenta os níveis de criticidade e proporciona a identificação das zonas de tensão, sendo possível a percepção da planta baixa da edificação em estudo.

Tabela 4: Classificação e codificação de danos.

Índice de severidade	Legenda para identificação	Dano vistoriado
1	D1.1	Pichações/Pinturas
	D1.2	Colagens/Cartazes
2	D2.1	Fissuras/Trincas
	D2.1	Ninhos de concretagem
	D2.3	Desplacamento do concreto
3	D3.1	Manchas de umidade
	D3.2	Sinais de eflorescências
	D3.3	Vegetação (trepadeiras)
4	D4	Corrosão da armadura sem perda de seção
5	D5	Corrosão da armadura com perda de seção

A partir do trabalho de Lima (2019) foram estabelecidas as zonas de tensão, que são regiões vulneráveis e que possuem maior probabilidade de propagação dos danos existentes em virtude da exposição de seus elementos aos agentes de degradação, sendo mais suscetíveis à deterioração.

Etapa III – Hierarquização de riscos

A última etapa do método proposto consiste na análise dos resultados obtidos na Etapa II – Análise do estado de conservação. Tem como objetivo analisar as zonas de tensão identificadas através da matriz de correlação e assim, delinear os cenários (histórico, presente e provável futuro) do estado de conservação do objeto de estudo.

Nota-se que as etapas seguem o fluxo de investigação dos cenários do estado de conservação sobre os elementos a serem avaliados, onde a Etapa I consiste no delineamento do cenário histórico através da investigação de documentações e intervenções não só dos elementos mas da edificação como um todo; a Etapa II consiste na avaliação do cenário presente através do estudo do nível de criticidade presente nas inspeções, sendo manifestados através dos danos; e a Etapa III, a qual é representada pelos prováveis cenários futuros, avaliando-se as zonas de tensão, possibilitando diretrizes à um plano de manutenção e conservação da edificação, tendo como melhor entendimento o envelhecimento natural da edificação e seus componentes.

A fim de se proporcionar a possibilidade de replicabilidade do método proposto, foram listadas as três etapas de aplicação, englobando os procedimentos técnicos, diretrizes e os possíveis produtos resultantes das análises a serem produzidas.

3 Estudo de caso: os pilares do Instituto Central de Ciências Norte da Universidade de Brasília

Com o intuito de se experienciar o método proposto abordado no presente artigo, foram selecionados os pilares pré-fabricados de concreto armado do Instituto Central de Ciências Norte – ICC Norte, da Universidade de Brasília. Os resultados e análises obtidas através da aplicação do método são apresentados por agrupamento de alinhamentos orientados a partir das quatro fachadas da edificação (duas fachadas externas e duas fachadas internas), por trechos de acordo com a identificação dos pilares e por fim, pelo

seu todo, analisando-se o sistema dos pilares como componentes do sistema estrutural em questão.

3.1 Caracterização do sistema

O edifício Instituto Central de Ciências Norte da UnB caracteriza-se como sendo o principal prédio da universidade. Idealizado por Oscar Niemeyer, tendo como responsáveis técnicos os engenheiros Murilo S. Andrade e Bruno Contarini, o ICC agrupa quatro conjuntos de faculdades profissionalizantes, onde encontra-se as Ciências Médicas, as Ciências Artísticas e Arquitetônicas, as Ciências Humanas e as Ciências Tecnológicas (Fonseca, 2007). A Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU) da universidade se localiza no agrupamento das Ciências Arquitetônicas, no extremo norte da edificação.

O ICC comporta a maioria dos departamentos, faculdades, laboratórios e anfiteatros da UnB. O edifício simboliza a interdisciplinaridade entre os cursos, uma das principais idealizações de Niemeyer. No Brasil, em relação ao seu sistema construtivo, o ICC é considerado um símbolo da inovação e aplicabilidade da pré-fabricação, principalmente em seus elementos estruturais e arquitetônicos (Fonseca, 2007; Alberto, 2009).

Segundo Fonseca (2007), o ICC foi concluído em 1975 e sofreu algumas intervenções, com destaque ao reforço de fixação das platibandas e o reforço estrutural da laje do mezanino da entrada sul, ambos executados em meados da década de 1990. Os pilares pré-fabricados de concreto armado, elementos selecionados para serem o objeto de estudo, caracterizam-se como sendo elementos aparentes, semelhante a outros componentes do sistema estrutural da edificação, como as vigas de cobertura, longitudinais e transversais de concreto protendido, as vigas dos pisos do térreo e sobreloja protendidas, além dos mezaninos de concreto protendido e suas escadas de acesso.

Os pilares possuem seção transversal retangular, com dimensões de projeto de 0,20 m x 1,50 m cada, e altura de 10 metros. O espaçamento existente entre cada pilar é de aproximadamente 3 metros. Fabricados com encaixes a espera das vigas, os pilares possuem fundação que foram encaixadas em cavidades pré-estabelecidas nas sapatas, os quais ficaram apoiados diretamente nessa fundação (Figura 2).

Figura 2: Cavidades nas sapatas com o intuito de receberem os pilares pré-fabricados (a); Descida de água pluvial nos pilares externos (b); Armaduras de espera nos pilares (c).



Fonte: Fotos (a) e (b) Fonseca (2007)

Os pilares externos da edificação (fachadas leste e oeste) contêm, em seu interior, a presença de tubos de ferro fundido desde o vão da cobertura até o térreo. Cada tubo possui 100 mm de diâmetro e teve como função original de projeto proporcionar a descida de águas pluviais da cobertura (Fonseca, 2007).

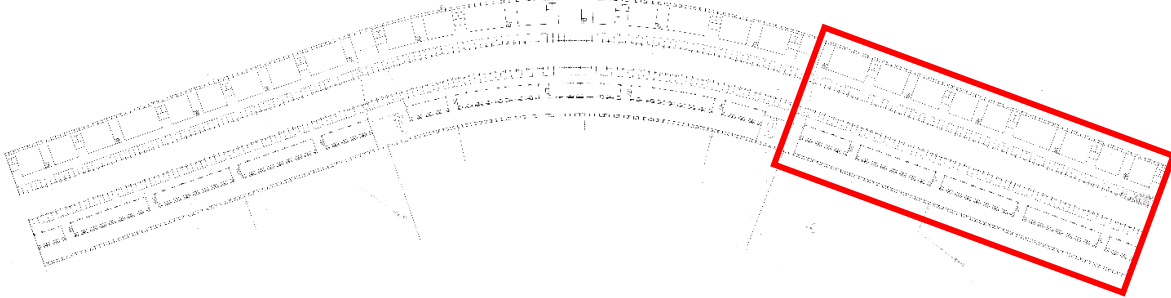
Outras características dos pilares, é a presença de aparelhos de apoio do tipo de dente Gerber, os quais possuem a funcionalidade receber as vigas longitudinais da edificação sobre o apoio de placas de neoprene. Ademais, uma característica permanente é que esses pilares ainda possuem armaduras de espera expostas, as quais deveriam ter recebido as coberturas de cascas de concreto, com o objetivo de realizar suas fixações – características originais do projeto, porém não construídas (Fonseca, 2007).

Os pilares estudados localizam-se na extremidade norte do ICC e foram escolhidos em virtude da grande extensão do edifício, o que inviabilizaria um estudo completo. Buscou-se uma região com representatividade de dados. A Figura 3 mostra a planta baixa do ICC, com destaque na região a qual localizam-se os pilares estudados.

Outras características dos pilares, é a presença de aparelhos de apoio do tipo de dente Gerber, os quais possuem a funcionalidade receber as vigas longitudinais da edificação sobre o apoio de placas de neoprene. Ademais, uma característica permanente é que esses pilares ainda possuem armaduras de espera expostas, as quais deveriam ter recebido as coberturas de cascas de concreto, com o objetivo de realizar suas fixações – características originais do projeto, porém não construídas (Fonseca, 2007).

Os pilares estudados localizam-se na extremidade norte do ICC e foram escolhidos em virtude da grande extensão do edifício, o que inviabilizaria um estudo completo. Buscou-se uma região com representatividade de dados. A Figura 3 mostra a planta baixa do ICC, com destaque na região a qual localizam-se os pilares estudados.

Figura 3: Planta baixa do ICC, com destaque em vermelho a ala norte.



Fonte: <https://ceplan.unb.br/index.php?option=com_phocadownload&view=category&id=3&Itemid=684&limitstart=0>

A partir de uma análise estatística, obteve-se um total de 171 pilares, com um erro amostral de 5%. Desse total, dividiu-se pelo número do total de fachadas do ICC Norte, determinando-se a quantidade de 42 pilares a serem inspecionados em cada uma das 4 fachadas (2 fachadas externas e 2 internas) da edificação.

Desta forma, agrupou-se o quantitativo de pilares de acordo com suas disposições nas 4 fachadas:

- Alinhamento A – Fachada Externa: 42 pilares externos do bloco B ala oeste;
- Alinhamento B – Fachada Interna: 42 pilares internos do bloco B ala leste;
- Alinhamento C – Fachada Interna: 42 pilares internos do bloco A ala oeste;
- Alinhamento D – Fachada Externa: 42 pilares externos do bloco A ala leste.

Entre os meses de outubro a dezembro de 2021 foram realizadas inspeções visuais com levantamento fotográfico, onde foi possível identificar os danos nos pilares do ICC Norte. Determinou-se também a intercalação entre as fileiras de pilares a serem inspecionados, a fim de se abranger a totalidade da amostra em cada um dos 4 alinhamentos.

A Figura 4, mostra a presença de ninhos de concretagem, deslocamento do concreto e corrosão das armaduras identificadas durante a inspeção.

Figura 4: Manifestações patológicas identificadas durante a inspeção.



3.2 Análise do estado de conservação

O início da segunda etapa da aplicação do método se baseou em classificar os danos de acordo com os índices de severidade (S) pré-estabelecidos. Após a coleta dos danos encontrados nos 168 pilares inspecionados no ICC Norte, foi elaborada a Tabela 5, a qual apresenta a porcentagem de pilares que possuem danos para cada alinhamento estudado.

Tabela 5: Porcentagem de pilares com danos para cada alinhamento.

Dano	Alinhamento			
	A	B	C	D
Pichações/pinturas	26%	38%	33%	95%
Colagens/cartazes	5%	2%	7%	17%
Fissuras/trincas	79%	93%	95%	100%
Ninhos de concretagem	98%	98%	100%	100%
Deslocamento do concreto	48%	5%	12%	45%
Manchas de umidade	100%	100%	100%	100%
Sinais de eflorescências	5%	---	2%	17%
Vegetação (trepadeiras)	5%	---	19%	5%
Corrosão da armadura sem perda de seção	36%	31%	31%	71%
Corrosão da armadura com perda de seção	17%	---	---	31%

Vale destacar que a soma total dos valores das porcentagens de cada dano em cada coluna dos alinhamentos apresentados na Tabela 5 ultrapassa o valor dos 100% devido a presença de mais de um tipo de dano simultaneamente em um mesmo pilar.

Infere-se, a partir dos resultados apresentados na Tabela 5, que os danos mais presentes nos 4 alinhamentos foram: fissuras/trincas, ninhos de concretagem e manchas de umidade. Ademais, foi verificado que todos os alinhamentos apresentaram danos com índice de severidade igual a 4 (sinais de corrosão da armadura sem perda de seção) e apenas os alinhamentos referentes às fachadas externas (alinhamentos A e D), que são mais suscetíveis à ação da umidade, apresentaram índice de severidade igual a 5 (sinais de corrosão da armadura com perda de seção).

A próxima etapa da aplicação do método foi a obtenção dos índices de ocorrência de cada pilar, e assim, posteriormente, o cálculo do número de prioridade de risco (NPR) dos pilares de cada um dos 4 alinhamentos, obtidos a partir da multiplicação dos índices de severidade (S) e ocorrência (O).

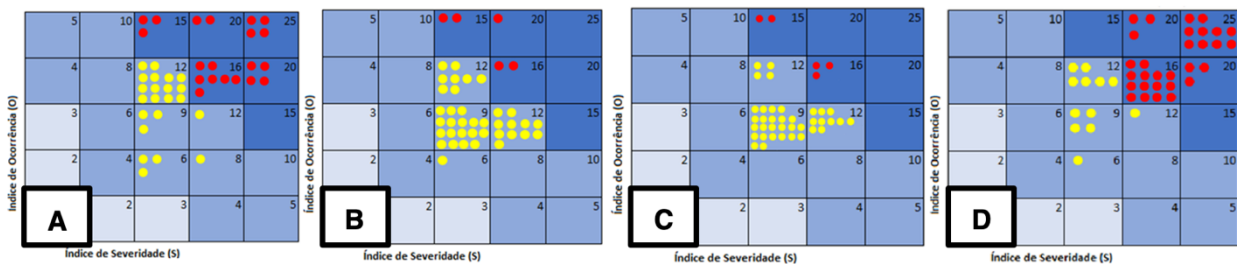
A partir desses dados foram elaboradas as matrizes de criticidade (Figura 5) com a legenda de classificação do número de prioridade de risco (NPR) (Tabela 6).

Tabela 6: Legenda para tabelas de classificação do número de prioridade de risco (NPR).

Critério de classificação do número de prioridade de risco	
	Grau de risco mínimo: $NPR \leq 3$
	Grau de risco moderado: $3 < NPR \leq 12$
	Grau de risco crítico: $12 < NPR \leq 25$

A Figura 5 mostra as matrizes de criticidade de 42 pilares de cada alinhamento, onde é observado o NPR dos pilares analisados e representados por um círculo com a devida cor que destaca o seu grau de risco, classificado de acordo com a Tabela 6. A partir da leitura das matrizes, é possível identificar que os NPR se encontram de forma majoritária na faixa de risco moderado nos alinhamentos B e C (fachadas internas). Já os NPR que se encontram em sua maioria na faixa de risco crítica, estão presentes nos alinhamentos A e D (fachadas externas) do ICC Norte. Nota-se também que o alinhamento D é o alinhamento com maior presença de NPR na faixa de grau de risco crítica e que nenhum dos 4 alinhamentos obtiveram índices de resultados na faixa de grau de risco mínimo.

Figura 5: Matrizes de criticidade do número de prioridade de risco (NPR) – Alinhamentos A, B, C e D.



A próxima ação da aplicação do método se deu a partir da classificação dos índices de detecção (D). Esse índice é determinado a partir da complexidade das inspeções técnicas, e como todas as inspeções do presente trabalho apresentaram coleta de medições e registros fotográficos, todavia, não foram contempladas com ensaios tecnológicos, classificou-se as inspeções para todos os pilares com média complexidade ($D = 3$).

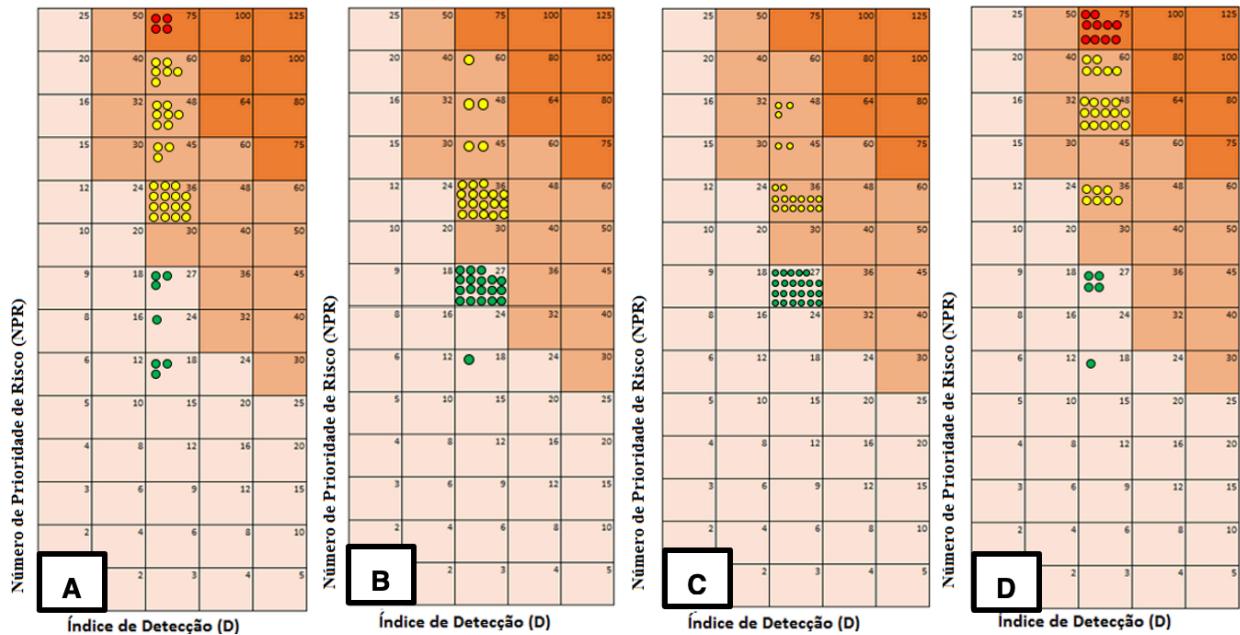
Assim, com os índices de NPR calculados, e com a obtenção do índice de detecção (D), foram obtidos os números de prioridade de risco com detecção (NPRD) para os 4 alinhamentos da edificação. Semelhante à construção das matrizes de criticidade, esses índices serviram como alicerces para a construção das matrizes do estado de conservação para cada alinhamento, as quais estão dispostas na Figura 6. A Tabela 7 mostra a legenda para classificação do número de prioridade de risco com detecção para as matrizes de criticidade.

Tabela 7: Legenda para a classificação do número de prioridade de risco com detecção (NPRD).

Critério de classificação do número de prioridade de risco com detecção	
	Nível de criticidade mínima: $NPRD \leq 27$
	Nível de criticidade moderada: $27 < NPRD < 64$
	Nível de criticidade crítica: $64 \leq NPRD \leq 125$

A Figura 6 mostra as matrizes de criticidade dos 42 pilares de cada alinhamento, onde é observado o NPRD dos pilares analisados e representados por um círculo com a devida cor que destaca o seu grau de risco, classificado de acordo com a Tabela 7.

Figura 5: Matrizes de criticidade do número de prioridade de risco (NPR) – Alinhamentos A, B, C e D.



A partir da leitura das matrizes do estado de conservação, nota-se que os alinhamentos A e D (fachadas externas) são os alinhamentos que possuem pilares com nível de criticidade crítica, com predominância no alinhamento D. Já os alinhamentos B e C (fachadas internas) possuem a maior quantidade de pilares classificados com nível de criticidade moderada.

Ressalta-se que o alinhamento D, fachada externa do bloco A do ICC Norte (localização da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília) possui então o mais alarmante estado de degradação dos pilares pré-fabricados de concreto armado de acordo com o recorte de fachadas do presente trabalho.

Após essa subetapa, procedeu-se a construção da matriz de correlação (Figura 7) a partir dos NPRD calculados e a localização dos pilares de acordo com a disposição deles na própria planta baixa da edificação. Destaca-se que nessa matriz, foram dispostos os 42 trechos de pilares verticalmente, e os alinhamentos horizontalmente, de modo que a visão dos quadrantes com os valores dos NPRD calculados estão centralizados para facilitar a leitura dos dados e disponibilizar assim, ao leitor, uma visão de vista superior da planta baixa do ICC Norte. A Tabela 8 mostra a legenda para a leitura da matriz de correlação.

Tabela 8: Legenda para leitura da matriz de correlação.

Legenda da matriz de correlação	
	Nível de criticidade mínima: $NPRD \leq 27$
	Nível de criticidade moderada: $27 < NPRD < 64$
	Nível de criticidade crítica: $64 \leq NPRD \leq 125$

A Figura 7 mostra o nível de criticidade de cada pilar, considerando a sua posição em relação ao edifício, com a identificação de cada alinhamento das fachadas do ICC Norte, evidenciando uma maior criticidade nos alinhamentos das fachadas externas, principalmente no alinhamento D. Nota-se que nenhum dos 42 trechos avaliados

(dispostos horizontalmente) apresentaram todos os 4 pilares com nível de criticidade mínima, com pelo menos 1 pilar com nível de criticidade moderado e/ou crítico.

Figura 7: Matriz de correlação do número de prioridade de risco com detecção (NPRD) para todos os alinhamentos.

		Alinhamentos			
		A	B	C	D
Número de identificação local	696	27	36	27	60
	690	75	27	27	75
	684	36	27	27	36
	678	75	36	48	36
	672	60	36	36	60
	666	36	36	36	48
	660	60	27	27	75
	654	60	36	36	48
	648	45	36	27	48
	642	36	36	48	48
	636	36	27	36	48
	630	36	27	27	48
	624	36	27	36	75
	618	36	27	36	60
	612	36	27	48	48
	606	36	60	27	60
	600	36	27	27	48
	594	45	48	36	75
	588	48	36	27	75
	582	36	27	36	60
	576	60	36	27	48
	570	75	36	27	48
	564	48	36	27	75
	558	36	48	36	75
	552	48	45	36	48
	546	48	45	27	36
	540	48	36	27	36
	534	75	36	27	27
	528	27	36	36	48
	522	36	36	36	75
	516	45	27	27	48
	510	60	27	27	27
504	36	27	27	27	
498	48	36	36	60	
492	36	27	27	27	
486	27	27	36	75	
480	48	27	45	75	
474	60	27	45	36	
468	24	36	27	18	
462	18	36	27	36	
456	18	18	27	36	
450	18	27	27	48	

Em relação ao nível de deterioração entre os alinhamentos, verifica-se que os maiores níveis de criticidade são observados nos alinhamentos D (fachada externa) e alinhamento A (fachada externa), seguidos pelos alinhamentos B (fachada interna) e por fim, o alinhamento C (fachada interna).

Por fim, foi realizada uma análise estatística dos resultados dos níveis de criticidade com o objetivo de comparar aos resultados das matrizes apresentadas (Tabela 9).

Tabela 9: Legenda para leitura da matriz de correlação.

Nível de Criticidade	Alinhamento A		Alinhamento B		Alinhamento C		Alinhamento D	
	Nº de Pilares	% do total	Nº de Pilares	% do total	Nº de Pilares	% do total	Nº de Pilares	% do total
Mínima	7	16,67	19	45,24	23	54,76	5	11,90
Moderada	31	73,81	23	54,76	19	45,24	27	64,29
Crítica	4	9,52	---	---	---	---	10	23,81
Total	42	100	42	100	42	100	42	100

A partir dos dados da Tabela 9, verifica-se que maioria dos pilares de cada alinhamento possuem nível de criticidade moderado. No entanto, percebe-se que os pilares situados nas fachadas externas, representadas pelos alinhamentos A e D, possuem nível de criticidade crítico, evidenciando uma maior urgência nas ações de manutenção. A Tabela 10 mostra o resumo da análise estatística dos pilares estudados.

Tabela 10: Nível de criticidade para todos os alinhamentos.

Alinhamento	Média do NPRD	Nível de criticidade média	Desvio padrão	Coefficiente de variação
A	44	Moderada	15,41	35%
B	33	Moderada	7,81	24%
C	32	Moderada	6,81	21%
D	51	Moderada	16,63	32%

A partir dos dados da Tabela 10, verifica-se que todos os alinhamentos possuem, em média, nível de criticidade moderada. Ademais, os alinhamentos A e D (fachadas externas) possuem a maior média do NPRD, ou seja, o maior nível de criticidade. Entre esses dois alinhamentos, o alinhamento D possui a maior média do NPRD. Esse dado corrobora com os dados das matrizes do estado de conservação e matriz de correlação.

Destaca-se que existe um alto valor de desvio padrão nos dados de nível de criticidade dos pilares do ICC Norte. Esse dado deve-se pela variação entre NPRD mínimos e críticos, como observa-se no alinhamento A, que apresenta pilares com NPRD entre 18 e 75. Nota-se que os alinhamentos que possuem apenas criticidade mínima e moderada (alinhamentos B e C) possuem os menores valores de desvio padrão da média do NPRD de seu alinhamento, como esperado.

3.3 Hierarquização de riscos

Os resultados das duas primeiras etapas permitiram concluir que as fachadas externas (alinhamentos A e D) contêm o maior nível de criticidade entre os 4 alinhamentos. Esse fato deve-se, provavelmente, pelo fato de ambos os alinhamentos estarem sujeitos aos fenômenos de degradação ocasionados por agentes climáticos, quando se comparado às fachadas internas (alinhamentos B e C). Os alinhamentos das fachadas externas sofrem mais contato direto a agentes agressivos, além de maiores movimentações higrotérmicas.

Em relação à hierarquização dos riscos e zonas de tensão, verificou-se que o alinhamento D, fachada externa do bloco pertencente à FAU da UnB, representa o alinhamento com maior nível de criticidade, sendo considerada a zona de tensão para uma maior degradação de todos os pilares do ICC Norte. Essa fachada externa específica tem como coordenação pelas rosas do vento, a fachada de orientação Noroeste na cidade de Brasília.

Os resultados do nível de criticidade do alinhamento D, orientado pela fachada externa leste da edificação, bem como as análises das zonas de tensão, corroboram com os resultados obtidos por Lima (2019) e Lima e Zanoni (2021), onde conclui-se que a orientação solar é um fator determinante para o estado de conservação de edificações, especialmente em relação à fenômenos de temperatura e umidade. A matriz de correlação destaca o alinhamento D como a zona de tensão em relação aos outros alinhamentos.

Por fim, os resultados obtidos a partir da aplicação do método proposto no estudo de caso, permitiram a constatação da necessidade de uma melhor gestão de manutenção,

não somente a respeito dos pilares pré-fabricados de concreto armado, mas de todo o ICC Norte da universidade.

4 Conclusões

As conclusões e análises apresentadas restringem-se a amostra de 168 pilares do ICC Norte da UnB, os quais foram inspecionados ao longo de 4 alinhamentos pré-definidos e agrupados pelas fachadas internas e externas da edificação.

Em relação aos resultados obtidos por Fonseca (2007), que avaliou todos os pilares do ICC, verificou-se que houve um aumento na quantidade de pilares situados nas faixas de criticidade moderada e crítica, evidenciando que os pilares estão sofrendo crescente deterioração ao longo dos anos, sendo de extrema importância ações corretivas, além da realização de um plano de manutenção para toda a edificação.

Verifica-se que a utilização das matrizes de criticidade e a matriz de correlação proporcionaram uma melhor visualização do nível de criticidade dos pilares avaliados por meio de inspeções técnicas, que contribuem na organização de um banco de informações acerca do estado de degradação das estruturas.

Os resultados obtidos pela aplicação do método proposto expõem a eficácia desse, sendo atestada a possibilidade de replicabilidade no método através de sua aplicação no objeto de estudo.

Destaca-se que conservação do Instituto Central de Ciências da Universidade de Brasília é de elevada importância, não somente pela preservação da sua estrutura, mas também pela preservação da memória da universidade. É de responsabilidade do setor responsável por manutenções, além de ações corretivas, promover uma cultura de manutenções preventivas e rotineiras.

Referência

ALBERTO, K. C. A pré-fabricação e outros temas projetuais para campi universitários na década de 1960: o caso da UnB. **Risco: Revista de Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo**, São Paulo, v. 10, p. 80-90, jan. 2009. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/risco/article/view/44781>. Acesso em: 02 fev. 2021.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5462: Confiabilidade e Mantenabilidade**. Rio de Janeiro, 1994.

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

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-2: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais**. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2003.

- BLUMENSCHHEIN, R. N. *et al.* **Habitação de interesse social: projetos urbanístico e arquitetônico e qualidade construtiva.** 1ª edição. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília. Brasília, 2015.
- BRAGA, I. C.; BRANDÃO, F. S.; RIBEIRO, F. R. C.; DIÓGENES, A. G. Application of GUT Matrix in the assessment of pathological manifestations in heritage constructions. **Revista ALCONPAT**, n.9 v.3, pp. 320 – 335, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v9i3.400>.
- BSI - BRITISH STANDARD INSTITUTION. **BS EN 60812: Analysis techniques for system reliability – Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA).** London, 2006.
- CASTRO, E. K. **Desenvolvimento de Metodologia para Manutenção de Estruturas de Concreto Armado.** 1994. 139 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1994.
- FONSECA, R. P. **A estrutura do Instituto Central de Ciências: Aspectos históricos, científicos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e propostas de manutenção.** Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da UnB. Brasília, DF, 2007.
- IBAPE - Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia. **Norma de Inspeção Predial,** São Paulo, 2012.
- KHAN, M. A; DEEP S; ASSIM M; KHAN Z. R. Quantization of risks involved in supply of ready mix concrete in construction industry in indian scenario. **International Journal of Civil Engineering and Technology**, v.8, n.3, p. 175–184, 2017.
- LIMA, B. B. **Sistema de Revestimento em Mármore nas Fachadas do Congresso Nacional – Cenários do Estado de Conservação.** Dissertação (Mestrado). Departamento de Arquitetura e Urbanismo da UnB. Brasília, 2019.
- LIMA, B.B., ZANONI, V.A.G. Brazilian Palace of Congress: a Study of the Marble Cladding System State of Conservation. **Journal of Building Pathology and Rehabilitation**, v.6, n.11 (2021). <https://doi.org/10.1007/s41024-021-00105-6>
- MACHADO, M. P. N. M. **Manutenção Preventiva de um Edifício Hospitalar.** Dissertação (Mestrado). Engenharia Civil do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Lisboa, 2013.
- MEDEIROS, A. G. de; SÁ, M. das V. V. A. de; SILVA FILHO, J. N. da; ANJOS, M. A. S. dos. Aplicação de metodologias de inspeção em ponte de concreto armado. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 20, n. 3, p. 687-702, jul./set. 2019.
- MILITARY STANDARD. **MIL-1629: Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis.** US Department of Defense, Washington, DC, 1980.
- PORTO, N. G. O. **Avaliação dos efeitos da deterioração de estruturas de betão armado - Aplicação a um reservatório elevado.** 2020. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil/Ambiente, Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2020.
- 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.

SECRETARIA DE ESTADO DE DESENVOLVIMENTO URBANO E HABITAÇÃO. **SEDUH DF GOV.** Disponível em: http://www.seduh.df.gov.br/wp-conteudo/uploads/2017/10/Apresentacao_recupera%C3%A7ao-estrutural_galeria-estados.pdf. Acesso em: 05 maio. 2020.

VERVLOET, S. **Análise de indicadores para execução de inspeção predial regular obrigatória e diretrizes para o corpo técnico.** Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2018.

ZANONI, V.A.G; 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.