

**PROJETO FINAL 2 DE GRADUAÇÃO**

**ESTUDO DE CASO - ANÁLISE DA DEGRADAÇÃO DE FACHADAS  
DE EDIFÍCIOS EM BRASÍLIA PELO MÉTODO DE MENSURAÇÃO  
DE DEGRADAÇÃO**

**BRUNO GONÇALVES DA SILVA**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E**  
**AMBIENTAL**

**ESTUDO DE CASO - ANÁLISE DA DEGRADAÇÃO DE**  
**FACHADAS DE EDIFÍCIOS EM BRASÍLIA PELO MÉTODO**  
**DE MENSURAÇÃO DE DEGRADAÇÃO**

**BRUNO GONÇALVES DA SILVA**

**ORIENTADORA: JÉSSICA SIQUEIRA DE SOUZA**

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL II EM ENGENHARIA**  
**CIVIL**

**BRASÍLIA/DF: MAIO/2022**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E  
AMBIENTAL**

**ESTUDO DE CASO - ANÁLISE DA DEGRADAÇÃO DE  
FACHADAS DE EDIFÍCIOS EM BRASÍLIA PELO MÉTODO  
DE MENSURAÇÃO DE DEGRADAÇÃO**

**BRUNO GONÇALVES DA SILVA**

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.**

**APROVADA POR:**

---

**Prof. Jessica Siqueira de Souza, DSc. (ENC/UnB)  
Orientador**

---

**Prof. Cláudio Henrique de A. F. Pereira, DSc. (ENC/UnB)  
Examinador Interno**

---

**Prof. João Henrique da Silva Rêgo, DSc. (ENC/UnB)  
Examinador Interno**

**Dedico este trabalho a minha esposa Daniela, aos meus pais Vanderlei e Fatima e ao meu sogro Daniel. Pessoas que me apoiaram durante o período do meu Curso de Graduação.**

## **RESUMO**

A fachada ou envoltória é a primeira camada protetora contra os agentes atmosféricos atuantes em uma edificação e apresenta, ao longo da vida útil, manifestações patológicas nesta camada. Com o tempo é esperada uma queda natural do desempenho. A presente pesquisa busca analisar a degradação das fachadas de cinco edifícios localizados em Brasília-DF, por meio do Método de Mensuração de Degradação (MMD), que utiliza de mapeamento de danos para a análise de fachadas, por intermédio do cálculo de índices de degradação. Mensurados os danos das fachadas, avaliar aspectos em que as manifestações patológicas são mais frequentes. Busca-se com a presente pesquisa, contribuir como ferramenta de consulta e aplicabilidade para o campo da Engenharia Diagnóstica no que tange a inspeções de fachadas. Os resultados apontaram maior degradação para o revestimento cerâmico na zona de transição de pavimentos e na orientação cardinal Leste. Já para o revestimento tipo pedra, a zona topo e na orientação cardinal Sul resultaram em maiores danos.

Palavras-chave: Degradação; Fachada; Revestimento e Engenharia diagnóstica.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 OBJETIVOS .....	3
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>4</b>
2.1. DURABILIDADE DOS EDIFÍCIOS.....	4
2.2 DEGRADAÇÃO DE FACHADAS.....	5
2.3 INDICADORES DE DEGRADAÇÃO .....	6
2.4 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS COMUNS EM REVESTIMENTOS DE FACHADAS.....	7
2.5 MENSURAÇÃO DE DEGRADAÇÃO .....	12
<b>3. METODOLOGIA .....</b>	<b>14</b>
<b>4. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>18</b>
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>23</b>
5.1 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS .....	24
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>25</b>

## **LISTA DE FIGURAS**

- Figura 2.1 - Gráfico de desempenho x Durabilidade
- Figura 2.2 - Curva de degradação – Fator geral de degradação (FGD) X Tempo
- Figura 2.3 - Esquema ilustrativo do revestimento cerâmico
- Figura 2.4 - Eflorescência
- Figura 2.5 - Fissuras em fachadas
- Figura 2.6 - Ensaio a percussão
- Figura 2.7 - Descolamento cerâmico
- Figura 2.8 - Delimitação das zonas constituintes da fachada
- Figura 3.1 - Planta dos edifícios
- Figura 3.2 - Identificação dos edifícios
- Figura 3.3 - Estrutura da metodologia
- Figura 3.4 - Exemplo de orientação a ser considerada em função do azimute
- Figura 4.1 – Predominância e Fator de Danos dos revestimentos
- Figura 4.2 – FD Zonas
- Figura 4.3 – FD Orientação cardinal
- Figura 4.4 – Rev. Cerâmico (Zonas e Orientação Cardiais)
- Figura 4.5 – Rev. Pedra (Zonas e Orientações Cardiais)

## **LISTA DE ABREVIACÕES, SIGLAS E SÍMBOLOS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AB	Aberturas
CE	Cantos e Extremidades
DC	Descolamento Cerâmico
EF	Eflorescência
FD	Fator de Danos
FGD	Fator Geral de Danos
FI	Fissura
FQ	Ficha de Quantificação
FR	Falha de Rejunte
FV	Falha de Vedação
MMD	Método de Mensuração de Degradação
NBR	Norma Brasileira Registrada no INMETRO
PC	Paredes Contínuas
SC	Sacadas
TO	Topo
TP	Transição entre Pavimentos
UNB	Universidade de Brasília



# 1. INTRODUÇÃO

As fachadas têm como principais funções a proteção do edifício contra as intempéries e contribuem de maneira significativa no desempenho e durabilidade do edifício. Os diversos agentes atuantes sobre o edifício, denominados como agentes de degradação, compreendem todos aqueles ligados ao clima, fatores biológicos, esforços mecânicos e incompatibilidades de utilização. Tais agentes atuantes nas edificações geram a degradação nas fachadas das edificações. (SOUZA, 2019; SILVA, ZANONI, 2015).

Pesquisas que visam entender as variáveis que interferem no surgimento das diversas manifestações patológicas em fachadas vem sendo estimuladas. Com o objetivo de desenvolver metodologias alternativas que possam estabelecer parâmetros e índices para caracterizar e diagnosticar, de forma mais eficiente, as manifestações patológicas comuns em fachadas (SILVA, 2014).

A norma de desempenho ABNT NBR 15575 (2013) estabelece requisitos e critérios a serem atendidos pelos usuários. Estes são expressos em segurança, habitabilidade e sustentabilidade. O edifício deverá apresentar durabilidade compatível com a vida útil de projeto (VUP), permitir e favorecer ações de manutenção, além de ter os impactos ambientais reduzidos (NASCIMENTO, 2016). A NBR 16747 (2020), intitulada Inspeção Predial: diretrizes, conceitos, terminologia e procedimentos, preencheu importante lacuna do meio técnico e constituiu-se de uma ferramenta para a Engenharia Diagnóstica, que é a identificação das manifestações patológicas e falhas no nível de desempenho das construções (ou ausência delas), visando reparos e/ou aprimoramentos. A norma formaliza que a análise da edificação seja conduzida de forma sistêmica e integrada, com a padronização de conceitos, regras e procedimentos para a realização da inspeção predial (RIBEIRO e SANTOS, 2020).

Culturalmente, as manutenções periódicas que diminuem os riscos do surgimento de manifestações patológicas, não tem sido uma prática cotidiana do usuário brasileiro. O aspecto econômico pode ser associado à desvalorização do patrimônio edificado com a degradação, bem como, na necessidade de previsão de capital durante a fase de operação do edifício. Tecnicamente, a relação consiste na perda de desempenho e conseqüentemente diminuição da vida útil dos sistemas e componentes (NASCIMENTO, 2016).

Portanto, a presente pesquisa propõe mensurar o fator de danos das fachadas de cinco edifícios em Brasília, dos quais passaram por inspeção predial segundo a NBR 16747(2020). O Método de Mensuração de Degradação, que utiliza de mapeamento e quantificação de danos, é utilizado para obter os índices de degradação. Por fim, analisar-se-á dois tipos de revestimentos que estão entre os mais usados na construção civil, o cerâmico e o tipo pedra. Eles possuem inúmeras vantagens em relação aos demais revestimentos, onde se destacam pela facilidade de limpeza, melhoria de estanqueidade da vedação, conforto térmico e acústico da fachada e valorização econômica do empreendimento (FEITOSA, 2015).

## **1.1 OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GERAL**

Avaliar a degradação de cinco edifícios em Brasília-DF, por meio da aplicação do Método de Mensuração de Degradação (MMD) e analisar características que são mais suscetíveis ao surgimento de manifestações patológicas.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analisar a condição de degradação das edificações por meio do Fator de Danos (FD);
- Analisar a degradação em relação os tipos de revestimentos, zonas e orientação cardinal das fachadas das edificações;
- Realizar análise conjunta do tipo de revestimento, zona e orientação.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Pesquisadores tem abordado nos últimos anos os principais aspectos associados ao surgimento e à evolução dos processos de degradação dos edifícios, em particular das fachadas (ANTUNES, 2010; SILVA, 2014; SOUZA, 2016; NASCIMENTO, 2016; PINHEIRO 2017 e PIAZZAROLLO, 2019). Neste capítulo, será abordado assuntos que permitam fundamentar o conteúdo da presente pesquisa.

### **2.1. DURABILIDADE DOS EDIFÍCIOS**

A durabilidade é a capacidade dos edifícios ou seus componentes apresentam o melhor desempenho quando submetido a condições adversas de exposição ambiental, sem necessidade de reparação ou substituição de seus elementos. Por outro lado, a degradação é uma consequência do processo de envelhecimento natural, associado à exposição a condições ambientais adversas (MADUREIRA, 2017).

A fachada é um dos sistemas construtivos mais solicitados pelos diversos agentes atuantes sobre o edifício, tais como a chuva, vento, radiação solar, entre outros (FREITAS, 2013; PÉREZ *et al.*, 2017). Quando a fachada não atende o desempenho requerido, essa compromete a durabilidade do edifício como um todo. Aliado ao conforto e a estética do edifício, a durabilidade é uma exigência presente na construção de edifícios. A mudança na exigência dos usuários ou da utilização dos sistemas pode interferir na vida útil requerida do sistema e, conseqüentemente, na durabilidade (SOUZA, 2019).

A NBR 15575 (2013) estabelece que a vida útil é o período do edifício ou de suas partes em que o desempenho requerido é atendido. As normas definem procedimentos de previsão da vida útil de edificações já construídas, metodologia de previsão de vida útil dos componentes de edifícios baseados no desempenho técnico e funcional, requisitos para verificação do desempenho funcional, abordagens para garantir uma efetiva gestão da vida útil, assim como tratam dos custos e do impacto ambiental associados ao planejamento da vida útil (SOUZA, 2016; SILVA, 2014).

Nesse sentido, as manutenções têm papel importante para garantir o desempenho requerido no período no qual foi planejado. A Figura 2.1 exemplifica a relação direta entre a execução das manutenções e o aumento da vida útil de determinado sistema.

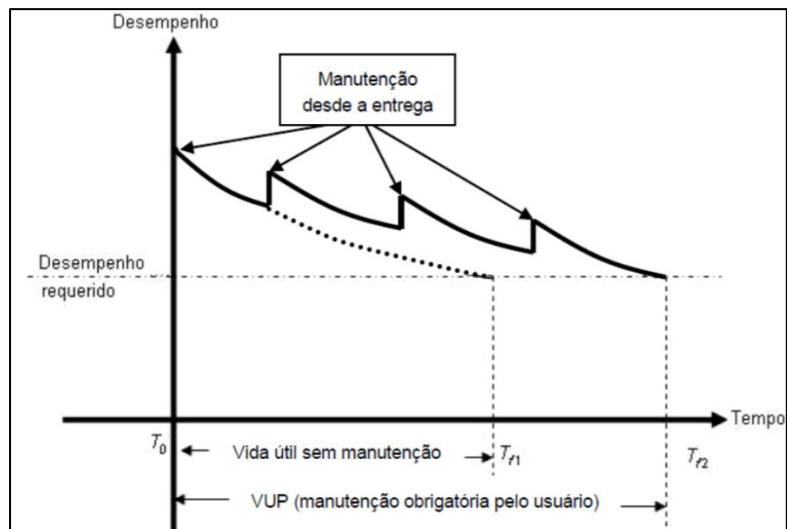


Figura 2.1 – Gráfico de desempenho x Durabilidade. (NBR 15575:2013 - PARTE 1)

## 2.2 DEGRADAÇÃO DE FACHADAS

A degradação resulta de fenômenos naturais que causam mudanças químicas, físicas e mecânicas dos sistemas e do uso do edifício (SOUZA, 2019). Agente de degradação é tudo aquilo que age sobre um sistema e contribui para reduzir seu desempenho. A degradação de fachadas é resultante de um ou vários agentes de degradação que prejudicam o desempenho da envoltória da edificação NBR 15575-1 (2013).

Os edifícios são construídos com a finalidade de abrigar atividades humanas, sendo diferenciada pelo seu uso, tais como habitacional, industrial e comercial. A consideração dos requisitos de desempenho exigidos pelos usuários é primordial no planejamento e construção de edifícios (SOUZA, 2019). As condições de exposição dos sistemas de envoltória do edifício devem também ser analisadas inicialmente, para que somente após esta análise seja projetado e construído o edifício (FREITAS 2016).

O sistema de envoltória é o mais suscetível, dentre os diversos sistemas constituintes das construções, ao processo de degradação devido a esse estar exposto a condições adversas e ser de difícil manutenção (MADUREIRA *et al.*, 2017). Os revestimentos de fachadas estão sujeitos a uma série de solicitações que influenciam na sua durabilidade, tais como a ação do vento, chuva dirigida, radiação solar, cargas, condições de uso, clima interno, entre outros (FREITAS, 2016). As solicitações impostas ao sistema de envoltória podem ser representadas pelos agentes de degradação. A ação dos agentes que condicionam o comportamento da degradação pode ser de origem exterior ou interior à construção.

Os agentes de origem exterior são resultados da atmosfera e do solo, tais como chuva, radiação, umidade, neve, entre outros. Estes agentes podem variar a intensidade conforme a cidade, tornando cada local com características particulares (SOUSA *et al.*, 2016). A diferença de microclima entre as cidades influencia o processo de degradação de cada edifício, especificamente as fachadas, pois há variação da intensidade de vento, chuva, incidência solar, qualidade do ar, entre outros (ALCHAPAR e CORREA, 2016). Os agentes de origem interior são resultantes do projeto e ocupação da construção, tais como sobrecargas, ruídos, intervenção de manutenção, produção de calor, dióxido de carbono, entre outros (SOUZA, 2019).

A condição de degradação pode ser avaliada por indicadores de degradação que representam a alteração de alguma característica de desempenho de um componente do edifício, isto é, perdas das características que são críticas para o desempenho. Para que seja possível realizar a estimativa de vida útil, os indicadores de degradação são relacionados ao tempo dando origem à curva de degradação (GASPAR E BRITO, 2008). A Figura 2.2 apresenta uma curva de degradação geral de um edifício, considerando todos os dados do Fator Geral de Danos (FGD) para as idades de 10, 18, 20, 30 e 40 anos (idade do edifício) (BAUER, 2020).

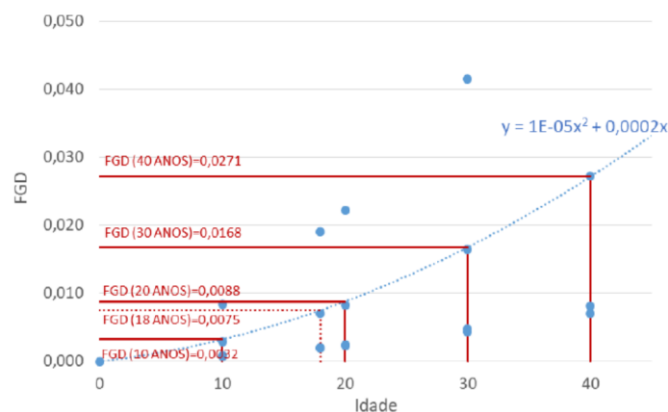


Figura 2.2 - Curva de degradação – Fator Geral de Degradação (FGD) X Tempo (BAUER, 2020)

### 2.3 INDICADORES DE DEGRADAÇÃO

De acordo com a ISO 15686-2 (2012), os indicadores de degradação quantificam fisicamente uma propriedade crítica, podendo assim medir a deficiência do desempenho das edificações.

O Método de Mensuração de Degradação (MMD), permite obter diversos indicadores de degradação, como, Fator de Danos, Fator Geral de Danos, Fator de danos ponderado e índice de Gravidade Relativa. O estudo do indicador de degradação Fator de Danos (FD) de uma amostra, é utilizado como diagnóstico inicial, pois este exprime um valor que pode ser utilizado em porcentagem para uma fácil quantificação de área total degradada em uma fachada (PINHEIRO, 2016).

A degradação existente em fachadas é decorrente de múltiplos fatores, devido à ação conjunta dos agentes de degradação. Os diversos fatores de degradação, condicionantes para o processo de degradação, que atuam sobre o sistema de revestimento de fachada e interferem na durabilidade devem ser considerados em projeto. A partir do momento em que a durabilidade é afetada, a vida útil do sistema fica comprometida (MADUREIRA *et al.*, 2017). Alguns agentes de degradação de origem exterior são, a ação da radiação solar, vento, chuva, poluição e distância do mar, ou seja, resultados das condições climáticas e atmosféricas (NASCIMENTO, 2016; SOUZA, 2019).

Nem sempre as causas da degradação são completamente conhecidas, pois depende também do que ocorreu antes do estágio de uso, do uso intensivo e da falta de manutenção. A fase que antecede o uso é a fase que envolve também projetos, qualidade de materiais usados e a execução.

O tempo é inquestionavelmente o principal fator de degradação, embora existam diversos fatores, pois, mesmo que um sistema de revestimento apresente as melhores condições possíveis, o envelhecimento deste sistema é de ordem natural (SILVA, 2016). Os fatores que afetam a durabilidade de edifícios podem ser subdivididos em duas categorias: a primeira relacionada com a durabilidade do sistema; e o segundo com a degradação e a agressividade do meio ambiente (SOUZA, 2019).

## **2.4 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS COMUNS EM REVESTIMENTOS DE FACHADAS**

Existem diversos sistemas de revestimento de fachadas, os quais são compostos por diferentes materiais que influenciam de forma significativa na durabilidade, manutenibilidade, custo, conforto térmico e acústico. No Distrito Federal, Brasil o sistema de vedação vertical comumente empregado é composto por alvenaria com revestimento

cerâmico ou em argamassa, com ou sem acabamento em tinta (AMORIM e FLORES, 2005). O uso de cerâmicas como revestimento de acabamento, ocorre devido a este material trazer benefícios quanto a facilidade de limpeza, durabilidade, diversidade de opções estéticas e a facilidade de aplicação. Entretanto, quando especificado ou executado de forma errado pode prejudicar o desempenho do sistema de vedação (SOUZA, 2019).

O sistema de revestimento cerâmico de fachadas é composto pelo conjunto monolítico de camadas, que formam corpo rígido, aderidas à base da fachada, cuja camada final refere-se às cerâmicas rejuntadas, conforme ilustrado na Figura 2.3. O sistema de fachada é um sistema descontínuo e heterogêneo, em que as propriedades físicas variam com a direção. Devido à baixa resistência a tração e capacidade de aderência irregular entre os materiais constituintes do sistema, esse apresenta comportamento mecânico não linear frágil (SOUSA *et al*, 2016).

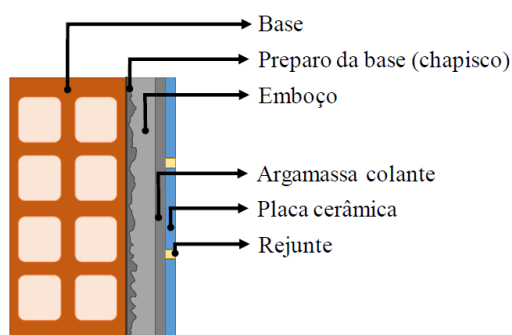


Figura 2.3 – Esquema ilustrativo do revestimento cerâmico (SOUZA, 2019)

O uso de elementos de reforços, por exemplo verga, contra vergas e telas metálicas, são necessários para aumentar a capacidade de deformação e resistência evitando a falha do sistema. As manifestações patológicas são causadas principalmente devido a aspectos relacionados a especificação de materiais, qualidade de projeto e execução (SOUSA *et al*, 2016).

O desempenho da fachada é reflexo de todos os procedimentos e detalhamentos de cada camada do sistema de vedação. Quando a especificação ou a execução é realizada de forma errônea o desempenho pode ser afetado. Pequenas aberturas no sistema de vedação permite o ingresso de água no sistema de revestimento de forma a comprometer a função de proteção contra agentes deletérios e facilitar a incidência de manifestações patológicas (GALBUSERA, 2015). As manifestações patológicas que ocorrem nos sistemas de revestimento cerâmico podem afetar não só o desempenho funcional do sistema, mas também o conforto do usuário. O ingresso de água, quando atinge ambientes internos,



prejudica a salubridade dos usuários. O impacto visual do excesso de manifestação patológica na fachada pode gerar insegurança e transtornos psicológicos aos usuários. (GALBUSERA, 2015).

Dentre as diversas manifestações patológicas comuns em sistemas de revestimento cerâmico, destaca-se a falha nas juntas, eflorescência, fissuração e descolamento cerâmico (BAUER, 2014). A falha nas juntas é caracterizada por lacunas no rejunte entre as cerâmicas. Essas ocorrem devido a incapacidade do rejunte não estar apto a absorver deformações, assim provocando aberturas que permitem o ingresso de umidade no sistema de revestimento e conseqüentemente não cumprir sua função de estanqueidade (SOUZA, 2019).

As eflorescências consistem em alterações da superfície do revestimento resultantes da migração de sais minerais solúveis em água (ABERLE, 2007). Geralmente, as eflorescências são caracterizadas por manchas esbranquiçadas sobre a superfície revestida (Figura 2.4). O surgimento de eflorescência ocorre quando há a coexistência de três condições: presença de umidade, presença sais solúveis nos materiais e condições ambientais que permitem o fluxo de água (JOFFILY E OLIVEIRA, 2013). Existe uma grande dificuldade na eliminação das condições relacionadas aos sais presentes nos materiais e a condições ambientais que permitem o fluxo de água. Portanto, a melhor forma de evitar o surgimento de eflorescência é evitar o ingresso de umidade no sistema (GONÇALVES, 2007).



Figura 2.4 - Eflorescência  
(Acervo próprio)

A fissuração geralmente ocorre devido a deformações induzidas, diretamente ou indiretamente, por esforços de tração. Essas são caracterizadas por pequenas discontinuidades no sistema de revestimento. O surgimento de fissuras (Figura 2.5) no

revestimento permite o ingresso de umidade no sistema podendo acarretar manifestações patológicas, tais como manchas, eflorescências, falha nas juntas e até mesmo descolamento cerâmico (CHAGAS, 2009).



Figura 2.5 - Fissuras em fachadas (SAHADE, 2005)

O descolamento cerâmico (Figura, 2.6) consiste na falha de aderência do revestimento ao substrato. A perda de aderência do revestimento ao substrato pode ocorrer em diferentes interfaces das camadas do sistema de vedação. O descolamento cerâmico, caracterizado pelas falhas ou rupturas na interface, geralmente ocorrem devido a incompatibilidade das propriedades de resistência dos materiais constituintes do sistema de revestimento, isto é, esforços que excedem a capacidade de aderência entre as camadas (GASPAR e BRITO) 2008). Por meio do ensaio a percussão (Figura, 2.7), o descolamento cerâmico é identificado pelo som cavo.



Figura 2.6 – Descolamento cerâmico (GALLETTO, 2013)

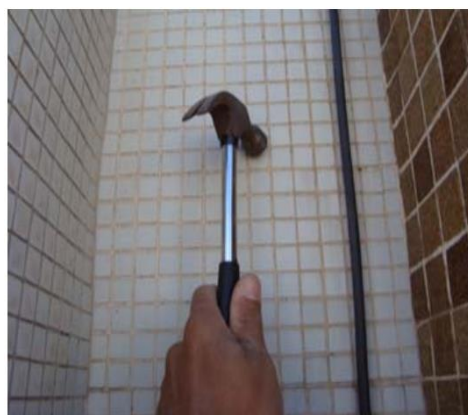


Figura 2.7 – Ensaio a percussão (GALLETTO, 2013)

Tem sido cada vez mais descoberto há ocorrência preferencial de manifestações patológicas em áreas específicas da fachada. Os fatores críticos para o surgimento de manifestações patológicas podem ser atribuídos à cada zona da fachada. Com o objetivo de identificar em quais áreas da fachada ocorrem mais manifestações patológicas e qual a preferência de áreas

em que essas ocorrem, Souza (2016) dividiu a fachadas em seis zonas comuns a todas as fachadas (Figura 2.8). As zonas foram determinadas em função da tipologia dos edifícios de Brasília.

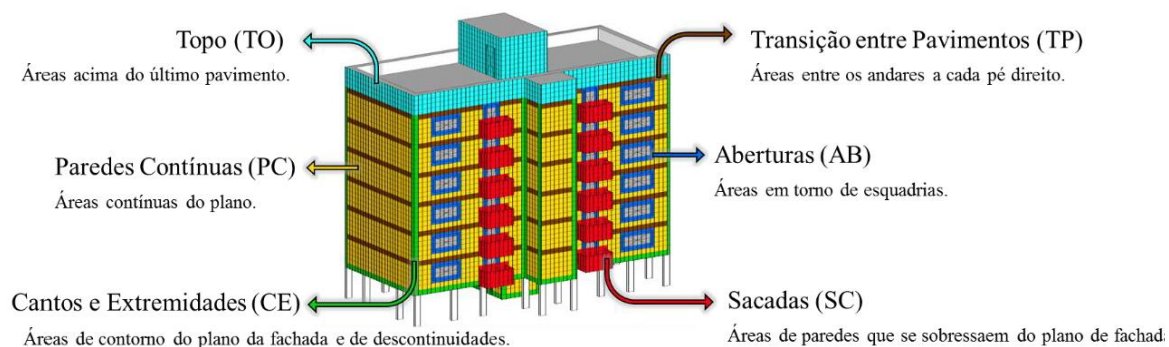


Figura 2.8 – Delimitação das zonas constituintes da fachada (PINHEIRO, 2017 e Adaptado por SOUZA, 2019)

As sacadas (SC) são áreas de paredes que se sobressaem do plano de fachada. Unidades diretamente sobrepostas à guarda-corpos e parapeitos de sacadas em balanço, unidades sobre marquises ou outros elementos que se sobressaiam a fachada, incluindo as unidades que estiverem sobre as extremidades desses elementos. A particularidade dessa região é o balanço do elemento do edifício. Guarda-corpos de varandas que existirem internamente ao edifício, sem se sobressair ao plano da fachada, não são classificadas nessa região. Podem ser classificadas como parede contínua (PC) e suas extremidades como cantos e extremidades (CE), ou como outras regiões que as podem definir. Se não possuírem esquadrias não devem ser consideradas regiões de abertura.

Aberturas (AB) são áreas em torno de janelas e portas. As unidades da fachada que serão consideradas nessa região serão aquelas que estiverem contornando aberturas, sobre as suas esquadrias, caixilhos ou extremidades. Unidades sobre trilhos e conexões de fechamentos de vidro sobre sacadas ou varandas também são consideradas unidades de abertura. As unidades que não estiverem contornando as extremidades e estiverem sobre a parte interior das aberturas não são classificadas em nenhuma região e não entram no somatório de área total da fachada. Falhas de vedação são manifestações patológicas típicas de aberturas, porém outras anomalias como fissuras e descolamentos cerâmicos também podem ocorrer nessa região.

Cantos e Extremidades (CE) são áreas de contorno do plano de fachada e de discontinuidades. As unidades classificadas como Cantos e extremidades serão as que estiverem diretamente ligadas as extremidades da fachada. Unidades no limite de reentrâncias ou projeções, também devem ser consideradas nessa classificação.

A Transição de Pavimentos (TP), são áreas entre os andares, isto é, zona que indica mudança de pavimento. Na zona de TP, a causa de manifestações patológicas é frequentemente associada a baixa resistência mecânica do material para suprir os esforços causados pela movimentação na interface entre alvenaria e viga.

Topo (TO), áreas acima do último pavimento. Unidades em áreas revestidas acima da laje de cobertura do último pavimento tipo. Unidades que estiverem sobre platibandas, paredes ou outro tipo de proteção, que se ergam acima da cobertura ou terraço do prédio.

Paredes Contínuas (PC), são áreas de planos contínuos de revestimentos sem discontinuidades, isto é, os panos fechados sem aberturas para janelas ou varandas. Que tem como finalidade a composição da envoltória e de vedação do elemento.

## **2.5 MENSURAÇÃO DE DEGRADAÇÃO**

O Método de Mensuração de Degradação (MMD) é uma metodologia que traduz a degradação existente em indicadores de degradação quantitativos. Essa metodologia foi desenvolvida por pesquisadores da Universidade de Brasília (ANTUNES, 2010; SILVA, 2014; SOUZA, 2016; NASCIMENTO, 2016; PINHEIRO 2017 e PIAZZAROLLO, 2019).

O MMD tem como objetivo mensurar a degradação de fachadas de edifícios. Esta metodologia é uma ferramenta que uniformiza as diferentes etapas da inspeção e quantificação da degradação. A avaliação da degradação em fachadas de edifícios é facilitada devido ao processo organizado, lógico e sistemático (SOUZA, 2016). O MMD é composto por procedimentos que envolvem investigação documental, inspeção de fachada *in loco*, mapeamento e quantificação de degradação (SILVA, 2014).

A investigação documental é a fase de levantamento de informações técnicas do edifício. Projetos arquitetônicos, estruturais, de revestimento, histórico de manutenções e dados sobre a região. O máximo de informações de caracterização possível, coletadas no próprio edifício, em repartições públicas ou por intermédio de moradores.

Fase de vistorias *in loco*, realização de inspeções visuais detalhadas com registro fotográfico da área de amostragem. A precisão na identificação das manifestações patológicas depende das inspeções visuais e da coleta correta dos levantamentos fotográficos, que deve ser capaz de identificar falhas e danos visíveis existentes no sistema de revestimento de fachada. Podem também ser empregados métodos para detecção de danos não visíveis, como o uso da termografia de infravermelho.

Na fase de mapeamento divide-se as fachadas em amostras a serem estudadas e os danos visíveis são demarcados em um desenho esquemático da área de cada trecho da fachada (SILVA, 2014). O estudo das zonas constituintes da fachada permite estabelecer os padrões de degradação ao longo da fachada. Esses padrões podem ser influenciados pelas zonas, pela orientação e elemento construtivo. A importância do estudo das zonas está diretamente relacionada à durabilidade, pois a identificação e correção das possíveis falhas contribuem para o aumento da vida útil dos revestimentos (POSSAN *et al.*, 2017).

Com a quantificação da degradação é possível gerar como resultado indicadores de degradação, um deles sendo o Fator de Danos (FD) que é calculado conforme apresentado na Equação:

$$FD = \frac{\sum A_{d(n)}}{A_t} \quad (\text{Equação 2.1})$$

Em que o  $FD$  é o Fator de Danos,  $A_{d(n)}$  é a área de determinada manifestação patológica (n) em  $m^2$  e  $A_t$  é a área total da amostra de fachada em  $m^2$ .

O FD pode ser calculado em função da degradação total geral e em função do somatório de área de manifestações patológicas específicas, pela degradação de cada região ou elemento de arquitetura, por faixas de idade de fachada ou por orientação cardinal (PINHEIRO, 2016).

Fachadas que apresentam maiores valores para o Fator de Danos são aquelas em que se constata maior processo de degradação (SILVA, 2014). O FD permite realizar diversas análises, tais como a distribuição das manifestações patológicas, as zonas mais degradadas, a orientação cardinal com maior tendência a degradar-se, degradação em tipos de revestimento, entre outras (PIAZZAROLLO, 2019).



### 3. METODOLOGIA

A presente pesquisa apresentará o estudo de cinco edifícios situados na cidade de Brasília-DF. A tipologia dos edifícios é idêntica, possuindo a mesma planta (Figura 3.1) com seis pavimentos e pilotis. As fachadas são compostas de revestimento cerâmico e de pedras de mármore, Figuras 3.2.

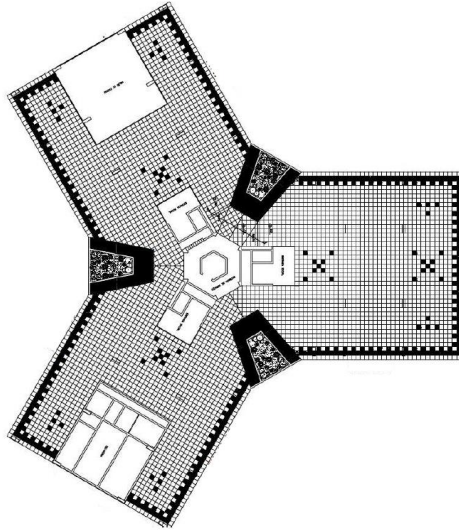


Figura 3.1 - Planta dos edifícios



Figura 3.2 - Identificação dos edifícios

Com o mapeamento das manifestações patológicas das fachadas, será aplicado o método de mensuração da degradação (MMD). O método permite avaliar a vida útil de fachadas das edificações. Além de permitir prever o possível comportamento da fachada ao longo do tempo. Tal método é útil para dar um diagnóstico da situação da fachada. O método inicia-se com a análise sensorial da edificação, em seguida é feita o mapeamento de danos e classificação dos danos da fachada. A partir desses mapeamentos é possível verificar visualmente a disposição das manifestações patológicas e com a aplicação do MMD quantificar a extensão das manifestações patológicas nas fachadas. A Figura 3.3 apresenta a metodologia em forma de fluxograma das etapas.



Figura 3.3 – Estrutura da metodologia

A análise sensorial, etapa fundamental para iniciar a inspeção predial, segundo a NBR 16747 (2020), significa analisar e interpretar características dos materiais como são percebidos pelos cinco sentidos: visão, olfato, gustação, tato e audição.

Em seguida, é necessário a contratação de um colaborador, com habilidades, certificado de alpinista e equipamentos de segurança, para a execução do ensaio de percussão. O teste se resume em, com um martelo metálico ou um martelo de nylon, o profissional fará batidas em toda a área de revestimento, caso apresente o barulho cavo, indica um excesso de ar dentro das paredes, o que pode resultar em infiltrações ou falha na aplicação do revestimento. Em seguida é marcada as áreas em que apresentarem problemas. O mapeamento é passado para o *software Auto Cad*, onde é sobreposto ao mapeamento da fachada uma malha que possui dimensão de 0,50 m x 0,50 m, com área igual a 0,25 m<sup>2</sup>, denominados como unidades de malha. Após a sobreposição da malha são definidos os andares. Em seguida são definidas as zonas constituintes da fachada, sendo aberturas, sacadas, cantos e extremidades, transição entre pavimentos, paredes contínuas, e por fim, topo. Finaliza-se a quantificação realizando a extração de dados do *software Auto Cad* para o *software Microsoft Excel*.

O passo seguinte corresponde a identificar as manifestações patológicas presentes no sistema, no caso da amostra analisada nesta pesquisa, há a existência de somente uma manifestação patológica, o descolamento cerâmico (DC). Em seguida a quantificação da área degradada e a área total de amostra da amostra da fachada. Com o mapeamento e quantitativo da manifestação patológica, é possível gerar os indicadores de degradação FD, por meio da área degradada em razão da área total (Equação 2.1).

Com o objetivo de identificar em quais áreas da fachada ocorrem mais manifestações patológicas e qual a preferência de áreas em que essas ocorrem, SOUZA (2016) dividiu a fachadas em seis zonas comuns a todas as fachadas (Figura 4.4).

Conforme proposto por GARRIDO (2012) e SILVA (2014), a orientação cardinal é determinada em função do azimute e classificada em uma das quatro principais: Norte, Sul, Leste e Oeste. A Figura 4.4 ilustra os critérios de definição de orientação para fachadas dos edifícios.

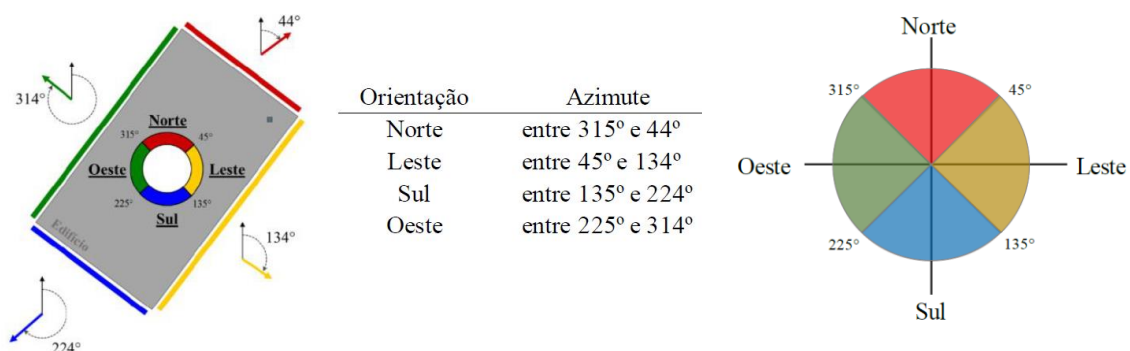


Figura 3.4 – Exemplo de orientação a ser considerada em função do azimute

A Tabela 3.1 apresenta como critério de avaliação do Fator de Danos, elaborado por SOUZA (2019), fundamentados pela análise exploratória de compreensão do indicador de degradação.



Tabela 3.1 - Descrição dos níveis de condição. SOUZA (2019) Adaptado

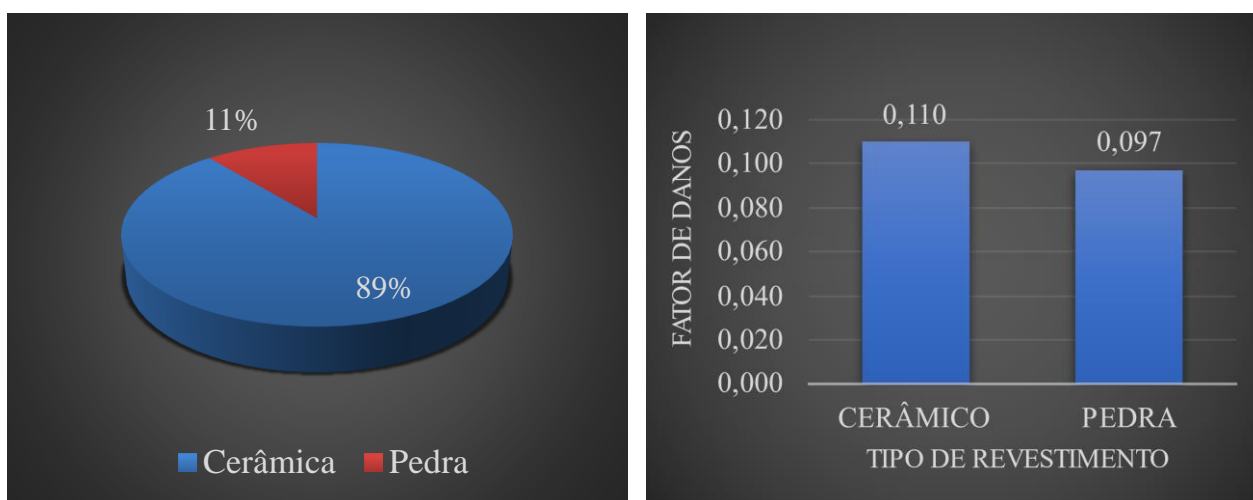
Nível de condição		% da Área Degradada Descolamento cerâmico	Descrição
1	Condição boa (aceitável)		Condição caracterizada por apresentar boas condições. A incidência de manifestações patológicas não prejudica a funcionalidade e durabilidade do sistema de vedação. Essa condição não causa riscos à segurança dos usuários. Nessa condição é sugerida a realização de manutenções preventivas.
2	Condição de degradação pontual	5%	Condição caracterizada pela presença de manifestações patológicas pontuais que prejudicam a funcionalidade do sistema de vedação. Entretanto não prejudicam a durabilidade e segurança dos usuários. Nessas condições é sugerida a realização de manutenções preditivas, isto é, manutenções periódicas que avaliem o desempenho do sistema.
3	Condição de estado limite de serviço	30%	Condição caracterizada pela presença generalizada e simultânea de manifestações patológicas que prejudicam a funcionalidade e durabilidade do sistema de vedação. O impacto visual do excesso de manifestações patológicas na fachada pode gerar insegurança e transtornos psicológicos aos usuários. Nessas condições é sugerida a realização de manutenções corretivas.
4	Condições de estado limite último	Maior que 30%	Condição caracterizada pela presença generalizada de manifestações patológicas que prejudicam a funcionalidade e durabilidade do sistema de vedação. Essa condição reduz significativamente os níveis de segurança apresentando risco de colapso ou ruína do sistema de vedação. Nessas condições é sugerida a realização de restauração ou reabilitação do sistema.

Os níveis de condição permitem agrupar e classificar o estado de degradação da fachada analisada. A análise do estado de degradação permite verificar a condição das manifestações patológicas e assim realizar associação com as ações de manutenção a serem realizadas, além de indicarem a se há urgência para o reparo (DIAS *et al.*, 2021)

#### 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Seguindo a metodologia descrita, após o mapeamento e quantificação da área degradada pela manifestação patológica, analisou-se a degradação por meio do cálculo do fator de danos, que avalia a extensão dos danos em função da área total amostrada e consiste em um parâmetro inicial de estudo importante (SILVA, 2014). Gerou-se uma amostra de quinze recortes da planificação das fachadas por edifício, totalizando 75 amostras planificadas.

O Fator de Dano total calculado foi de 10%, demonstrando nível de condição de degradação pontual, com manifestações patológicas pontuais que prejudicam a funcionalidade do sistema de vedação. Entretanto não prejudicam a durabilidade e segurança dos usuários (Tabela 4.1). A Figura 4.1 demonstra a distribuição dos tipos de revestimento presente nos cinco edifícios analisados e o fator de danos encontrado em tais revestimentos.



(A) – Predominância dos tipos de revestimento em porcentagem

(B) - Fator de danos para cada tipo de revestimento

Figura 4.1 – Predominancia e Fator de Danos dos revestimento

O revestimento predominante nos cinco edifícios, é o revestimento tipo cerâmico, com 89% da área. O restante consiste em revestimento tipo pedra com 11% da área de fachadas dos edifícios. O fator de dano calculado foi de 0,110 e 0,097, para o revestimento tipo cerâmico e tipo pedra respectivamente. Da porcentagem do revestimento cerâmico, 11% apresentam manifestações patológicas e em relação ao revestimento tipo pedra, 9% da área total do revestimento encontra-se degradada por descolamento.

A Figura 4.2 ilustra os valores obtidos para o Fator de Danos das regiões dos edifícios de cada tipo de revestimento. Sendo, PC – Paredes Contínuas; AB – Aberturas; SC – Sacadas; CE – Cantos e Extremidades; TP – Transição entre Pavimentos; TO – Topo.

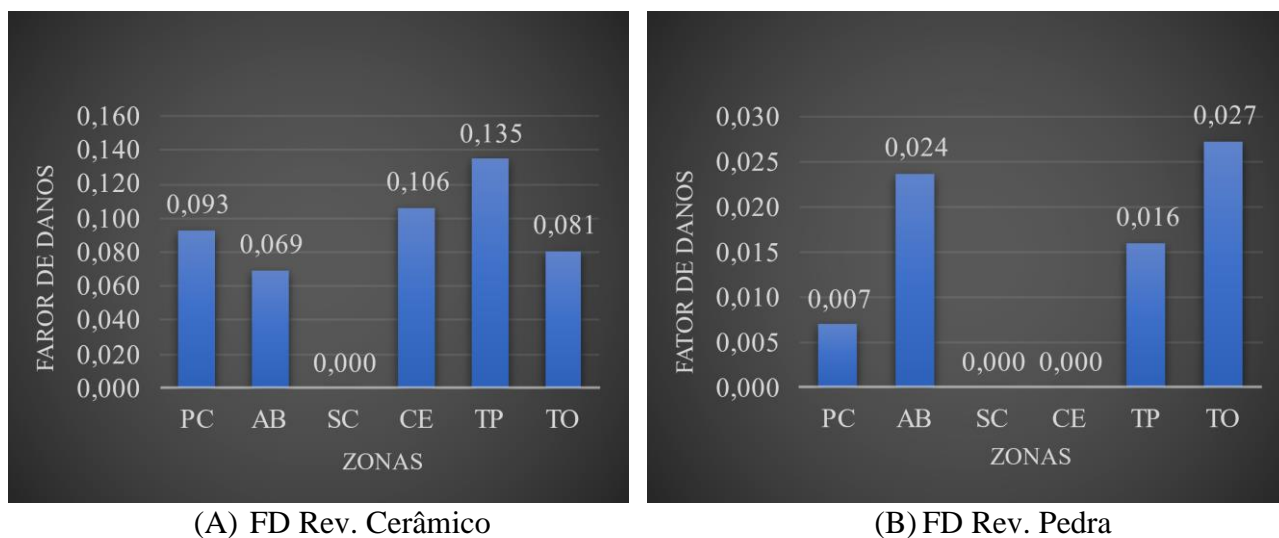
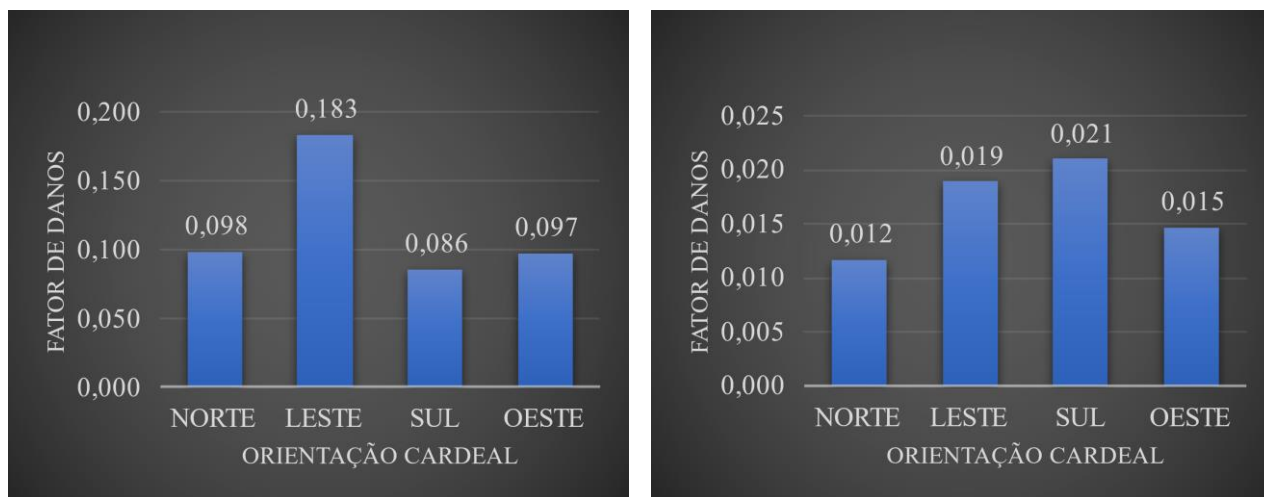


Figura 4.2 – FD Zonas

Considerando a manifestação patológica para cada zona, os resultados indicaram que para o tipo de revestimento cerâmico, o maior índice encontra-se na zona de transição de pavimentos, ou seja, locais onde há presença de estrutura. Já o revestimento tipo pedra, o maior índice se deu nas zonas de abertura e topo. Nota-se que há uma tendência a degradação diferenciada entre as zonas a depender do tipo de revestimento. Não houve a incidência da manifestação patológica em ambos os revestimentos na zona da sacada devido ser composta por peles de vidro e na zona cantos e extremidades para o revestimento pedra devido a ausência do material nesta região.

A Figura 4.3 ilustra o FD em relação a orientação cardinal das fachadas dos edifícios em cada tipo de revestimento.



(A) Rev. Cerâmico (B) FD Rev. Pedra  
 Figura 4.3 – FD Orientação cardeal

Para o tipo de revestimento cerâmico, as fachadas voltadas para o leste, foram as mais afetadas. Para o revestimento tipo pedra, as fachadas mais afetadas foram as voltadas para o sul. Tal resultado vai na direção oposta a estudos que afirmam que as orientações Norte e Oeste tendem a degradar-se mais rapidamente que as orientações Leste e Sul (FRANCINETE, 2015; NASCIMENTO, 2016). Porém, (LIMA & SANTOS, 2018) observaram em sua amostra que as fachadas Norte e Oeste tendem a ter mais fissuração, alavancando o FD de tais orientações. Como a presente amostra trata-se apenas de descolamento cerâmico, é possível que tal manifestação patológica realmente haja mais degradação nas orientações cardeais Leste e Sul, devido a ausência da manifestação patológica fissura. Em um estudo com maior amostra para descolamento cerâmico, encontrou-se resultados maiores de FD nas orientações Leste e Sul, (PIAZZAROLLO, 2019) justificou a presença do elemento caixa de escadas, que são tipos de elemento construtivo que tendem a apresentar maiores níveis de degradação por sua configuração arquitetônica.

Com a finalidade de aprofundar o estudo dos dados, realizou-se a análise combinada das variáveis, tipo de revestimento, orientação e zona. Tal combinação permite diagnosticar melhor as correlações das variáveis com a quantidade da manifestação patológica encontrada.

A figura 4.4 ilustra a zona transição de pavimentos (TP) como a mais degradada em todas as orientações cardeais onde há o revestimento cerâmico.

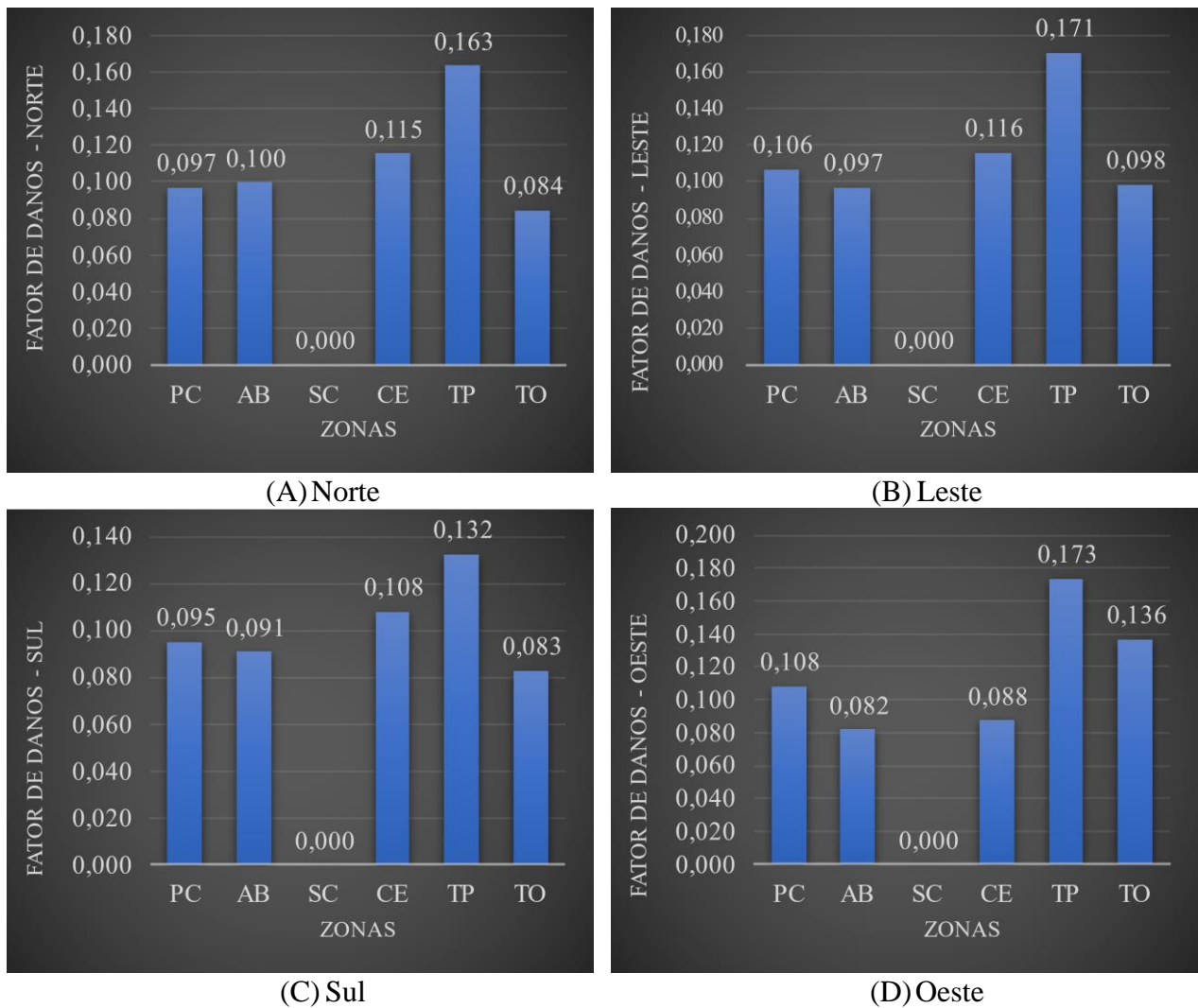
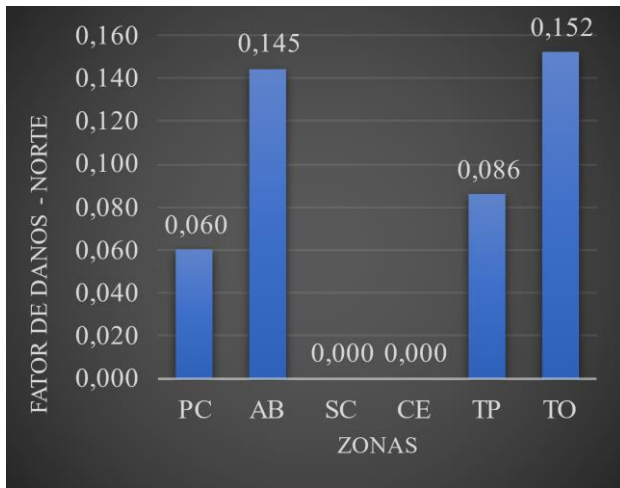


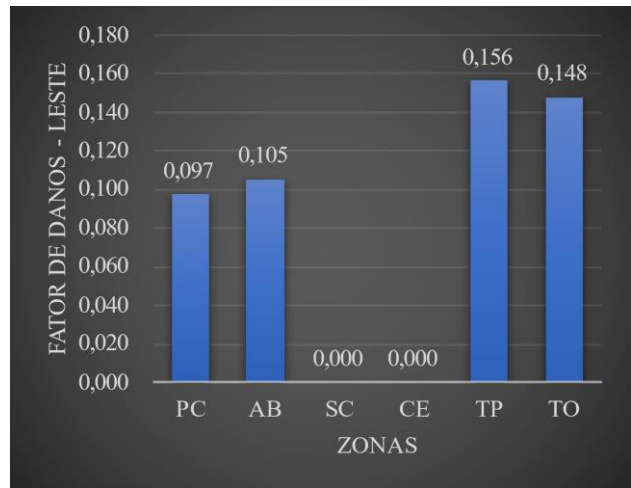
Figura 4.4 – Rev. Cerâmico (Zonas e Orientação Cardeais)

Tal zona é marcada pelo encontro de dois sistemas diferentes com materiais distintos, o sistema estrutural com o concreto e o sistema de vedação com o cerâmico. O encontro dos elementos causa tensões devido aos diferentes índices de deformações dos materiais. Resultando em maior impacto devido a movimentação da edificação. A região cardeal Oeste foi a que menos apresentou danos as demais zonas, convergindo com os dados ilustrados na Figura 4.3-A onde ilustra a orientação Oeste como a segunda menos impactada do revestimento tipo cerâmico.

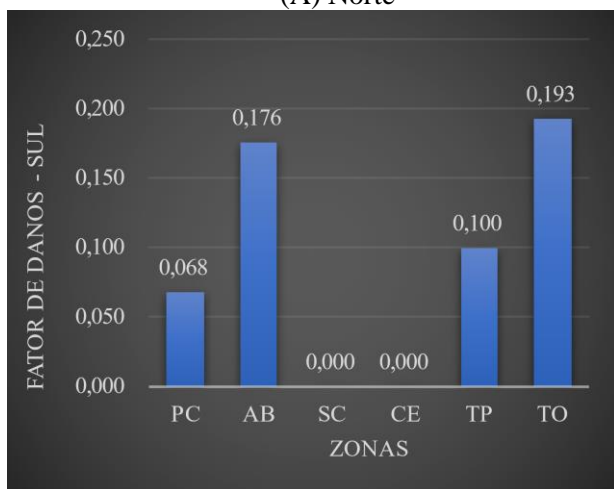
A Figura 4.5 apresenta a combinação das zonas com as orientações cardeais do revestimento tipo pedra.



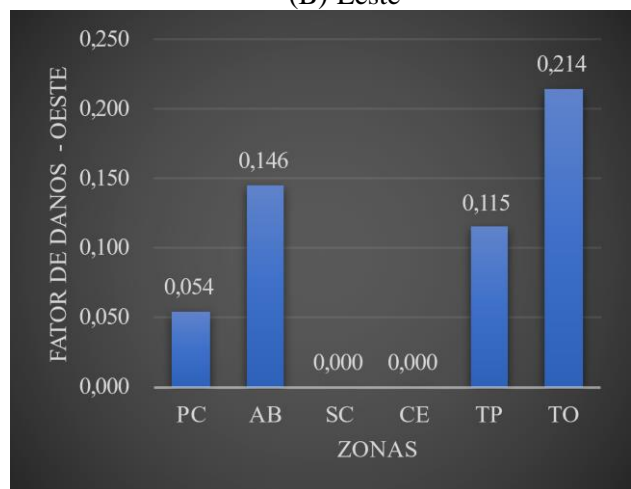
(A) Norte



(B) Leste



(C) Sul



(D) Oeste

Figura 4.5 – Rev. Pedra (Zonas e Orientações Cardeais)

A zona topo (TO), apresentou o maior Fator de Danos nas orientações onde há revestimento tipo pedra, com exceção da orientação leste. A maior radiação solar durante o dia, exposição direta a chuvas somado com a ausência de rufos pingadeiras nas platibandas, tornam a zona suscetível a absorção de umidade, que gera o fenômeno de lixiviação que por sua vez possibilita o descolamento cerâmico devido a perda de aderência entre a argamassa e o reboco. Na orientação norte a zona abertura (AB) se desta, podendo indicar mais danos próximo aos peitoris (geralmente de pedra) das janelas e sacadas.

A análise da ocorrência e a frequência de manifestações patológicas para as diferentes zonas e orientações é importante para verificar quais zonas apresentam maior criticidade. Com a finalidade de poder prever quais zonas e orientações necessitam talvez de propriedades diferentes dos demais. Na presente pesquisa observou-se maior degradação para o revestimento cerâmico na zona de TP e na orientação Leste. Já para o revestimento tipo pedra, a maior degradação danos na zona TO e na orientação Sul resultaram em maiores danos.

## 5. CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou a aplicação do Método de Mensuração de Degradação (MMD) para a avaliação dos danos em fachada de cinco edifícios de Brasília. Quantificou o grau de degradação pelo cálculo do Fator de Danos, demonstrando nível de condição de degradação pontual, com manifestações patológicas pontuais que prejudicam a funcionalidade do sistema de vedação, com 11% da área do revestimento cerâmico degradada e 9% da área do revestimento tipo pedra danificadas.

A análise das diferentes zonas da fachada evidencia uma tendência a degradação diferenciada entre as elas. A zona de transição de pavimentos tende a degradar-se com maior facilidade na orientação Leste, quando se tratando de revestimento cerâmico e a zona abertura e orientação cardinal Sul tendem a se tornarem mais críticas no decorrer do tempo para o revestimento tipo pedra.

A presente pesquisa levanta a hipótese de que o revestimento tipo cerâmico não se adere bem quando há transição de interface de materiais, ou seja, alvenaria e estrutura. E revestimento tipo pedra tem a vida útil menor quando aplicado no topo das edificações na orientação cardinal sul devido a pouca incidência solar, levando a demora da evaporação da umidade, retendo por um tempo maior a umidade em áreas onde há o revestimento tipo pedra.

Esta pesquisa serve a princípio, como ferramenta de retroalimentação para elaboração de novos projetos, de forma a prevenir o surgimento das manifestações patológicas. Cada projeto tem uma solução apropriada, desde que mantenha a capacidade de exercer as funções as quais lhe são exigidas. Portanto, a continuação do desenvolvimento desta pesquisa pode construir ferramentas que servirão para a prevenção e manutenção de sistemas de revestimento a partir de uma orientação direcionada a manutenção de cada tipo de revestimento, zona da fachada e orientação, atuando diretamente no reparo do sistema.

## **5.1 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS**

Visando dar continuidade ao estudo aqui realizado, propõe-se como trabalhos futuros:

- O uso de scanner a laser 3D para o mapeamento dos danos de fachada e o desenvolvimento de software para automatizar e otimizar os cálculos de FD de fachadas, por meio do quantitativo do levantamento gerado pelo scanner a laser 3D;
- Considerar manifestações patológicas em relação a altura com a finalidade obter possíveis padrões de degradação relacionados a altura e
- Considerar EPU (Expansão por umidade) e absorção de água dos revestimentos tipo cerâmica e pedra para justificar a maior incidência de degradação nas orientações sul e leste.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTUNES, G. R. Estudo de Manifestações Patológicas em Revestimentos de Fachada em Brasília: Sistematização da incidência de casos. 178p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Tecnologia. UnB, Brasília, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16745 Inspeção predial: diretrizes, conceitos, terminologia e procedimentos - Rio de Janeiro, 2020.

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

BAUER, E.; PAVÓN, E.; OLIVEIRA, E. Inspeção Termográfica De Fachadas– Investigação Da Influência Da Fissuração. 2016.

COSTA, Vitória Silveira *et al.* Análise comparativa do Método de Mensuração de Degradação e do Índice de Performance do Elemento no Levantamento das Edificações Inventariadas na Cidade de Pelotas/RS/Comparative analysis of the Degradation Measurement Method and the Performance Index of the Element in the Survey of Inventory Buildings in the City of Pelotas/RS. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 10, p. 76981-77000, 2020.

DIAS, A. V., de SOUZA, J. S., & NASCIMENTO, M. L. Influência das ações de manutenção na durabilidade de revestimentos de fachadas Influence of maintenance actions on the durability of facade cladding.2021

FEITOSA, I. M. Revestimentos cerâmicos e suas aplicabilidades. Ciências Exatas e Tecnológicas, Cadernos de Graduação, Maceió, Alagoas, 2015.

GALBUSERA, M. M.; BRITO, J.; SILVA, A. The importance of the quality of sampling in service life prediction. Construction and Building Materials, v. 66, p. 19-29, 2014.

GALLETTO, A e ANDRELLO, J. M. Patologia em fachadas com revestimentos cerâmicos, CIPAN – Congresso Internacional sobre Patologia y Recuperación de Estructuras. Jão Pessoa, PB. 2013.

GASPAR, P. Vida útil das construções: desenvolvimento de uma metodologia para a estimativa da durabilidade de elementos da construção. Aplicação a rebocos de edifícios correntes. Tese (Doutorado). Engenharia Civil do Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009.

GASPAR, P. L.; BRITO, J. Durabilidade, estados limite e vida útil de rebocos em fachadas. In: 3º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, APFAC, Lisboa, Portugal. 2010.

MEDEIROS, J. S.; SABBATINI, F. H. Tecnologia e Projeto de Revestimentos Cerâmicos de Fachadas de Edifícios. São Paulo: EPUSP. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/246, 28p, 1999.

NASCIMENTO, M. L. M. Aplicação da Simulação Higrotérmica na Investigação da Degradação de Fachadas de Edifícios. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2016.

PINHEIRO, Pedro Ivo Santos. Aplicação do Método de Mensuração da Degradação (MMD) ao estudo das fachadas de edifícios em Brasília. Dissertação (Bacharel em Engenharia) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

SAHADE, R. F. Avaliação de sistemas de recuperação de fissuras em alvenaria de vedação. São Paulo, SP: Dissertação para obtenção do grau de mestre em engenharia, Centro de Aperfeiçoamento Tecnológico do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2005.

SILVA, M. N. B. Avaliação Quantitativa da Degradação e Vida Útil de Revestimentos de Fachada – Aplicação ao Caso de Brasília/DF. Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.TD-006A/14, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2014.

SOUZA, J. S. Impacto dos fatores de degradação sobre a vida útil de fachadas de edifícios. Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2019.

SOUSA, R. D. Previsão da vida útil dos revestimentos cerâmicos aderentes em fachada. Dissertação (Mestrado), Universidade técnica de Lisboa Instituto Superior Técnico, 2008.

SOUZA, J. S. Evolução da degradação de fachadas - efeito dos agentes de degradação e dos elementos constituintes. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação 07A/16, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 114p, 2016.

SOUZA, J. S. Estudo Da Intensidade E Distribuição De Danos Em Regiões Da Fachada. 2016. SOUZA, J. S.; NASCIMENTO, M.; BAUER, E. Estudo da quantificação da degradação de fachadas de edifícios por meio do mapeamento de anomalias. In: CIRMARE - Congresso Internacional na Recuperação, Manutenção e Restauração de Edifícios, Anai, n. 1, Rio de Janeiro, 2015.

SOUZA, J. S., PIAZZAROLLO, C., & BAUER, E. (2019, August). Aplicação do método de mensuração de degradação em revestimentos de fachadas. In WORKSHOP DE TECNOLOGIA DE PROCESSOS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS (pp. 1-6).

PINHEIRO, P. I. S., BAUER, E., & SOUZA, J. S. (2017). Aplicação do Método de Mensuração da Degradação com a finalidade de quantificação da vida útil. Simpósio de argamassas e soluções térmicas–SBTA, 1-8.

PINHEIRO, P. I. S. (2016). Aplicação do Método de Mensuração da Degradação (MMD) ao estudo das fachadas de edifícios em Brasília.