



XVIII CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE PATOLOGIA E
REABILITAÇÃO DAS CONSTRUÇÕES

XVIII CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE PATOLOGÍA Y
REHABILITACIÓN DE LAS CONSTRUCCIONES

XVIII INTERNACIONAL CONFERENCE ON BUILDING PATHOLOGY AND
CONSTRUCTIONS REPAIR

17 TO 19TH NOVEMBER 2022

A influência da variação da intensidade da temperatura na ocorrência da degradação das fachadas.

Thália Raelly de L. M. ROMEIRO ¹; Elton BAUER ²

¹ Universidade de Brasília, Brasília-DF, Brasil, raellythalia20@gmail.com

² Universidade de Brasília, Brasília-DF, Brasil, elbauerlem@gmail.com

RESUMO

As fachadas são um dos elementos mais degradados em uma edificação, junto com as coberturas, tendo em vistas que são as que recebem ação mais direta dos agentes de degradação. As fachadas muitas vezes são carentes de intervenções e por isso encontram-se mais degradadas. Elas possuem uma importância significativa para os edifícios, tendo em vista que além de protegerem as edificações dos intemperismos, elas também têm grande importância visual, trazendo para os moradores e usuários maior satisfação quando estão com o desempenho adequado. Estudar sobre os agentes de degradação e o que influencia para reduzir o desempenho da fachada é fundamental, sendo assim, este artigo visa simular uma fachada com revestimento cerâmico, localizado em Brasília - DF, a partir do software WUFI[®] PRO. A partir dos dados climáticos e das características dos elementos que compõem cada uma das camadas, serão obtidos os dados temperatura superficial, variação térmica, temperatura das camadas e a intensidade da temperatura para cada uma das fachadas. Esses resultados foram comparados com o Fator Geral de danos (FGD) de cada uma das fachadas para avaliar a influência e percebeu-se que a fachada norte foi a que apresentou maior degradação.

Palavras-chave: Fachadas; WUFI[®] PRO; Degradação; Variação Térmica, Fator geral de danos.

ABSTRACT

Facades are one of the degraded elements in a building, along with the roofs, considering that they are more received as a direct action of the agents of degradation. The facades are often careful of interventions and therefore are more degraded. They have a significant importance for buildings, considering that in addition to protecting buildings from weathering, they are also of great visual importance, promoting larger residents and users when they are performing properly. Studying the agents of degradation and what influences to reduce the performance of the facade is fundamental, therefore, this article aims to simulate a facade with ceramic coating, located in Brasília - DF, using the WUFI[®] PRO software. From the climatic data, from the characteristics of the data and specific elements of each temperature of the layers, thermal photos, temperature of the layers and the temperature of the temperature for each of the facades are obtained. These were compared with the Greater General Factor (FGD) of each of the facades to assess the influence and damage if the north facade was the one with the largest facade.

Keywords: facades; WUFI[®] PRO; Degradation; Damage Factor; General Damage Factor.

1. Introdução

As fachadas como citado por Silva et al (2016), são sistemas complexos de se projetar, de realizara a construção e as manutenções, com isso, estudar o comportamento delas e propor modelos que facilitem no entendimento do sistema é fundamental. As fachadas são um dos componentes de um edifício, assim como as coberturas, recebem mais diretamente as ações de intemperismos.

São diversas as ações de agentes de degradação que as fachadas recebem ao longo do seu ciclo de vida. Entre elas, estão as chuvas dirigidas, as variações de temperatura, a radiação solar, a umidade e o uso inadequado. Os agentes de degradação atuam de formas variadas, dependendo do meio em que se encontra a edificação, e com isso, podem causar anomalias em níveis diversos na edificação.

No estudo realizado por Bauer et al (2021), verificou-se que é fundamental definir os parâmetros e os índices de gravidades entre as anomalias para que possa ser aplicado os modelos de degradação. O nível de degrdação dos edifícios pode ser avaliado a partir de uma inspeção predial rigorosa, como afirmado por Madureira et al (2017) e essa avaliação auxilia também na implemnetação do plano de manutenção. A realização das atividades de manutenção auxiliam a manter o edifício com o desempenho adequado e o planejamento dessas atividades devem ser realizadas logo na fase de projeto, para que tenha todas as informações necessários de como fazer e quando fazer as manutenções dos elementos, evitando assim uma propagação da degração e a auxiliando no aumento do desempenho e da vida útil estimada.

Ao longo do ano as fachadas passam por ações variadas de temperatura e essas variações influenciam no comportamento das estruturas, como por exemplo, entende-se que as edificações são compostas por diversos componentes e materiais, e cada um deles defeorma de uma forma, o que pode influenciar no surgimento das tensões e consequentemnete a fissuração. Como abordado por Flores-Colen (2009), a atuação da temperatura como agente de degradação é mais intensa nas zonas desprotegidas da edificação. Por ser um agente externo e atmosférico, que pode causar alterações físicas e químicas nas superfícies das edificações.

Dessa forma, verifica-se a importância de estudar os diversos agentes de degradação das fachadas e entre eles a variação da intensidade da temperatura. Com isso, este artigo tem por objetivo analisar a influência da variação térmica nas ações de degradação dos edifícios e para isso será utilizado o software WUFI ® PRO para auxiliar na modelagem do efício.

2. Degradação das Fachadas

O estudo das fachadas é essencial para conhecer melhor o funcionamento dos seus componentes e com isso, planejar as ações e para obter um desempenho adequado e garantir a satisfação dos moradores e usuários de modo geral. Como abordado, entre os elementos que compõe as edificações as fachadas e as coberturas são os que mais apresentam patologias tendo em vistas que estão mais expostas aos intemperismos. O estudo de Lopes (2005), aborda as carências de manutenções dos elementos que compõem a edificações e demonstra que a fachada é o que possui maior carência de intervenções.

Por ser formada de diversos componentes, o estudo das fachadas também se torna complexo. As fachadas podem ter diversos tipos de revestimentos, entretanto os mais comuns são os com acabamento em pintura e cerâmica. O edifício simulado neste estudo é de revestimento cerâmico e por ser compostos por diversos elementos é fundamental entender a sua composição para planejar as ações de intervenções de maneira adequada, reduzindo a degradação. As fachadas com placas cerâmicas são o tipo de revestimento mais sensíveis, pois dependem da qualidade dos materiais utilizados, da execução de aplicação e da mão de obra de forma geral.

Para a realização do estudo da degradação vem sendo utilizado pelos pesquisadores do Laboratório de Ensaio de Materiais da Universidade de Brasília (LEM-UnB) o Método de Mensuração de Degradação (MMD), como abordado nos estudos de Silva (2014); Souza (2016;2019) e Piazzarollo (2019), que visa medir a degradação das fachadas dos edifícios. Para a aplicação do método é necessário a realização de uma inspeção, seguido pelo mapeamento e a quantificação da degradação. Para medir a quantificação da degradação a fachada é dividida em malha com dimensão de 0,50 m x 0,50 m e com isso é realizado o mapeamento.

Da mesma forma, aplica-se o Fator Geral de Dados (FGD) para a quantificação da degradação, que trata-se de um índice que indica o grau de ocorrência de patologias e com isso é possível estabelecer um parâmetro inicial da degradação. O Fator Geral de Danos, como apresentado na Equação 1, que analisa a degradação da fachada ponderando os danos. Nesse caso são utilizados para a realização do cálculo dois pesos, um que leva em consideração as condições de danos e outro que analisa as importâncias relativas das patologias.

$$FGD = \frac{\sum A_{d(n)} \times k_n \times k_{cn}}{\sum k_{máx} \times A_t} \quad (1)$$

$A_{d(n)}$: a área danificada por uma patologia n (m^2);

K_n : constante de ponderação das patologias, em função do nível de condição;

k_{cn} : constante de ponderação da importância relativa das patologias detectadas;

$\sum k_{máx}$: somatório das constantes de ponderação equivalente ao nível da pior condição;

A_t : Área total da amostra de fachada (m^2).

3. Índice de Intensidade Térmica

Como abordado por Nascimento (2016), o índice de incidência de temperatura (lit), tem por objetivo caracterizar a incidência do clima sobre as edificações. Ele leva em consideração a frequência e os valores alcançados de temperatura pelos elementos da fachada.

Sendo assim, para encontrar o valor do lit deve-se analisar a variação térmica das amostras e avaliar a frequência da faixa de ocorrência das temperaturas, como apresentado por Nascimento (2016). Na Equação 2 é possível observar o detalhamento do cálculo.

$$lit = \sum \frac{\Delta T_{médio} \times f_n}{f_{total}} \quad (2)$$

Onde:

lit é o índice de intensidade da temperatura, expresso em graus Celsius ($^{\circ}C$);

$\Delta T_{médio}$ é a amplitude de temperatura média da faixa de ocorrência, expresso em graus Celsius ($^{\circ}C$);

f_n é a frequência de ocorrência da faixa n de ΔT (n vai de 1 a 4);

f_{total} é a frequência de todas as ocorrências das quatro faixas de estudo no ano ($f_{total}=365$)

Sendo assim, na Tabela 3 é possível observar a variação de temperatura em cada uma das faixas.

Tabela 1 - Faixas de Temperatura

Faixa	ΔT ($^{\circ}C$)	ΔT médio ($^{\circ}C$)
4	> 27,7	31,8
3	19,6 a 27,7	23,7
2	11,9 a	15,6
1	< 11,5	7,5

4. Metodologia

A metodologia deste trabalho consiste em, inicialmente, na modelagem da fachada de um edifício localizado na Octogonal AOS 2 - Octogonal, Brasília – DF. O prédio foi construído em 2005 e tem atualmente 17 anos. As fachadas principais encontram-se voltadas para Norte, Sudeste e Sudoeste e as secundárias, para Nordeste, Sul e Noroeste. O edifício tem um formato de uma pétala e na Figura 1 é possível observar o design da edificação.



Figura 1 - Localização e formato do Edifício. Fonte: Google Maps

Para elaboração na simulação é necessário, caracterizar as camadas que compõe a fachada, identificando as propriedades, para que na sequência seja realizada a simulação no software WUFI® PRO. O programa realiza uma simulação higrotérmica da fachada da edificação, a partir dos dados climáticos, de orientação e de composição dos materiais que compõem as camadas.

O edifício possui fachada em cerâmica, argamassa externa, estrutura em bloco cerâmico e argamassa interna, a espessura das camadas totalizavam 13,5 cm, mas na Tabela 1 é possível observar a espessura de cada uma das camadas que serviu de base para modelar no WUFI.

Tabela 2 - Caracterização das camadas

Camada	Espessura (mm)
Revestimento cerâmico	0,005
Argamassa de emboço externa	0,02
Bloco cerâmico	0,09
Argamassa interna	0,02

Para a simulação também é importante a informação da cor da fachada, que para a do estudo é branco gelo. Com a cor da fachada é inserido no WUFI o valor da absorvância térmica, que varia de acordo com a cor e pela tabela de Dornelles (2008) é de 48,90 para a cor da presente fachada.

As informações foram inseridas no WUFI e foram colocadas câmaras de análise, como observado na Figura 2.



Figura 2 - Caracterização WUFI

Cada uma das câmeras foi posicionada entre as faces externas e internas e nas interfaces entre cada um dos componentes, com o objetivo de estudar a variação de comportamento entre as superfícies das camadas. Como por exemplo, com essa disposição pode ser obtido os dados de temperatura e grau de umidade de cada camada. As camadas analisadas foram as seguintes:

- I. Superfície da Placa Cerâmica;
- II. Interface Placa Cerâmica - Argamassa Externa;
- III. Interface Argamassa Externa - Bloco Cerâmico;
- IV. Interface Bloco Cerâmico - Argamassa Interna;
- V. Superfície da Argamassa Interna.

Na sequência do posicionamento das câmeras, foi inserido no software os dados de altura, que foi adotado um perfil de edifício de médio/alto, com alturas entre 10 m e 15 m. Ressalta-se que a estruturas dos prédios em Brasília são em sua maioria com no máximo 6 pavimentos. Com isso, foi realizada a simulação para cada uma das orientações, considerando as Norte, Sul, Leste e Oeste.

Para a simulação, necessita-se incluir dos dados climáticos, e para isso foi utilizado o de Brasília, obtidos do INMET e foram simulados três anos. Para validar melhor os dados, foram descartados os resultados dos dois primeiros anos, como amostragem.

Com a simulação realizada foram retirados do software os seguintes dados para cada uma das interfaces e para cada hora ao longo do ano de referência:

- Radiação total;
- Radiação direta;
- Temperatura ambiente externa;
- Temperatura superficial;
- Temperatura entre cada uma das interfaces;
- Umidade;
- Chuva dirigida.

Ressalta-se que com o software podem ser obtidos diversos outros parâmetros, mas no estudo realizados foram considerados apenas os apresentados acima, com o foco nas temperaturas.

Também foram utilizados no estudo, a análise do fator geral de danos, que foram fornecidos a partir da base de dados dos pesquisadores do Laboratório de Ensaio de Materiais da Universidade de Brasília (LEM-UnB). Foram analisados os dados de FGD para as amostras das fachadas norte, sul, leste e oeste, como apresentado na Tabela 2.

Tabela 3 - Fator de danos das fachadas

Orientação	Área total (m²)	Fator Geral de Danos (FGD)
Norte	1217,25	0,03
Sul	1218,75	0,03
Leste	964,75	0,016
Oeste	977,5	0,015

Como abordado anteriormente, para o cálculo do índice de intensidade da temperatura foi calculado de acordo com Nascimento (2016) e com os dados de variação de temperatura obtidos com a simulação.

5. Resultados e Discussões

Com as informações incluídas no software WUFI foram obtidos uma base de dados com as informações sobre a radiação, a umidade, a temperatura e a chuva dirigida para cada uma das fachadas ao longo de todas as horas, durante o ano simulado, totalizando 8760 dados, para cada um dos parâmetros estudados, em cada uma das fachadas.

Por se tratar de muitos dados, o foco desse estudo foi na análise da variação da temperatura das fachadas, avaliando a amplitude térmica, as máximas e as mínimas, tanto externas, internas e nas interfaces. Obtendo assim, a sua influência com a degradação. Para isso, foi realizado um tratamento dos dados no Excel.

Fazendo a análise da temperatura do ambiente externo, percebeu-se que as maiores temperaturas ocorreram nos meses de fevereiro e setembro, entretanto as maiores amplitudes térmicas ocorreram nos meses de junho e julho, como apresentado na Figura 3.

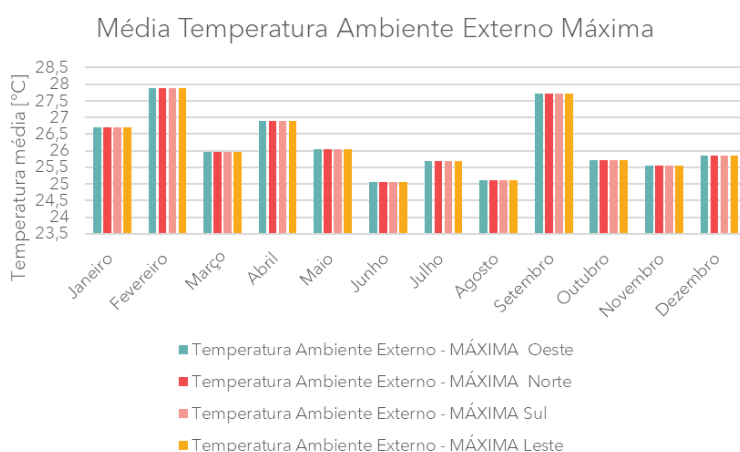


Figura 3 - Temperatura ambiente externo

Analisando a amplitude térmica, percebe-se que ela é mais significativa nos meses de junho e julho, quando a variação térmica passou dos 10 graus, como pode ser observado na Figura 4. Por estar em um mesmo ambiente, a temperatura ambiente externa foi a mesma para todas as fachadas.

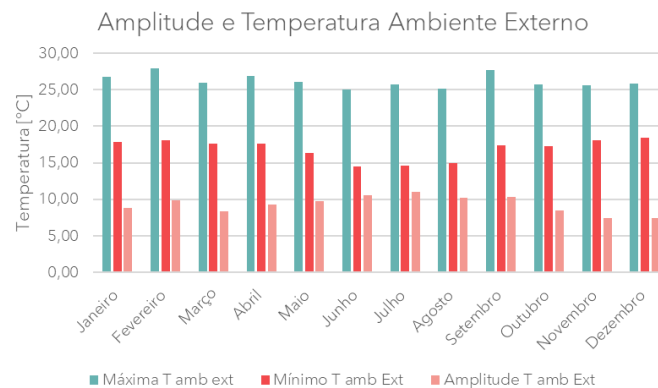


Figura 4 - Amplitude Térmica no ambiente externo das fachadas

Por outro lado, quando se analisa a temperatura superficial em cada uma das fachadas, percebeu-se que as fachadas que apresentam maiores temperaturas são a norte e a oeste, como observado na Figura 5.

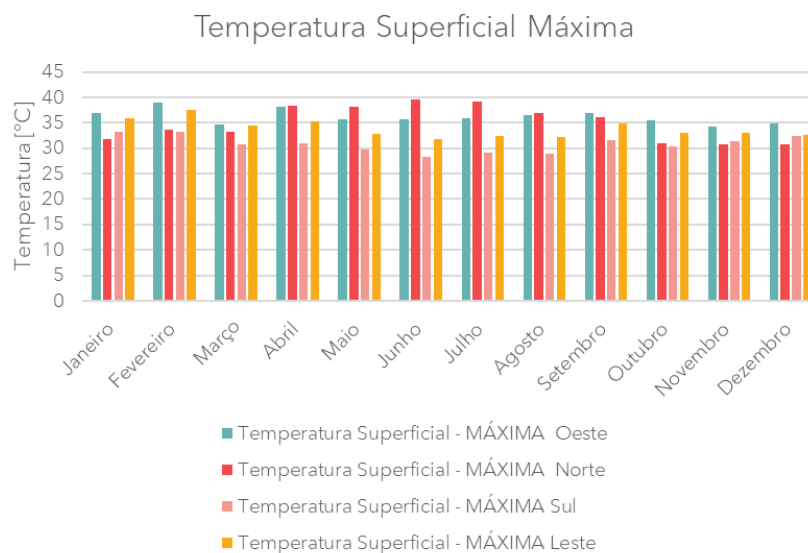


Figura 5 - Temperatura Superficial

Com o programa também foi possível estudar o perfil da temperatura das camadas. Avaliou-se o comportamento no dia de maior amplitude térmica na superfície da fachada. Na fachada norte, essa amplitude ocorreu no mês de julho e atingiu uma amplitude de 26,58°C e a temperatura máxima foi de 44,30°C. Na Figura 6 é possível observar o comportamento da temperatura para cada uma das camadas da fachada norte.

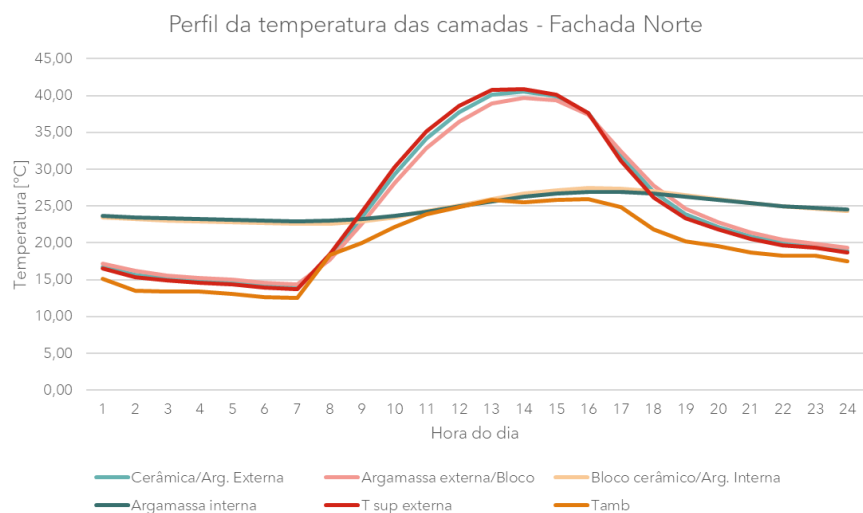


Figura 6 – Perfil da temperatura das camadas da fachada norte

Analisando a fachada sul, percebeu-se que a maior amplitude térmica ocorreu no mês de fevereiro e o valor encontrado foi de 17,32°C e a temperatura máxima foi de 37,40°C. Na Figura 7 pode ser observado o perfil de cada uma das camadas da fachada sul.

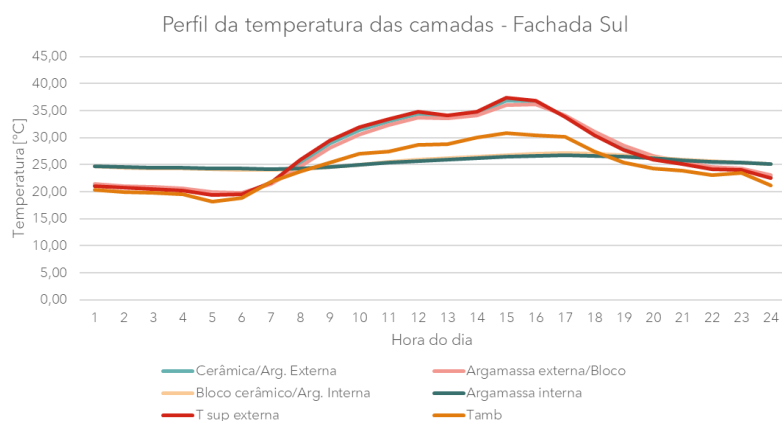


Figura 7 – Perfil da temperatura das camadas da fachada sul

No caso da fachada leste, o mês que apresentou maior amplitude térmica foi o de outubro, com uma variação de 22,43°C, entretanto não foi nesse mês que a temperatura atingiu a sua máxima e sim no mês de fevereiro, com a máxima de 41,62°C. Na Figura 8 pode ser a variação da temperatura das camadas da fachada leste.

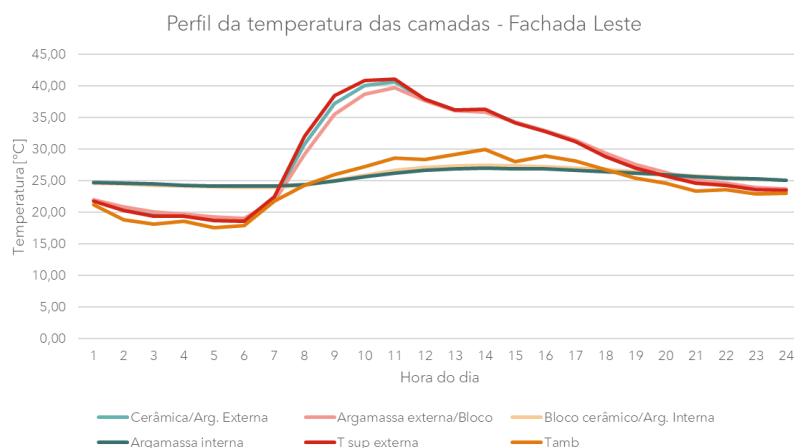


Figura 8 – Perfil da temperatura das camadas da fachada leste

Por fim, a fachada oeste apresentou a maior amplitude $28,84^{\circ}\text{C}$ no mês de outubro e a temperatura máxima de $46,53^{\circ}\text{C}$. Na Figura 9 pode ser observado o perfil das camadas da fachada oeste.

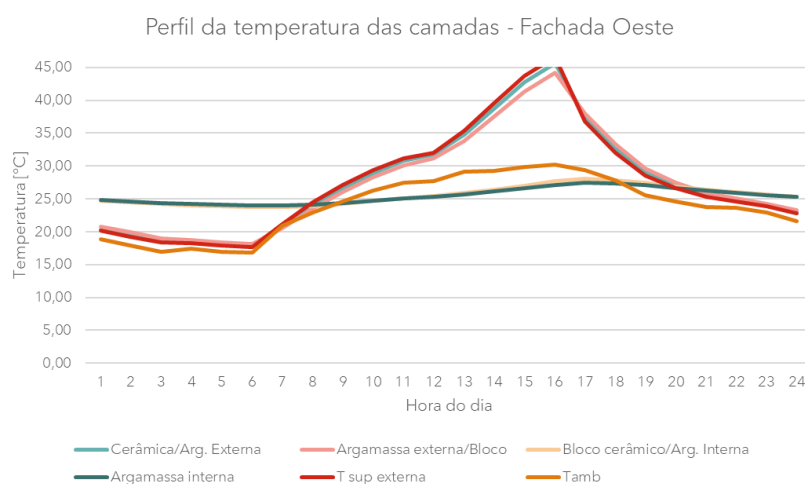


Figura 9 – Perfil da temperatura das camadas da fachada oeste

Percebe-se que as camadas da superfície externa, entre a argamassa externa e bloco e entre a cerâmica e a argamassa externa foram as que apresentaram maiores temperaturas. E entre as fachadas, percebe-se que a fachada oeste foi a que apresentou o maior pico de temperatura, enquanto a fachada sul foi a que apresentou menores valores.

Para avaliar de modo mais detalhado a variação de temperatura em cada uma das fachadas, foi calculado o índice de intensidade de temperatura (lit), por meio da metodologia abordada por Nascimento (2016).

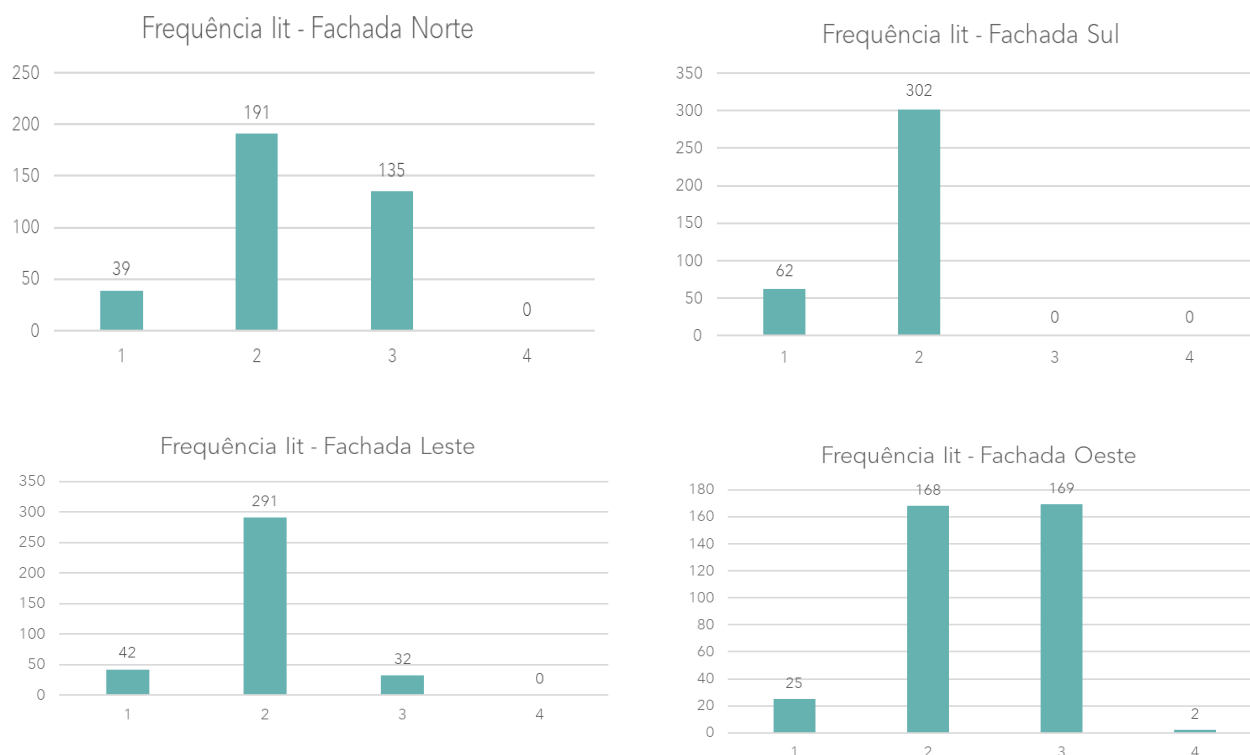


Figura 10 - Frequência lit

Na Figura 10 é possível observar a frequência do lit para cada uma das faixas, sabendo que a faixa 1 compreende uma variação térmica menor que 11,5°C; a faixa 2 com uma variação entre 11,9°C e 19,6°C; a faixa 3 para variações entre 19,6°C e 27,7°C e por fim a faixa 4 com a variação térmica acima de 27,7°C.

A partir do intervalo de temperaturas foi calculado o lit para cada uma delas e na Tabela 5 é possível observar os valores encontrados.

Tabela 4- Índice de temperatura das fachadas

Fachada	lit
Norte	17,73
Sul	14,22
Leste	15,38
Oeste	18,89

Assim, percebeu-se que a fachada oeste apresentou o maior valor do lit, entretanto a fachada norte também apresentou um valor de lit próximo ao da fachada oeste, como pode ser observado na Tabela 5. Como a fachada norte e a sul foram as que apresentaram maiores resultados de FGD, entretanto a fachada sul não apresentou valores tão elevados de variação térmica e os valores de lit.

Os resultados do FGD das fachadas oeste e leste de 0,015 e 0,016, valores próximos, entretanto percebeu-se que as variações de temperatura são maiores na fachada oeste do que na sul, mas o valor do FGD do sul foi maior na fachada estudada. Assim como, o valor do lit foi maior para a fachada oeste.

Esse resultado pode ser justificado pois diversão são os agentes que influenciam na degradação, como a radiação, a chuva dirigida, entre outros e com isso, verifica-se a necessidade de analisar todos os outros agentes para se ter uma avaliação mais completa.

A partir dos dados de FGD, apresentados na Tabela 2, também foi possível elaborar um gráfico comparando o FGD com os dados de lit. Os valores de lit foram multiplicados pela idade para ter uma análise da variação de comportamento com o tempo, como apresentado na Figura 11.

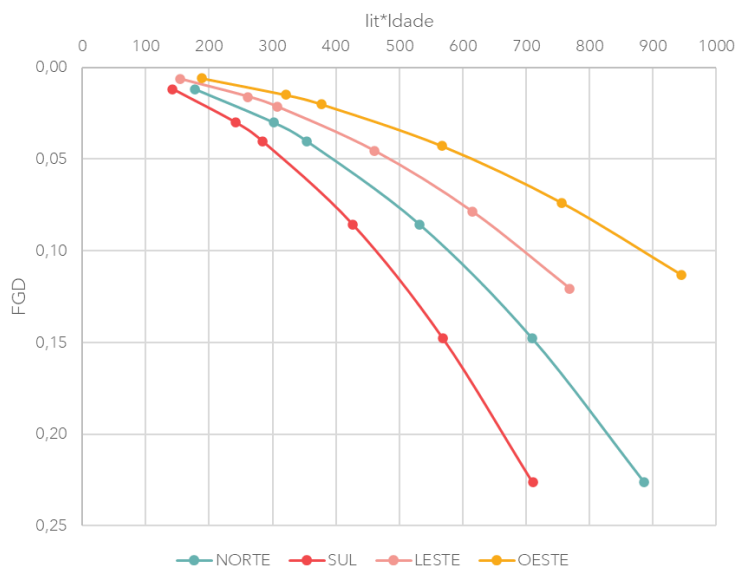


Figura 11 – Análise do FGD e do lit

Com a análise da comparação do lit com o FGD, percebeu-se que para idades mais avançadas os maiores valores de FGS continuam sendo para as fachadas norte e a sul na sequência. Assim como, verifica-se que o comportamento das curvas foi similar para as quatro fachadas e as curvas das fachadas leste e oeste apresentaram valores muito inferiores quando comparado com as outras fachadas.

6. Conclusão

Com o estudo realizado foi possível analisar a importância dos estudos dos diversos agentes e como eles podem influenciar na degradação das fachadas. Também se verificou como o software WUFI pode auxiliar na simulação das fachadas e na obtenção dos dados. Com ele foi possível analisar as variações térmicas em cada uma das fachadas e nas camadas que a compõem.

Os resultados apresentaram que a fachada norte e a oeste apresentaram maiores variações térmicas, assim como, os maiores valores do índice de intensidade de temperatura (lit). Entretanto, os maiores valores de FGD foram encontrados para as fachadas norte e sul, verificando a necessidade de realizar em próximos estudos uma análise mais detalhada dos outros agentes que influenciam nas ações de degradação das fachadas.

Como foram inseridas no software as informações dos dados climáticos do IMET de Brasília, os resultados encontrados são mais característicos para a região de estudada, não podendo ser generalizado, mas que a metodologia pode ser aplicada para análise de outros parâmetros de intemperismos, a partir da simulação do WUFI e para outras regiões.

7. Referências

Bauer, E.; Souza, J. S.; Mota, L. M. G. (2021) **Degradação de fachadas revestidas em argamassas nos edifícios de Brasília, Brasil Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 4, p. 23-43, out./dez.

Bauer, E; Castro, E. K; e Antunes, G. R. (2012) **Processo de identificação das manifestações patológicas em fachadas com revestimento cerâmico**. IX Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. Belo Horizonte, Minas Gerais.

Dornelles, K. A. (2008) **Absortância Solar de Superfícies Opacas: Métodos de Determinação e Base de Dados para Tintas Látex Acrílica e PVA**. Tese de Doutorado. Univesidade Estadual de Campinas, São Paulo.

Flores-Colen, I. (2009) **Metodologia de avaliação do desempenho em serviço de fachadas rebocadas na óptica da manutenção predictiva**. Tese (Doutorado). Engenharia Civil do Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

L. Silva, I. Flores-Colen, N. Vieira, A.B. Timmons, P. Sequeira, (2016) **Durability of ETICS and premixed one-coat renders in natural exposure conditions**, in: **João M.P.Q. Delgado (Ed.)**, New Approaches to Building Pathology and Durability, vol. 6, Springer, Singapore.

Lopes, T. (2005). **Fenómenos de Pré- Patologia em Manutenção de Edifícios – Aplicação aos revestimentos ETICS**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, FEUP, Porto.

Madureira, S.; Flores-Colen, I.; Brito, J.; Pereira, C. (2017) **Maintenance planning of facades in current buildings**. Construction and Building Materials.

Nascimento, M. (2016) **Aplicação da simulação higrotérmica na investigação da degradação de fachadas de edifícios**. Dissertação (Engenharia Civil) - Universidade de Brasília, Brasília.

Piazzarollo, C. B. (2019). **Estudo da Evolução e da Gravidade da Degradação nas Diferentes Zonas Componentes da Fachada**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM – 11A/19, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 152 p.

Silva, M. N. B. (2014). **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, 198 p.

Souza, J.S. (2016). **Evolução da degradação de fachadas- efeito dos agentes de degradação e dos elementos constituintes**. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília.

Souza, J. S. (2019). **Impacto dos fatores de degradação sobre a vida útil de fachadas de edifícios**. Tese de doutorado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DT-15A/19, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 139 p.