VALIDAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE DE SIMULAÇÃO HIGROTÉRMICA WUFI PRO 5.3 PARA DETERMINAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE FACHADAS EM EDIFÍCIOS DE BRASÍLIA - BRA E LISBOA - POR.

VALIDATION OF THE USE OF WUFI PRO 5.3 HYGROTHERMAL SIMULATION SOFTWARE TO DETERMINE THE DEGRADATION OF FACADES IN BUILDINGS LOCATED IN BRASÍLIA - BRA AND LISBOA - POR.

VALIDACIÓN DEL USO DEL SOFTWARE DE SIMULACIÓN HIGROTÉRMICA WUFI PRO 5.3 PARA DETERMINACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE FACHADAS EN EDIFICIOS UBICADOS EN BRASILIA - BRA Y LISBOA - POR.

A. MOURA
Profissão: Estudante
Instituição: Centro Universitário IESB - DF
Estado; País: Distrito Federal; Brasíl
e-mail: alansvmoura@gmail.com

E. DUTRA
Profissão: Estudante
Instituição: Centro Universitário IESB - DF
Estado; País: Distrito Federal; Brasíl
e-mail: erickalvesc90@gmail.com

M. NASCIMENTO
Profissão: Prof. Me. Eng. Civil
Instituição: Centro Universitário IESB - DF
Estado; País: Distrito Federal; Brasíl
e-mail: matheus.nascimento@iesb.br

V. SANTOS FILHO
Profissão: Prof. Me. Eng. Civil
Instituição: Centro Universitário IESB - DF
Estado; País: Distrito Federal; Brasíl
e-mail: vamberto.filho@iesb.br

A. NEGREDO
Profissão: Mestrando
Instituição: Universidade de Brasília - UnB
Estado; País Distrito Federal; Brasil
Email: alexandrenegredo@gmail.com

RESUMO

A preocupação com o desempenho das edificações e os estudo sobre a ocorrência de manifestações patológicas têm se intensificado e se expandido por todo o mundo, englobando novos tópicos e gerando uma melhor adaptabilidade no desenvolvimento de métodos construtivos inovadores. Nesse processo, tem se destacado a utilização de *softwares* para simulação de possíveis ocorrências climáticas. Um dos *softwares* que têm apresentado grande confiabilidade para o estudo de manifestações patológicas em sistemas de revestimento cerâmico de fachadas é o *software* de simulação higrotérmica WUFI Pro 5.3. A base de dados adotada para o *software* – TMY – abrange diversas cidades, dentre elas, Lisboa – Portugal e Brasília – Brasil, às quais possuem notável crescimento na utilização de revestimento cerâmico aderido em fachadas, requerendo maior atenção quanto ao controle climático incidente nas edificações. Enquanto Brasilia tem se destacado na utilizaçao do *software* WUFI Pro 5.3, Lisboa ainda não possui exemplos de aplicações deste método de prospecção. A validação em Brasília foi composta por um comparativo entre os valores de medições de temperatura superficial do sistema de revestimento cerâmico de fachada *in loco* (com cerca de 780 dados) e os valores fornecidos por Nascimento (2016); já para Lisboa, foi realizado comparativo entre os valores de degradação de edificações localizadas em ambas as cidades. Após ratificados, elaborou-se a simulação em um edifício de Lisboa, sendo o representativo para a região.
Palavras-chave: Revestimento. Higrotérmica. WUFI. Lisboa. Brasília.

ABSTRACT

Concern with the performance of buildings and studies on the occurrence of pathological manifestations has intensified and expanded throughout the world, encompassing new topics and generating a better adaptability in the development of innovative construction methods. In this process, the use of software to simulate possible climatic events has been highlighted. One of the software that has shown great reliability for the study of pathological manifestations in systems of ceramic facade coating is the hygrothermal simulation software WUFI Pro 5.3. The TMY - software database covers several cities, including Lisbon - Portugal and Brasília - Brazil, where there is a notable growth in the use of ceramic coating adhered to façades, requiring greater attention regarding the climatic control of buildings. While Brasilia has excelled in the use of WUFI Pro 5.3 software, Lisbon still does not have examples of applications of this method of prospecting. The validation in Brasília was based on a comparison between the values of surface temperature measures of the ceramic facade system in situ (with around 780 data) and the values provided by Nascimento (2016); however, in case of Lisbon, the comparison was made between the values of degradation of buildings located in both cities. After ratification, the simulation was elaborated in a building of Lisbon, being the representative for the region.
Keywords: Coating. Hygrothermal. WUFI. Lisboa. Brasília.

1. INTRODUÇÃO

A utilização de revestimento cerâmico tem se difundido tanto em paises da América do Sul, quanto em paises da Europa, à exemplos de Brasil e Portugal, respectivamente. ANFACER (2016) caracteriza o Brasil como o segundo maior produtor e consumidor mundial de revestimento cerâmico. Segundo Dias (2015), em Portugal, o consumo desse revestimento se deu a partir do séc. XVIII, alcançando na região de Lisboa o valor de utilização de 2,7% em comparação aos demais revestimentos, se aproximando muito dos 4,5% representativos de toda a região norte do país. Dias (2015), complementa ainda que, o revestimento cerâmico é um dos revestimentos de fachadas mais duráveis, porém, apresentando em conjunto maiores custos iniciais e de reparação, o que resulta em uma crescente preocupação com sua vida útil, que seria o intervalo de tempo em que o revestimento cerâmico apresenta condições satisfatórias de uso e operação.

O *software* de simulação higrotérmica WUFI® Pro 5.3 se apresenta nesse cenário como uma ferramenta capaz de realizar a estimativa do comportamento apresentado pelo sitema de vedação devido às ações climáticas, que de acordo com Antunes (2010), estão entre os principais fatores de degradação. O banco de dados do *sotware* é composto por diversos arquivos climáticos, dos quais Zanoni (2015) apresenta dois dos principais, sendo eles o *Typical Meteorological Year* (TMY) e o *Test Reference Year* (TRY), adotando-se para este estudo o arquivo TMY.

Com esta perspectiva, o presente trabalho visa a realização de simulações higrotérmicas para fachadas de edificações localizadas em Lisboa – Por, partindo-se de uma verificação suscinta da viabilidade de utilização do *software* para a localidade. A verificação será realizada por intermédio dos dados obtidos nos trabalhos de Nascimento (2016) e Sousa (2008).

2. METODOLOGIA

2.1 Validação dos Dados da Simulação

A validação constituiu-se em um comparativo efetuado entre os valores de temperatura superficial simulados pelo *software* de simulação higrotérmica WUFI® Pro 5.3 no trabalho de Nascimento (2016), com valores de temperatura superficial coletados *in loco* no período condizente com o terceiro ano da simulação conforme metodologia de Nascimento (2016).

2.1.1 Levantamento dos dados in loco

Os dados de temperatura superficial *in loco* foram coletados através de medições diretas realizadas nas edificações apresentadas por Nascimento (2016), sendo escolhidas somente as edificações às quais não sofreram alterações em seu sistema de revestimento de fachada. As medições foram efetuadas em 10 sábados consecutivos nos horários de 06, 12 e 15 horas (horário de Brasília) com a utilização do Pirômetro

HM-88A. Os pontos de medição foram definidos possuindo como referência as distâncias com elementos estruturais para locação do ponto na fachada e um padrão de 4 metros horizontais até a fachada para locação do responsável pelas medições. Sabendo que o *software* apresenta os resultados da simulação considerando cada fachada como apenas um ponto, tornou-se necessária a realização de média aritimética para equiparação dos dados levantandos *in loco*, pois para cada empena foram delimitados 2 pontos e para cada fachada principal de 4 à 5 pontos de medição. Ao todo foram levantados 780 dados de medições *in loco* aplicáveis ao comparativo.

2.1.2 Comparativo entre os dados da simulação realizada pelo *software* com os dados das medições *in loco*

Após o levantamento dos dados obtidos por meio das medições diretas, realizou-se a seleção dos dados simulados referentes aos edifícios A1 e A6 apresentados por Nascimento (2016), pois foram os únicos que mantiveram as características de seus revestimentos cerâmicos iguais às do período da simulação.
O comparativo foi elaborado, primeiramente, de forma visual com a utilização do gráfico de colunas e, posteriormente, com a aplicação do método de regressão linear, adotando-se como satisfatórias valores do coeficiente de determinação – R^2 – maiores ou iguais à 0,36.

2.2 Estimativa do Comportamento Higrotérmico das Fachadas Localizadas em Lisboa - POR

2.2.1 Escolha dos edifícios

Com base no trabalho de Sousa (2008), inicialmente, foram selecionadas fachadas com características construtivas similares às apresentadas por Nascimento (2016). Por não haverem dados completos de uma única edificação, posteriormente, foram delimitadas fachadas que possuíssem proximidades e que fossem representativas das quatro orientações cardiais, intentando à compatibilidade da simulação realizada pelo *software* com a carta solar de Lisboa fornecida por Cunha (2005). A fachadas selecionadas foram as fachadas II-14, II-20, II-22 e II-23, conforme delimitadas na metodologia de Sousa (2008).

2.2.2 Determinação da severidade de degradação do revestimento cerâmico - $S_{w,c}$

O Índice de degradação utilizado por Nascimento (2016) é apresentado de acordo com a metodologia empregada por Souza (2016), onde ele é denominado de FDG_A – Fator Geral de Danos Adaptado. Esse fator é resultante de uma adaptação do Índice FDG – Fator Geral de Danos – elaborado por Silva (2014), proveniente da adequação de coeficientes de ponderação à realidade de Brasília - BRA com base nos critérios regionais delimitados em seu estudo e na metodologia de Bordalo (2010). Para Bordalo (2010) a Severidade de Degradação do Revestiento Cerâmico - $S_{w,c}$ - é dado pela equação 1 e caracteriza um estudo realizado em Lisboa - POR, sendo compatível, por tanto, com os dados apresentados por Nascimento (2016).

$$S_{w,c} = \frac{\sum (A_i \cdot K_n \cdot K_{a,n})}{A \cdot \sum K_{máx}} \quad (1)$$

Onde:
A_i = área do revestimento afetada por dada anomalia, em m²;
K_n= fator multiplicativo das anomalias *n* em função do seu nível de degradação, adimensional;
$K_{a,n}$= coeficiente de ponderação correspondente ao peso relativo da anomalia detectada, adimensional;
A = área total do revestimento, em m².
$K_{máx}$ = somatório das constantes de ponderação correspondentes aos níveis de condição mais elevados na degradação de um revestimento de área *A*, adimensional (valor constante de 14);

Embasando-se na equação 1 foram definidos os valores de $S_{w,c}$ para as fachadas selecionadas no trabalho de Sousa (2008). Isso propiciou a realização da estimativa do comportamente climático das fachadas, possibilitando que sejam perceptíveis quaisquer desvios apresentados pelo *software* nos resultados da simulação.

2.2.3 Comportamento higrotérmico pretendido nas fachadas

São muitos os fatores que podem influenciar o nível de degradação que determinada fachada possa manifestar, estando abrangidos fatores como propriedades dos materiais, exposições climáticas, qualidade da execução, etc. Por tanto, para se estimar o comportamento higrotérmico de uma dada fachada é necessário se delimitar os fatores mais significantes e, com base neles, direcionar suas expectativas de resultados. Flores-Colen (2009), retrata a ação da temperatura como crítica e seus efeitos como mais graves em regiões desprotegidas da radiação solar. Sendo assim, torna-se indispensável o conhecimento da orientação das fachadas, bem como seus respectivos valores de absortância, conforme a tabela 1.

Tabela 1 – Valores de Absortância para as Fachadas Selecionadas

Edifícios	Norte	Sul	Leste	Oeste
Modelo	0,626	0,411	0,411	0,607
A1	0,401	0,401	0,401	0,401
A6	0,404	0,404	0,712	0,434

Fonte: Autoria Própria, 2017.

Os valores de absortância apresentados para o edifício A1 e A6 foram obtidos por Nascimento (2016) através do trabalho de Dornelles e Roriz (2007). Para o “edifício modelo” Sousa (2008) apresenta a coloração de cada uma das fachadas estudadas, porém, não delimita as dimensões das áreas revestidas para as colorações presentes nos panos de fachada que apresentaram mais de uma coloração, o que tornou inviável realizar a ponderação dos valores de absortância apresentados por Dornelles e Roriz (2007). Para que houvesse a caracterização do revestimento estudado foram atribuidos, portanto, o maior valor de absortância entre cada colocaração presente no pano de fachada abordado.

Logo, com entendimento do mencionado anteriormente e da carta solar de Lisboa e região, apresentada por Cunha (2005), espera-se que as orientações Sul e Oeste possuam uma maior amplitude térmica e, consequentemente, maiores indices de degradação, podendo sofrer alguma alteração devido à idade dos revestimentos cerâmicos e aos valores de absortância do material, o que pode aumentar os valores da amplitude caso o revestimento possua idade ou/e a absortância que apresente valores elevados e reduzir a amplitude caso contrário, isso, claro, sem considerar a ação de outros parâmetros não abordados neste estudo. Para Brasília - BRA as orientações com maiores amplitudes térmicas são as Norte e Oeste, conforme percebido na carta solar de Brasília e nos dados resultantes do trabalho de Nascimento (2016).

2.3 Simulação

Para efetivação da simulação foram atribuidos os valores de absortância apresentados na tabela 1, os dados das fachadas apresentadas por Sousa (2008), os parâmetros de materiais e os critérios apresentados por Nascimento (2016). O arquivo climático utilizado foi o arquivo TMY referente à cidade de Lisboa - POR.

2.3 Calculo dos Índices de Incidência de Temperatura I_{it}

O Índice de Incidência de Temperatura – I_{it} – foi elaborado por Nascimento (2016) e possui finalidade de caracterizar a incidência do clima sobre as edificações. Os valores do índice são dados pela equação 2 e se utilizam dos valores médios de amplitude de temperatura superficial da fachada bem como a frequência de suas ocorrencias, servindo para quantificar a exposição de uma determinada fachada à radiação solar em um período de um ano. De forma trivial, seria a expressão numéria do resultado da simulação.

$$I_{it} = \sum \frac{(\Delta T_{médio} \cdot f_n)}{f_{total}} \qquad (2)$$

Onde:
$\Delta T_{médio}$= amplitude de temperatura média da faixa de ocorrência, em graus celsius;
f_n= frequência da faixa *n* de ΔT (*n* = 4), adimensional;
f_{total}= frequência de todas as ocorrências das quatro faixas de estudo (f_{total}= 365), adimensional;

2.2.1 Índices de Incidência de Temperatura Total $I_{it,total}$

Uma forma de quantificar a incidência de temperatura total na qual uma fachada esteve exposta durante toda sua idade é com a utilização do Índice de Incidência de Temperatura Total – $I_{it,total}$ – dado segundo a equação 3, também apresentada por Nascimento (2016).

$$I_{it,total} = i \cdot I_{it} = i \cdot \left[\sum \left(\frac{\Delta T_{médio} \cdot f_n}{f_{total}} \right) \right] \quad (3)$$

Onde:
$\Delta T_{médio}$ = amplitude de temperatura média da faixa de ocorrência, em graus celsius;
f_n = frequência da faixa *n* de ΔT (*n* = 4), adimensional;
f_{total} = frequência de todas as ocorrências das quatro faixas de estudo (f_{total} = 365), adimensional;
i = idade do edifício A_n, em anos;

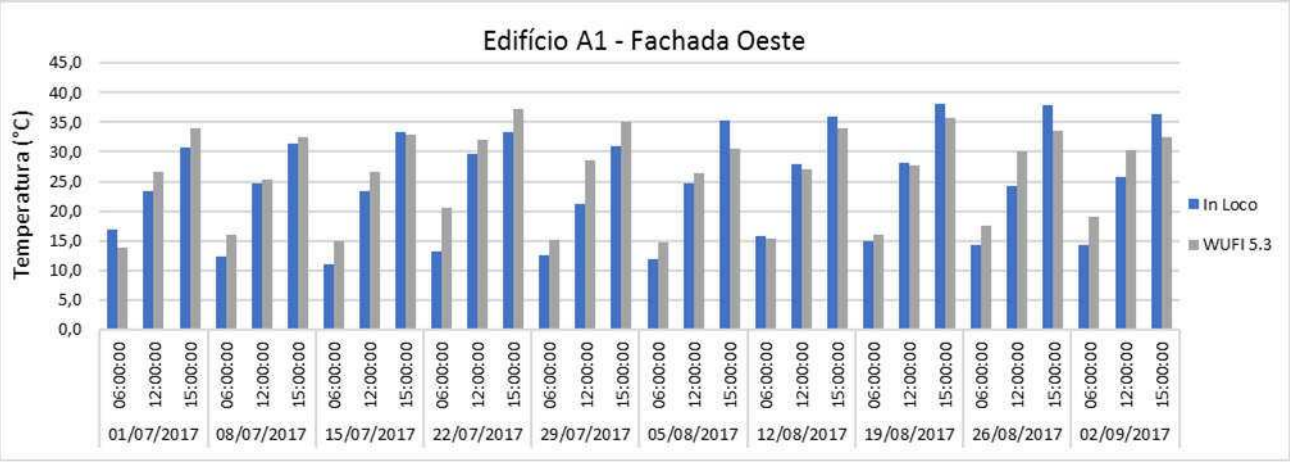
A escolha destes índices baseou-se na necessidade de visualizar matemáticamente a propensão à degradação que cada fachada possui, sendo definidos com a utilização dos valores das simulações efetuadas para as fachadas adotadas do trabalho de Sousa (2008). Os valores dos índices para os edifícios A1 e A6 foram retirados do trabalho de Nascimento (2016). Na posse dos resultados e tendo por base a metodologia de Nascimento (2016), relacionaram-se os valores dos $I_{it,total}$ com os valores de $S_{w,c}$ dados para cada uma das fachadas estudadas.

3. RESULTADOS

3.1 Validação dos Dados da Simulação

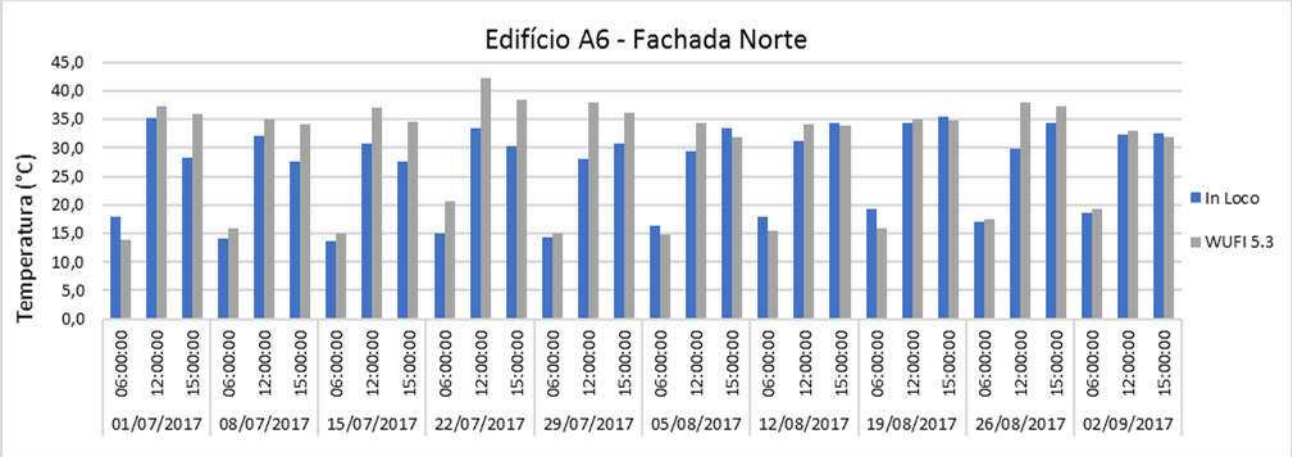
A análise dos resultados da comparação visual entre as temperaturas superficiais medidas *in loco* e as estimadas pelo *software* foram realizadas para todas as fachadas dos edifícios A1 e A2, obtendo-se resultados críticos, como já esperado, para as fachadas Norte e Oeste, apresentadas pela carta solar de Brasília como as orientações que possuem maiores temperaturas ocasionadas pela incidência de radiação solar. Logo, são apresentados nas figuras 1 e 2 os gráficos de colunas da fachada mais crítica dos edifícios A1 e A2, respectivamente, possibilitando a visualização de uma mesma tendência apresentada por ambas as temperaturas. Em ambos os edifícios as temperaturas expressas pelas medições *in loco* para as orientações Norte e Oeste possuíram valores bastante próximos aos valores simulados pelo *software*, para as demais orientações uma pequena fração dos valores das medições apresentadas estiveram próximos aos simulados pelo *software*, estando sua grande maioria abaixo desses valores.

Figura 1 - Comparação entre as Temperaturas superficiais medidas e simuladas para a fachada Oeste do edifício A1.



Fonte: Autoria Própria, 2017.

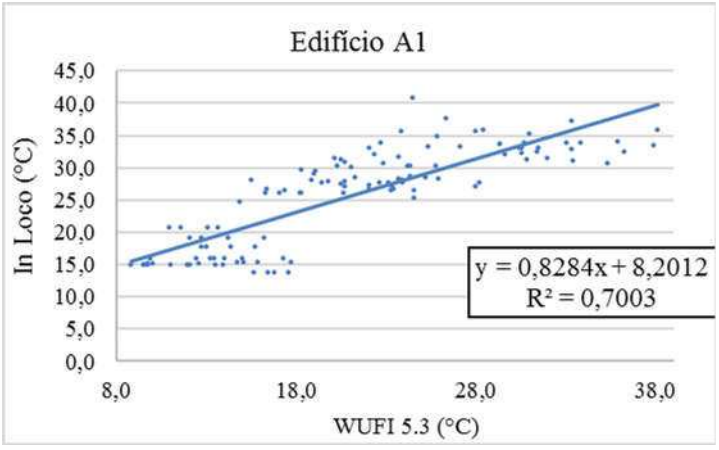
Figura 2 - Comparação entre as Temperaturas superficiais medidas e simuladas para a fachada Norte do edifício A6.



Fonte: Autoria Própria, 2017.

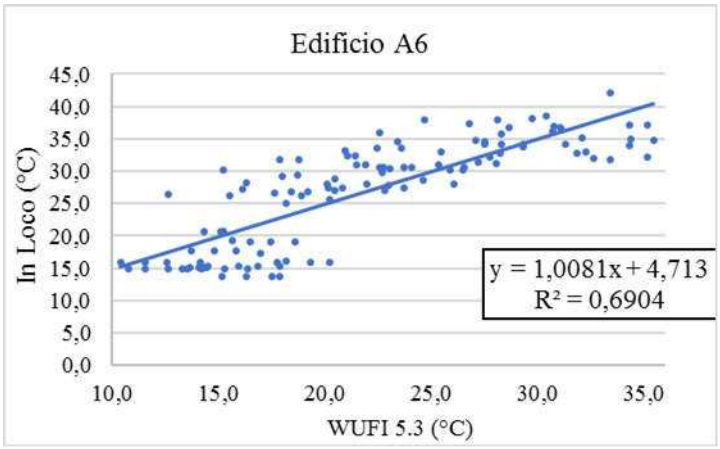
Assim sendo, para sanar a necessidade de dados matemáticos aplicáveis a análises futuras, adotou-se a metodologia de Nascimento (2016), aplicando-se o coeficiente de determinação na dispersão dos dados de temperatura superficial de todas as orientações, dados esses, obtidos pelas medições e pela simulação. As figuras 3 e 4 retratam os diagramas de dispersão dos dados para os edifícios, apresentando valores para o coeficiente de determinção de 0,7003 e 0,6904, para os edifícios A1 e A6, respectivamente. Conforme anteposto, os valores apresentados pelo coeficiente de determinação são maiores do que o limite de 0,36, delimitado como aceitável para este estudo, encontrando-se satisfatórios e corroborantes para a validação dos dados de temperatura superficiais apresentados pelo *software* de simulação higrotérmica WUFI® Pro 5.3.

Figura 3 – Curva da regressão linear entre os dados globais simulados e medidos do edifício A1.



Fonte: Autoria Própria, 2017.

Figura 4 - Curva da regressão linear entre os dados globais simulados e medidos do edifício A6.



Fonte: Autoria Própria, 2017.

3.2 Determinação da Severidade de Degradação do Revestimento Cerâmico - Sw,c

A partir da equação 1 foram calculados os valores de $S_{w,c}$ para o "edifício modelo", conforme apresentado na tabela 2. São ainda apresentados na tabela 2 os valores de FGD_A obtidos para os edifícios A1 e A6, de acordo com Souza (2016).

Tabela 2 – Valores de $S_{w,c}$ e FGD_A

Edifícios	Norte	Sul	Leste	Oeste
Modelo	4,75%	4,72%	5,91%	7,61%
A1	0,41%	0,86%	0,11%	0,13%
A6	8,12%	4,43%	7,43%	16,16%

Fonte: Autoria Própria, 2017.

3.3 Simulação para o Edifício Modelo situado em Lisboa - POR

A simulação higrotérmica com a utilização do *software* WUFI® Pro 5.3 gerou, para um período de três anos, 26281 dados de temperaturas superficiais, dos quais, de acordo com a metodologia de Nascimento (2016), devem ser utilizados apenas os referentes ao terceiro ano da simulação, resultando na utilização de aproximadamente 8760 dados aplicáveis. Pela grande quantidade de valores resultantes da simulação, optou-se por atribuir valores de I_{it} e $I_{it,total}$ para cada uma das fachadas. A tabela 3 apresenta o resumo das informações consernentes a simulação realizada no *software*, necessárias para o cálculo de I_{it} e $I_{it,total}$.

Tabela 3 – Tabela Resumo das Faixas de Temperatura e $\Delta T_{médio}$

Faixas			$\Delta T_{médio}$ (ºC)				fn			
Nº	Início	Fim	Norte	Sul	Leste	Oeste	Norte	Sul	Leste	Oeste
1	2,2	6,76	6,88	6,45	6,83	6,27	174,00	86,00	184,00	72,00
2	6,77	11,32	12,45	13,84	13,18	13,64	186,00	224,00	180,00	104,00
3	11,33	15,88	18,62	19,09	18,64	21,98	5,00	55,00	1,00	111,00
4	15,89	20,44	0,00	0,00	0,00	27,73	0,00	0,00	0,00	78,00

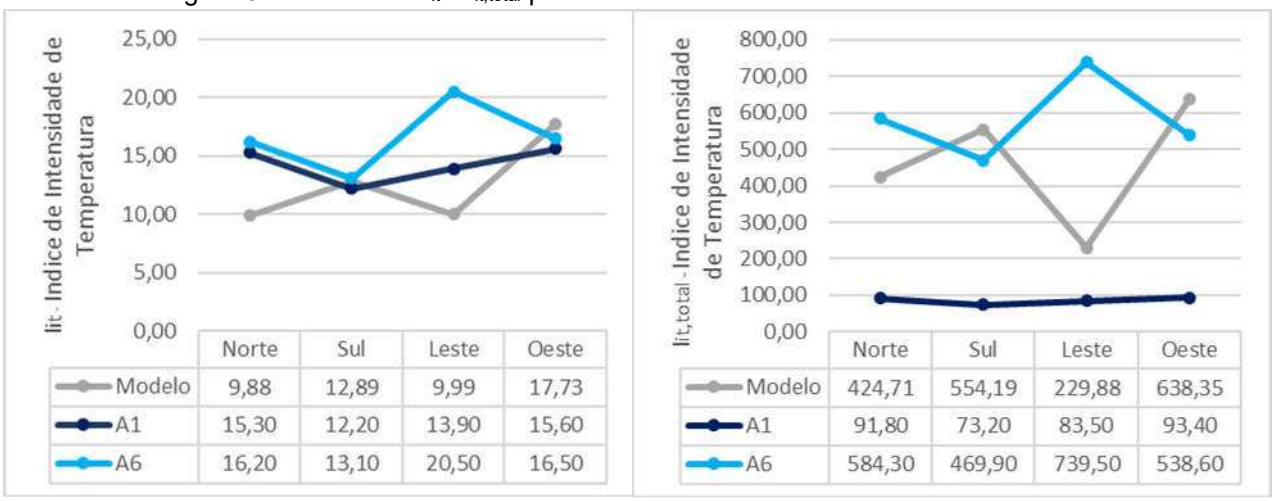
Fonte: Autoria Própria, 2017.

3.4 Calculo dos Índices de Incidência de Temperatura I_{it} e $I_{it,total}$

Os valores de I_{it} e $I_{it,total}$ foram calculados com base na tabela 3, aplicando seus valores nas equações 2 e 3 e resultando nos gráficos apresentados na figura 5. No gráfico de I_{it} apresentado nessa figura, pode-se observar que o comportamento dos edifícios Modelo, A1 e A6 são bastante similares, estando caracterizados apenas pela inversão das orientações críticas Sul, para o edifício Modelo, e Norte, para os edifícios A1 e A6. Ainda é percebido o comportamento do edifício A6, a qual apresenta um valor elevado para a fachada Leste, o que pode ser discriminado por intermédio do gráfico da figura 6, onde se percebe

que a fachada Leste é a que apresenta o valor de absortância mais elevado dentre as fachadas dos três edifícios estudados. A ilustração desse comportamento deixa explícita a capacidade do *software* de representar as variações dos valores de radiação solar absorvidos pelas fachadas dadas as características dos materiais.

Figura 5 – Valores de I_{it} e $I_{it,total}$ para Todas as Fachadas dos Edifícios Estudados



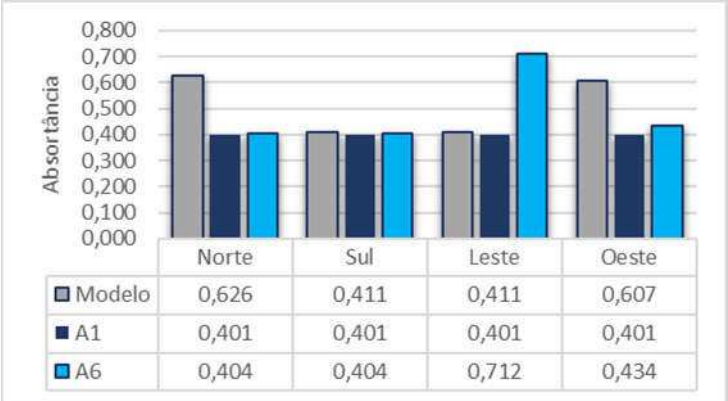
	Norte	Sul	Leste	Oeste
Modelo	9,88	12,89	9,99	17,73
A1	15,30	12,20	13,90	15,60
A6	16,20	13,10	20,50	16,50

	Norte	Sul	Leste	Oeste
Modelo	424,71	554,19	229,88	638,35
A1	91,80	73,20	83,50	93,40
A6	584,30	469,90	739,50	538,60

Fonte: Autoria Própria, 2017.

Como pressuposto sob as informações da carta solar de Portugal e observado na figura 5, a fachada Norte do edifício Modelo é a fachada desta edificação que recebe a menor incidência de radiação solar durante o ano, porém, seu valor de I_{it} é basicamente igual ao valor apresentado pela fachada leste da mesma edificação. Essa semelhança se reflete através da figura 6, a qual expressa que o valor de absortância da fachada norte do edifício modelo é cerca de 50% maior do que o valor da fachada leste do mesmo edifício, sendo, provavelmente, o fator responsável pela semelhança evidenciada, porém, não deixando de apresentar a orientação da fachada como fator dominante para os valores do I_{it}. No gráfico de $I_{it,total}$ torna-se notável a influência das idades das edificações em seus valores, demonstrando o comportamento de edifícios mais novos, como o edifício A1, e o comportamento de edifícios mais velhos, como os edifícios modelo e edifício A6.

Figura 6 – Valores de Absortância para cada Orientação e Edifício.



	Norte	Sul	Leste	Oeste
Modelo	0,626	0,411	0,411	0,607
A1	0,401	0,401	0,401	0,401
A6	0,404	0,404	0,712	0,434

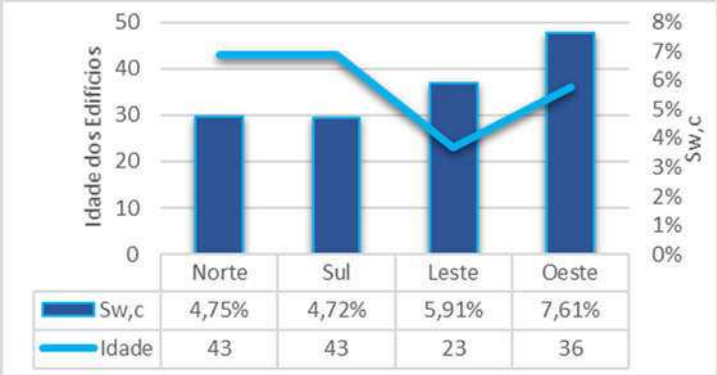
Fonte: Autoria Própria, 2017.

3.5 $S_{w,c}$ para Idade e Orientações do Edifício Modelo

Os valores de $S_{w,c}$ obtidos conforme a metodologia de Bordalo (2010), as orientações e as idades das fachadas do edifício modelo estão especificados e relacionados na figura 7. Como percebido no gráfico dessa figura, apesar das suposições realizadas anteriormente possuírem embasamentos consistentes quanto sua veracidade, constatou-se que somente as análises realizadas com base em fatores como aspectos climáticos e idade não são suficientes para se determinar com exatidão os níveis de degradação

do revestimento cerâmico de uma fachada, já que a fachada sul do edifício modelo, mesmo tendo uma idade avançada de 43 anos e estando voltada à uma orientação crítica, não apresentou degradações mais elevadas em comparação com outras fachadas não tidas como críticas. Bordalo (2010) cita que a evolução de uma degradação também dependente de outros fatores primordiais, como a qualidade da execução, do projeto e, por fim, dos materiais aplicados ao edifício.

Figura 7 – Idade e $S_{w,c}$ do edifício Modelo

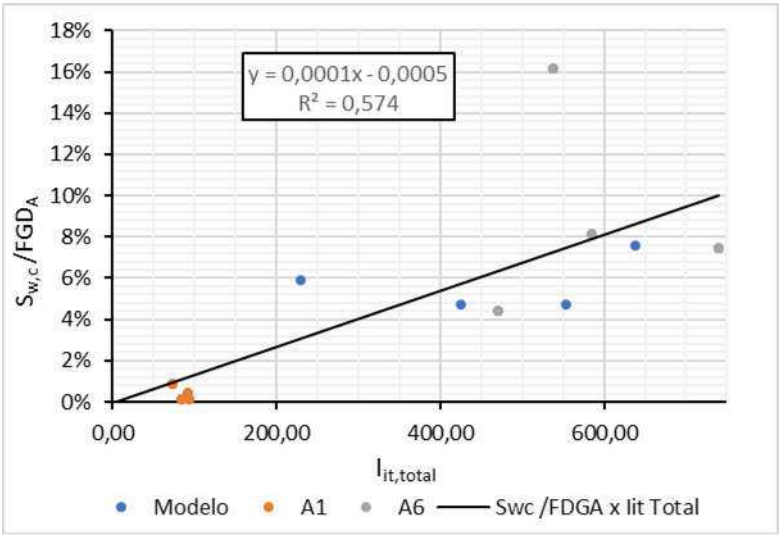


Fonte: Autoria Própria, 2017

3.5 Calculo do Coeficiente de Determinçação

De acordo com a metodologia de Nascimento (2016), o gráfico expresso na figura 8 representa uma relação entre os valores de $I_{it,total}$ e os valores dos $S_{w,c}$ /FGD_A, agindo de maneira análoga às funções dose-resposta apresentadas pela ISO 15586-2 (2012).

Figura 8 – Relação entre $I_{it,total}$ e $S_{w,c}$ /FGD_A



Fonte: Autoria Própria, 2017.

Como pode ser percebido na figura 8, apenas foram considerados como fatores de degradação os aspectos climáticos, não relacionando, conforme já abordado, fatores externos a estes, como por exemplo, a qualidade da execução, do projeto, dos materiais utilizados, entre outros fatores não discutidos neste estudo. Tais limitações da metodologia podem explicar as possíveis causas para os valores de R^2 se apresentarem em valores tão medianos, entretanto, mesmo com os valores de R^2 não se mostrando tão elevados quanto pretendido, ainda pode-se notar que há uma forte ligação entre os fatores climáticos e a degradação.

4. CONCLUSÕES

Pode-se perceber através dos resultados obtidos que o software conseguiu distinguir de maneira aceitável as orientações das fachadas, as condições climáticas às quais os edifícios estavam expostos, as características dos elementos construtivos, bem como a influência desses fatores na temperatura superficial do revestimento, tanto em simulações realizadas em Brasília – BRA, quanto em Lisboa – POR.

Tratando-se de Brasília, os resultados alcançados através do comparativo realizado entre os dados de temperatura superficial dos revestimentos cerâmicos de fachadas coletados *in loco* e os dados estimados pelo software demonstraram grande confiabilidade, já que a simulação apresentou um grau de precisão aceitável para aplicação em estudos relacionados à degradação, se mostrando uma ferramenta adequada para a quantificação de fatores climáticos aos quais as fachadas estão expostas.

Referindo-se a Portugal, através dos fatores I_{it} e $I_{it,total}$ foi possível relacionar os dados gerados pela simulação higrotérmica com as características de exposição climática de cada fachada estudada, sendo exequível a definição das fachadas críticas, como também relação dos dados com o nível de degradação das fachadas. O valor R^2 obtido na relação $I_{it,total}$ x $S_{w,c}$ /FGD_A representou de maneira satisfatória a relação entre as degradações das fachadas e os valores climáticos obtidos pelas simulação. Visto que existem outros responsáveis pela degradação das fachadas, como referido nos resultados, tem-se que os fatores climáticos compõe apenas uma parcela destes autoria, mas ainda assim, permitindo observar o grau de relação que a ocorrência de degradação apresenta entre os dados climáticos simulados.

Portanto, a ferramenta mostrou grande potencial para quantificação dos agentes climáticos em ambas as cidades estudas – Lisboa - POR e Brasília - BRA. É de grande valia ressaltar que este trabalho é um estudo inicial, com objetivo de se tornar um primeiro modelo de utilização do *software* de simulação higrotérmica WUFI® Pro 5.3 para a cidade de Lisboa - POR e que os resultados apresentados neste trabalho são referentes ao estudo sobre as edificações discriminadas.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente à Deus, o nosso único e suficiente salvador. Aos nossos familiares, em especial, nossos pais, Anivécio Moura de Souza e Arlete Lapa da Silva; Valdeci Alves Dutra e Noemia de Sousa Dutra. Aos nossos amigos, em especial, ao Gustavo Teles e ao Pedro H. Cidade que tiveram toda paciencia necessária enquanto nos assessoravam. Ao Prof. Dr. Jorge Brito e a Prof. Dra. Ana Silva, que nos permitiram o acesso aos dados necessários para realização deste estudo. À Ma. Jéssica S. Souza que se prontificou em nos auxiliar para o bom andamento deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

ANFACER. **Relatório de atividades**: 2014 /2016. São Paulo: ANFACER- Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres, 2016. 31 p. Relatório.

ANTUNES, G. R. **Estudo de manifestações patológicas em revestimento de fachada em Brasília:** sistematização da incidência de casos. 2010. 178 p. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil). Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

BORDALO, R.; BRITO, J.; GASPAR, P. L.; SILVA, ANA. **Abordagem a um modelo de previsão da vida útil de revestimentos cerâmicos aderentes**. Rio Grande: Editora Dunas, 2010. 15 p.

CUNHA, M. M. F. **Vãos envidraçados: Geometria de insolação – optimização do dimensionamento de elementos de protecção solar**. 2005. 16 p. Dissertação (Mestrado em Construção de Edifícios – Tecnologia de Fachadas) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2015.

DIAS, I. S. **Avaliação da vida útil de revestimentos cerâmicos em fachadas através de inspeção de edifícios**. 2015. 111 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Especialização em Construções) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2015.

DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. **Influência das tintas imobiliárias sobre o desempenho térmico e energetico de edificações**. São Paulo: Anais - X Congresso Internacional de Tintas, 2007. 12 p.

FLORES-COLEN, I. S. F. B. C. **Metodologia de avaliação do desempenho em serviço de fachadas rebocadas na óptica da manutenção predictiva.** 2009. 198 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, 2009.

NASCIMENTO, M. L. M. **Aplicação da simulação higrotérmica na investigação da degradação de fachadas de edifícios**. 2016. p. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil). Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

SILVA, M. D. N. B. D. **Avaliação quantitativa da degradação e vida útil de revestimentos de fachada – aplicação ao caso de Brasília/DF.** 2014. 487 p. Dissertação (Doutorado em Estruturas e Construção Civil). Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

SOUSA, R. D. B. **Previsão da vida útil dos revestimentos cerámicos aderentes em fachadas**. 2008. 138 p. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil). – Faculdade de Engenharia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2008.

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

ZANONI, V. A. G. **Influência dos agentes climáticos de degradação no comportamento higrotérmico de fachadas em Brasília**. 2016. 293 p. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo – Ambiente e Sustentabilidade) Universidade de Brasília, 2016.