



APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTATÍSTICOS NO ESTUDO DE VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE DE SIMULAÇÃO HIGROTÉRMICA WUFI® PRO 5.3 PARA PROSPECÇÃO DA TEMPERATURA SUPERFICIAL EM FACHADAS DE REVESTIMENTO CERÂMICO ADERIDO – ESTUDO DE CASO EM BRASÍLIA – DF

Alan da Silva Moura¹

alansvmoura@gmail.com

Erik Filipe Alves Dutra²

erickalvesc90@gmail.com

Matheus Leoni Martins Nascimento³

matheus.nascimento@iesb.br

Vamberto Machado dos Santos Filho⁴

vamberto.filho@iesb.br

ÁREA: PATOLOGIA

Resumo

Em um contexto de destaque à utilização de *software* de simulações para possíveis ocorrências climáticas, este estudo de caso realizado em dois edifícios localizados em Brasília – DF, tem como objetivo efetivar a aplicação de métodos estatísticos para a verificação da viabilidade da utilização do *software* de Simulação Higrotérmica WUFI® PRO 5.3 nos estudos de degradações, visando estimar a temperatura superficial em fachadas de revestimento cerâmico aderido. A verificação se deu por meio de um comparativo entre os dados de temperatura superficial resultantes do trabalho de Nascimento (2) para os dois edifícios e os dados obtidos por medição *in loco*. As medições *in loco* do sistema de revestimento das edificações foram realizadas em um período de dez semanas e em três horários, buscando a descrição para os períodos de maior variabilidade da temperatura. Após tratamento, as medições *in loco* totalizaram-se cerca de 780 dados aplicáveis, possibilitando a realização do tratamento probabilístico estatístico com aplicação de métodos como correlação, regressão, teste F e teste *t* de Student, verificando a correlação entre os dados obtidos e os simulados. A partir do resultado foi possível atestar que o *software* é uma ferramenta confiável para realização de estimativas de dados de temperaturas superficiais em fachadas de revestimento cerâmico aderido para edificações localizadas em Brasília – DF. Com base nisso, foram definidos os intervalos de previsão e os erros padrões para cada uma das fachadas dos edifícios estudados, sendo utilizáveis para possíveis análises de estimativa de dados.

Palavras chave: Fachada

Temperatura

Estatística

Simulação

WUFI

¹ Bacharel em engenharia civil, aluno pelo Centro Universitário IESB, Câmpus Edson Machado.

² Bacharel em engenharia civil, aluno pelo Centro Universitário IESB, Câmpus Edson Machado.

³ Mestre em engenharia civil, professor no Centro Universitário IESB, Câmpus Edson Machado.

⁴ Mestre em engenharia civil, professor no Centro Universitário IESB, Câmpus Edson Machado.

APLICACIÓN DE MÉTODOS ESTADÍSTICOS EN EL ESTUDIO DE VIABILIDAD DE LA UTILIZACIÓN DEL SOFTWARE DE SIMULACIÓN HIGROTÉRMICA WUFI® PRO 5.3 PARA PROSPECCIÓN DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL EN FACHADAS DE REVESTIMIENTO CERÁMICO ADHERIDO – ESTUDIO DE CASO EN BRASILIA – DF

Alan da Silva Moura¹

alansvmoura@gmail.com

Erik Filipe Alves Dutra²

erickalvesc90@gmail.com

Matheus Leoni Martins Nascimento³

matheus.nascimento@iesb.br

Vamberto Machado dos Santos Filho⁴

vamberto.filho@iesb.br

AREA: PATOLOGÍA

Resumen

En un contexto destacado de la utilización de *software* de simulaciones para posibles ocurrencias climáticas, este estudio de caso realizado en dos edificios ubicados en Brasília – DF, tiene como objetivo efectivizar la aplicación de métodos estadísticos para la verificación de la viabilidad de la utilización del *software* de Simulación Higrotérmica WUFI® PRO 5.3 en los estudios de degradación, con el objetivo de estimar la temperatura superficial en fachadas de revestimiento cerámico adherido. La verificación se dio por medio de un comparativo entre los datos de temperatura superficial resultantes del trabajo de Nascimento (2) para los dos edificios y los datos obtenidos por medición *in situ*. Las mediciones *in situ* del sistema de revestimiento de las edificaciones se realizaron en un período de diez semanas y en tres horarios, buscando la descripción para los períodos de mayor variabilidad de la temperatura. Después del tratamiento, las mediciones se cifraron alrededor de 780 datos aplicables, posibilitando la realización del tratamiento probabilístico estadístico con aplicación de métodos como correlación, regresión, prueba F y prueba *t* de *Student*, verificando la correlación entre los datos obtenidos y los simulados. A partir del resultado fue posible atestar que el *software* es una herramienta confiable para realizar estimaciones de datos de temperaturas superficiales en fachadas de revestimiento cerámico adherido para edificaciones ubicadas en Brasilia - DF. Con ello, se definieron los intervalos de previsión y los errores estándar para cada una de las fachadas de los edificios estudiados, siendo utilizables para posibles análisis de estimación de datos.

Palabras clave: Fachada

Temperatura

Estadística

Simulación

WUFI

¹ Bacharel em engenharia civil, aluno pelo Centro Universitário IESB, Câmpus Edson Machado.

² Bacharel em engenharia civil, aluno pelo Centro Universitário IESB, Câmpus Edson Machado.

³ Mestre em engenharia civil, professor no Centro Universitário IESB, Câmpus Edson Machado.

⁴ Mestre em engenharia civil, professor no Centro Universitário IESB, Câmpus Edson Machado.

1. Introdução

Atualmente, a preocupação com o desempenho das fachadas das edificações tem instigado uma maior atenção dos profissionais perante diversos fatores construtivos como, por exemplo, a escolha de materiais adequados, correto dimensionamento de panos, análise da influência da orientação da fachada em seu desempenho e etc. É de grande importância que esses fatores sejam avaliados, pois estão diretamente ligados aos confortos higrotérmico, acústico e visual, além de estarem associados à estanqueidade e à segurança em uso da edificação, devendo todos atender aos requisitos mínimos de desempenho.

A norma de desempenho estabelece critérios que vão desde o efeito das falhas no desempenho, até os custos de manutenção e reposição dos sistemas construtivos ao longo da vida útil da edificação. Desse modo, a vida útil de projeto para o sistema de revestimento de fachada deve apresentar no mínimo 20 anos (1).

Perante isto, o estudo sobre a ocorrência de manifestações patológicas tem se intensificado e se expandido, englobando novos tópicos e gerando uma melhor adaptabilidade no desenvolvimento de novos métodos construtivos, onde tem se destacado a utilização de *software* para simulação de possíveis ocorrências climáticas.

Neste cenário, o presente estudo tem por finalidade verificar estatisticamente a viabilidade da utilização do *software* de simulação higrotérmica WUFI® PRO 5.3 para estudos de degradação quanto à temperatura superficial em fachadas com sistema de vedação externa em revestimento cerâmico aderido para edificações situadas em Brasília - DF, realizando levantamentos *in loco* de temperaturas superficiais de revestimentos cerâmicos em fachadas de edifícios pré-determinados, e os comparando com os dados estimados pelo *software* no trabalho de Nascimento (2).

2. Metodologia

2.1. Obtenção dos Dados de Temperatura Superficial do Revestimento Cerâmico de Fachada

Para a realização do levantamento *in loco* dos dados de temperatura superficial em fachadas de revestimento cerâmico foram escolhidos dois edifícios dos seis apresentados por Nascimento (2), sendo eles os edifícios A1 e A6, constatando-se por meio de visita de campo que somente os mesmos não sofreram modificações em suas fachadas. As orientações das fachadas das edificações foram definidas de acordo com a metodologia de Silva (3), agrupando as orientações em quatro quadrantes, definidos por seus azimutes e expressos como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Faixa de Quadrantes das Edificações (SILVA - Adaptado, 2014).

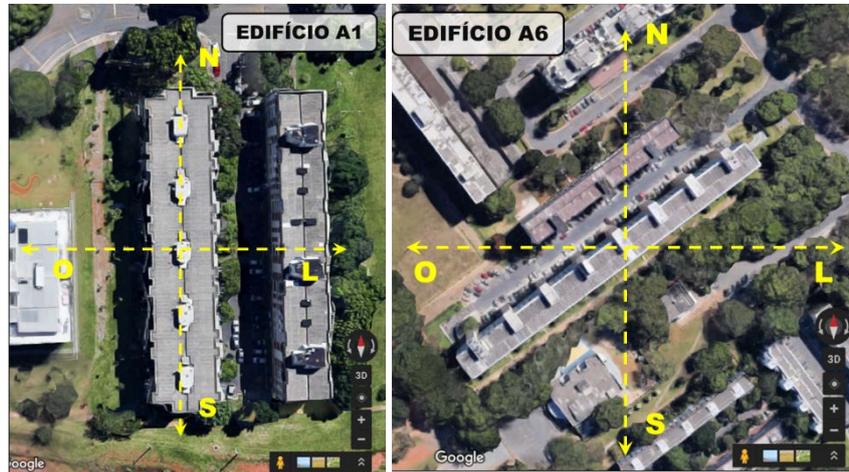
Quadrante	Faixa de Azimutes
Norte	De 315° à 44°;
Leste	De 45° à 134°;
Sul	De 135° à 224°;
Oeste	De 225° à 314°;

Como pode-se perceber na tabela 1, foram atribuídas faixas de 90° para cada uma das orientações, assumindo que a distância dos valores centrais de 0° para Norte, 90° para Leste, 180° para Sul e 270° para Oeste, estejam centralizados em suas áreas de influência (3). Nos edifícios A1 e A6, selecionados para este trabalho, suas orientações são dadas conforme apresentados na tabela 2 e na figura 1.

Tabela 2 - Definição das orientações dos edifícios (Nascimento - Adaptado, 2016).

Amostra	Fachadas Principais	Empenas
A1	Leste/Oeste	Norte/Sul
A6	Norte/Sul	Leste/Oeste

Figura 1 - Definição das orientações dos edifícios (Fonte: Google Maps – adaptado, 2017).



As medições foram realizadas nos horários de 06, 12 e 15 horas, horário de Brasília, durante um período de 10 sábados subsequentes, partindo-se do dia 01 de julho e se prolongando até o dia 02 de setembro de 2017. Para a coleta dos dados de temperatura superficial foi empregado o aparelho pirômetro infravermelho HM-88A e para efetivação das medições, delimitaram-se 2 pontos de medição sobre a superfície das empenas de ambos os edifícios, 4 e 5 pontos sobre as fachadas principais dos edifícios A1 e A6, respectivamente, totalizando, após a finalização das medições, 780 dados de temperaturas superficiais utilizáveis.

Os dados de temperatura superficial simulados para os edifícios A1 e A6, referentes aos dias e horários estabelecidos para o levantamento *in loco*, foram adquiridos por intermédio do trabalho de Nascimento (2).

2.2. Tratamento dos Dados de Temperaturas Superficiais Obtidas no Levantamento Realizado *In Loco*

Através do manuseio do WUFI® PRO 5.3 percebeu-se que o *software* apresenta a temperatura superficial simulada como um único valor, para cada dia e horário, representativo para toda a extensão da fachada. Diante disso, fez-se necessária a realização de média aritmética dos dados obtidos por medição *in loco*, adotando-se o resultado da mesma como característico para sua dada fachada em orientação, dia e horário específico.

2.3. Comparativo entre os resultados obtidos na medição e os simulados por Nascimento (2) via *software*

Após o tratamento dos dados de temperatura superficial medidos *in loco*, efetuou-se as análises estatísticas adotando-se métodos de probabilidade estatística para realização do comparativo entre os dados, sendo eles o modelo de análise de Correlação, Regressão, testes F e t de Student.

A aplicação do modelo de probabilidade estatística para as análises de correlação e regressão foram aplicados na tentativa de evidenciar uma possível correlação entre os valores de temperaturas superficiais simulados pelo *software* e os obtidos nas medições *in*

loco. Os valores do coeficiente de correlação – r – foram determinandos a partir dos valores do coeficiente de determinação – R^2 (4). Através dos testes de hipóteses de correlação pode-se determinar se a quantidade de evidências é suficiente para se afirmar a existência da correlação linear entre as variáveis (5). Dessa forma, empregou-se o teste de hipóteses da correlação e o teste dos valores críticos para o coeficiente de correlação.

O teste de hipótese t de *Student* é apresentado como um método capaz de evidenciar uma possível igualdade entre as médias de duas amostras, necessitando previamente do conhecimento da equivalência ou diferença de suas variâncias (6). Tal variação resulta na aplicação de fórmulas distintas no cálculo do valor do erro padrão da distribuição de amostra – $\sigma_{\bar{X}-\bar{Y}}$, sendo a equação 1 para variâncias equivalentes e a equação 2 para variâncias diferentes.

$$\sigma_{\bar{X}-\bar{Y}} = \hat{\sigma} \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}} \quad (1)$$

em que:

$\sigma_{\bar{X}-\bar{Y}}$ — erro padrão da distribuição de amostra de $\bar{X}_1 - \bar{X}_2$;

$\hat{\sigma}$ — estimativa padrão coligada;

n_1 — números de observações da amostra 1;

n_2 — números de observações da amostra 2.

$$\sigma_{\bar{X}-\bar{Y}} = \sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}} \quad (2)$$

em que:

S_1^2 — variância da amostra 1;

S_2^2 — variância da amostra 2;

Com o objetivo de verificar a existência de uma possível igualdade entre as variâncias das amostras dos dados da simulação gerados pelo *software* e os dados obtidos nas medições *in loco*, realizou-se o teste F considerando a hipótese nula como a igualdade entre as variâncias, a hipótese alternativa como a diferença entre as mesmas e o nível de confiança de 95%.

Em posse de seus resultados, aplicou-se o teste t de *student* para cada fachada estudada, utilizando-se a equação referente à condição de equivalência ou diferença entre as variâncias das duas amostras, adotando como hipótese nula a igualdade das médias amostrais e a hipótese alternativa como a disparidade destas médias, para isso, realizando a análise bicaudal de t de *Student*, com nível de confiança de 95%. Serão adotados os valores de temperatura superficial obtidos pelo levantamento *in loco* como amostra 1 e os valores de temperatura superficial obtidos pela simulação como amostra 2.

O intervalo de precisão foi definido pela soma e pela diferença dos valores de Y previsto – \hat{Y} – e a margem de erro – E – deste mesmo ponto. A margem de erro pode ser apresentada de duas formas, a primeira consiste no cálculo com base em todos os valores de \hat{Y} e a segunda apenas sobre seus valores médios.

3. Resultados

Como resultado dos métodos de correlação e regressão, a tabela 1 apresenta, para os dados globais dos edifícios, valores de R^2 que se mostraram relevantes estatisticamente, sendo eles 0,7003 e 0,6904 para os edifícios A1 e A6, respectivamente. Aplicando-se

ainda os mesmos métodos para cada uma das fachada de ambos os edifícios obtiveram-se os valores de R^2 para edifício A1, em ordem decrescente, de 0,8662; 0,7102; 0,7067 e 0,7034, referentes às fachadas Oeste, Leste, Sul e Norte, respectivamente. Quanto ao edifício A6, os valores de R^2 obtidos, em ordem decrescente, foram de 0,8464, 0,7187, 0,6869 e 0,496, concernentes às fachadas Norte, Oeste, Leste e Sul, respectivamente.

Com exceção da fachada Sul do edifício A6, onde foi encontrado R^2 de 0,496, todas as fachadas de ambos os edifícios obtiveram valores do coeficiente de determinação consideravelmente satisfatórios (4), com R^2 acima de 0,69. Os maiores valores do coeficiente de determinação foram constatados na fachada voltada à orientação Oeste do edifício A1 e na fachada direcionada à orientação Norte do edifício A6, obtendo-se valores consideravelmente significativos.

Observando a figura 1, percebe-se que a fachada sul do edifício A6 é circundada por edifícios e uma grande quantidade de árvores altas, onde, somada a observação da carta solar de Brasília para o período estudado (7), chegou-se à conclusão de que, possivelmente, o baixo valor de R^2 para a fachada sul ocorreu devido às barreiras formadas pelas edificações e árvores ao redor dessa fachada, além da presença de possíveis nuvens sobre a mesma, impedindo que parte da radiação solar incidisse, efetivamente, sobre ela no decorrer do dia, favorecendo que a temperatura medida *in loco* tivesse comportamento diferente da temperatura simulada pelo WUFI® PRO 5.3, visto que esse *software* não leva em consideração a existência de barreiras solares, acarretando assim na baixa correlação entre esses dados.

Para verificar a veracidade do apresentado nos métodos anteriores, foram utilizados dois métodos de testes de hipóteses da correlação, o método estatístico de prova t crítico e o método de prova de r crítico. Para a execução desses testes, considera-se como hipótese nula a não existência de correlação entre os dados ($r = 0$) e como hipótese alternativa a existência da correlação entre esses dados ($r \neq 0$). Os valores de t crítico e r crítico são obtidos através de tabelas presentes na literatura (5) e (6). A tabela 1 apresenta os resultados obtidos dos testes de hipótese de correlação realizados para cada coeficiente de correlação encontrado. De acordo com os resultados obtidos nesses testes, todos os valores de t_{calc} e r foram superiores aos respectivos valores de t crítico e r crítico. Portanto, a hipótese nula é rejeita concluindo-se com 95% de confiança a existência de correlação significativa entre os dados de temperaturas superficiais (4).

Tabela 1- Resultado das regressões e dos testes de hipóteses para verificação de existência de correlação.

Dados Analisados	n	R^2	r	t_{calc}	t crítico (tabela)	r crítico (tabela)
Edifício A1 - Dados globais	120	0,700	0,837	16,605	1,984	0,197
Edifício A6 - Dados globais	120	0,690	0,831	16,221	1,984	0,197
Edifício A1 - Fachada Norte	30	0,703	0,839	8,149	2,048	0,361
Edifício A1 - Fachada Oeste	30	0,866	0,931	13,464	2,048	0,361
Edifício A1 - Fachada Leste	30	0,710	0,843	8,284	2,048	0,361
Edifício A1 - Fachada Sul	30	0,707	0,841	8,214	2,048	0,361
Edifício A6 - Fachada Norte	30	0,846	0,920	12,421	2,048	0,361
Edifício A6 - Fachada Oeste	30	0,719	0,848	8,458	2,048	0,361
Edifício A6 - Fachada Leste	30	0,687	0,829	7,838	2,048	0,361
Edifício A6 - Fachada Sul	30	0,496	0,704	5,249	2,048	0,361

Na realização do teste F adota-se que, caso $F_{calc} > F$ crítico, a hipótese nula é rejeitada, ou seja, indica que as variâncias são equivalentes, do contrário, as variâncias são tidas como diferentes entre si (6). Os resultados do processo estão na tabela 2.

Os resultados do teste F indicaram com 95% de confiança, que apenas a análise dos dados globais do edifício A1, conjuntamente com as análises efetuadas analisando-se as

fachadas sul e oeste do edifício A6 apresentaram variâncias diferentes, o restante das comparações apresentou variâncias equivalentes.

Tabela 1 – Resultados do teste F.

Dados Analisados	n	F	F crítico	P(F<=f) unicaudal	Classificação das variâncias
Edifício A1 - Dados globais	240	1,0069	1,3536	0,4851	Equivalentes
Edifício A6 - Dados globais	240	1,4827	1,3536	0,0163	Diferentes
Edifício A1 - Fachada Norte	60	1,4903	1,8608	0,1442	Equivalentes
Edifício A1 - Fachada Oeste	60	1,3486	1,8608	0,2128	Equivalentes
Edifício A1 - Fachada Leste	60	1,5751	1,8608	0,1136	Equivalentes
Edifício A1 - Fachada Sul	60	1,4767	1,8608	0,1498	Equivalentes
Edifício A6 - Fachada Norte	60	1,5622	1,8608	0,1178	Equivalentes
Edifício A6 - Fachada Oeste	60	2,7899	1,8608	0,0036	Diferentes
Edifício A6 - Fachada Leste	60	1,3264	1,8608	0,2258	Equivalentes
Edifício A6 - Fachada Sul	60	2,4795	1,8608	0,0085	Diferentes

Logo após, realizou-se o teste de hipóteses *t* de *Student* para todos os dados resultantes das análises anteriores, com a finalidade de se verificar se as médias desses dados são próximos o bastante para serem considerados iguais ou, caso o método indique que esses valores são diferentes, constatar qual dos dados tende a ser maior entre os dois.

Sendo t_{calc} o valor calculado do teste, tem-se que para $|t_{calc}| > |t|$ crítico a resposta do método é a rejeição da hipótese nula, dessa forma, se faz necessário a análise unicaudal à esquerda, verificando se os dados obtidos *in loco* são em média inferiores ou superiores aos dados gerados pela simulação.

Após a realização do teste *t* de *Student* para cada análise, considerando as variâncias de acordo com o teste F, encontrou-se quais as fachadas demonstraram valores de temperaturas superficiais semelhantes a ponto de serem consideradas iguais.

De modo geral, foi identificado através do teste *t* de *Student* que, com 95% de confiança, as fachadas norte e oeste do edifício A1 e a fachada norte do edifício A6, tem valores médios de temperatura tão próximos que podem ser considerados os mesmos, ou seja, para estas fachadas o *software* simulou uma situação que descreveu a condição de temperatura média que as fachadas foram expostas durante o período de estudo.

O restante das fachadas que não apresentaram seus valores médios de temperaturas superficiais consideradas iguais apresentaram a média dos valores simulados maiores que a média dos valores aferidos, ou seja, para essas fachadas, o WUFI® PRO 5.3 simulou, com 95% de confiança, dados de temperatura em média mais elevados do que realmente foi observado durante o período de estudo. Os resultados são explicitados na tabela 3.

Tabela 2 - Resultados do teste *t* de *Student*.

Dados Analisados	n	t_{calc}	t crítico unicaudal	P(T<=t) unicaudal	t crítico bicaudal	P(T<=t) bicaudal
Edifício A1 - Dados globais	240	-4,7101	1,6513	0,0000021	1,9700	0,000004
Edifício A6 - Dados globais	240	-5,0306	1,6515	0,0000005	1,9704	0,000001
Edifício A1 - Fachada Norte	60	-1,8520	1,6716	0,0345617	2,0017	0,069123
Edifício A1 - Fachada Oeste	60	-0,7385	1,6716	0,2315920	2,0017	0,463184
Edifício A1 - Fachada Leste	60	-3,9571	1,6716	0,0001047	2,0017	0,000209
Edifício A1 - Fachada Sul	60	-4,7351	1,6716	0,0000073	2,0017	0,000014
Edifício A6 - Fachada Norte	60	-1,2029	1,6716	0,1169518	2,0017	0,233904
Edifício A6 - Fachada Oeste	60	-3,3352	1,6779	0,0008354	2,0117	0,001671
Edifício A6 - Fachada Leste	60	-2,6779	1,6716	0,0048109	2,0017	0,009622
Edifício A6 - Fachada Sul	60	-4,4159	1,6766	0,0000277	2,0096	0,000055

Por fim, foram calculadas as margens de erro das amostras de cada fachada e de ambos os prédios, com a finalidade de se encontrar o intervalo de precisão dos valores de

temperatura superficial gerados pelo *software*. Analisando os resultados apresentados na tabela 4, pôde-se perceber que as fachadas consideradas críticas, norte e oeste, acrescidas da fachada leste do edifício A6, obtiveram as maiores margens de erro. É possível explicar esse fato ao se levar em consideração que essas são as fachadas que apresentaram as maiores variações térmicas diárias durante o decorrer do estudo.

Tabela 4 - Resultados das margens de erro por fachada.

Dados Analisados	Erro padrão da estimativa (Se)	Margem de erro para média de Y	Margem de erro para um intervalo de Y previsto
Edifício A1 - Fachada Norte	3,983	1,9757	8,0508
Edifício A1 - Fachada Oeste	3,307	1,3101	6,6940
Edifício A1 - Fachada Leste	2,830	1,4070	5,7276
Edifício A1 - Fachada Sul	2,660	1,3152	5,3837
Edifício A6 - Fachada Norte	3,043	1,5110	6,1596
Edifício A6 - Fachada Oeste	2,684	1,3101	5,4280
Edifício A6 - Fachada Leste	3,930	1,9474	7,9546
Edifício A6 - Fachada Sul	2,797	1,3677	5,6555

Outro fator essencial para a diferença manifesta entre os valores das margens de erro apresentados e a estimativa realizada por meio da carta solar de Brasília é dado pela variação dos valores de absorvância apresentados na Tabela 5, onde a fachada Leste do edifício A6 apresenta valor de absorvância maior do que os encontrados nas fachadas críticas do mesmo edifício e, conseqüentemente, um maior ganho de temperatura devido a facilidade que o revestimento cerâmico apresenta na absorção da radiação solar incidida.

Tabela 5 - Valores de absorvância para os edifícios estudados por orientação (Nascimento - Adaptado, 2013).

Edifício	Absorvância (α)
A1	0,401 (Norte, Sul, Leste e Oeste)
A6	0,404 (Norte e Sul), 0,712 (Leste) e 0,434 (Oeste)

Como esperado, tanto os valores medidos *in loco* quanto os simulados pelo *software* foram representados de forma concordante com a variação dos valores de absorvância dos materiais empregados para cada fachada, tornando explícito que o *software* foi capaz de simular as condições de exposição e o comportamento das fachadas em relação às suas orientações e a absorvância de seu respectivo material cerâmico.

Tendo os valores das margens de erro e a equação da reta da linha de regressão de cada uma das fachadas, foram calculados os intervalos de precisão e criados os gráficos que os representam visualmente. As figuras 2 e 3 representam as delimitações dos intervalos de precisão para a fachada mais crítica dos edifícios A1 e A6, respectivamente.

Figura 2 - Intervalo de Previsão para a Fachada mais Crítica do Edifício A1.

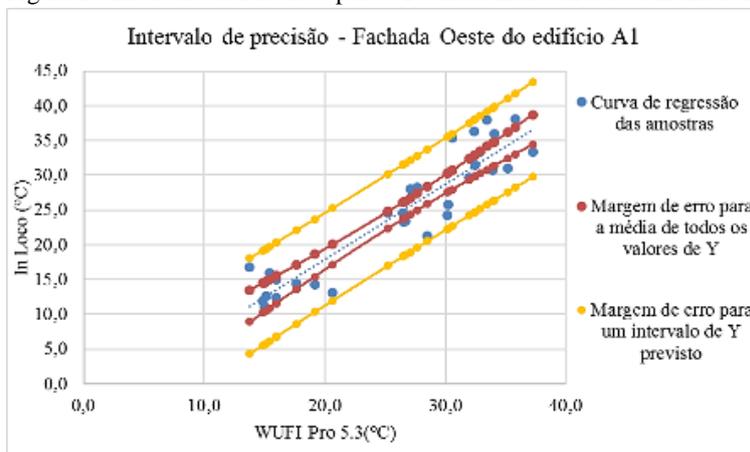
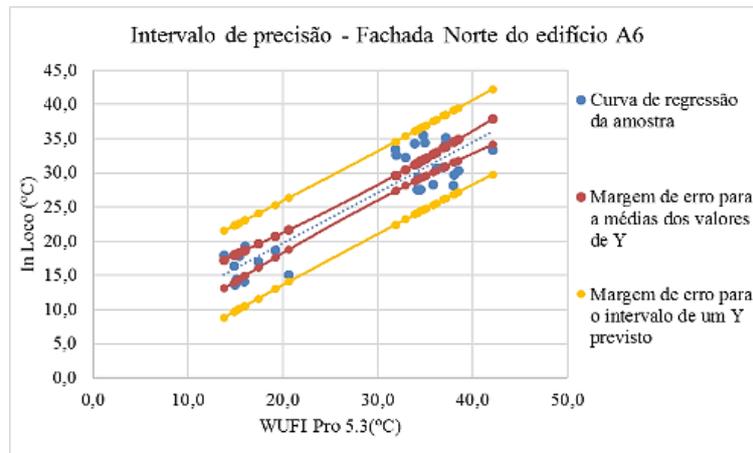


Figura 3 - Intervalo de Previsão para a Fachadas mais Crítica do Edifício A6.



Com a aplicação das margens de erro é possível estimar novos valores, partindo dos dados obtidos pela simulação realizada no *software*, ou seja, é possível realizar uma estimativa através da equação da linha de regressão e, através das limitações definidas pelas margens de erro, apresentar, com 95% de confiança, uma área de valores de temperatura superficial, abaixo da curva da distribuição normal bivariada, que possivelmente seriam medidos *in loco* nos respectivos dias da simulação da temperatura superficial realizada com o *software* de simulação higratérmica WUFI® PRO 5.3.

4. Conclusão

Com base nos resultados obtidos pelos métodos de probabilidade estatística adotados, pode-se afirmar que os dados fornecidos pelo *software* de Simulação Higratérmica WUFI® PRO 5.3 são passíveis de utilização para o estudo de degradação em fachadas de edifícios localizados em Brasília – DF, pois os resultados mostraram que para as fachadas tidas como críticas, Norte e Oeste, os valores tenderam à uma linha de regressão semelhante, já nas fachadas Sul e Leste, os valores se encontraram semelhantes ou abaixo dos apresentados pela simulação realizada por Nascimento (2) via *software*.

Os valores de temperatura superficial do revestimento cerâmico aderido de fachada simulados pelo *software* apresentaram uma boa correlação com os valores observados pelas medições *in loco*, onde cerca de 70% dos dados da medição foram explicados pelos simulados no *software*. Com ênfase nessa análise, percebeu-se que os edifícios, a grande quantidade de árvores presentes ao redor das edificações estudadas e a possível presença de nuvens, atuaram como barreiras que impediram que a radiação solar fosse incidida em sua totalidade nas fachadas. Essas barreiras interferiram diretamente nos valores obtidos das medições *in loco* e, conseqüentemente, no comparativo dos dados, uma vez que o *software* executa a simulação sem considerar a presença de tais barreiras.

Isto se evidencia ao observarem-se os resultados obtidos nas análises realizadas para as fachadas Oeste, do edifício A1, e Norte, do edifício A6, às quais apresentaram a menor quantidade de barreiras dentre as demais. Além destas fachadas terem alcançado os maiores valores do coeficiente de determinação, sendo 87% e 85%, respectivamente, também foram as fachadas onde o teste *t* de Student apontou que a média de seus valores de temperaturas superficiais medidas *in loco*, poderiam ser, com 95% de confiança, consideradas iguais à média dos dados de temperaturas superficiais adquiridos por meio do trabalho de Nascimento (2), ou seja, os valores simulados e os medidos *in loco* referentes a essas fachadas, foram significativamente semelhantes.

Portanto, pode-se supor que o restante dos dados de temperaturas medidos *in loco*, os quais não puderam ser explicados pelas temperaturas simuladas pelo *software*, aconteceram devido à existência destas barreiras e de outras variáveis não consideradas no estudo.

Logo, para fins de estudos de degradação em fachadas de revestimento cerâmico aderido, o *software* de simulação higrotérmica WUFI® PRO 5.3 demonstrou grande confiabilidade no levantamento estimativo de dados de temperatura superficial em edifícios localizados em Brasília – DF. Destaca-se que o levantamento dos dados deste estudo foi realizado durante o período seco, englobando os valores críticos de temperatura para as orientações Norte e Oeste (2).

5. Agradecimentos

Agradecemos primeiramente à Deus, o nosso único e suficiente Salvador. Aos nossos familiares, em especial, nossos pais, Anivércio Moura de Souza e Arlete Lapa da Silva; Valdeci Alves Dutra e Noemia de Sousa Dutra. Ao nosso amigo Gustavo Teles que teve toda paciência necessária enquanto nos assessorava.

6. Bibliografia

- (1) ABNT NBR 15575:2013 - 1. **Norma Desempenho. Edificações Habitacionais - Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais.** BRASIL: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013.
- (2) NASCIMENTO, M. L. M. **Aplicação da simulação higrotérmica na investigação da degradação de fachadas de edifícios.** Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil. Universidade de Brasília, Brasília, 2016.
- (3) SILVA, M. D. N. B. D. **Avaliação quantitativa da degradação e vida útil de revestimentos de fachada – aplicação ao caso de Brasília/DF.** Dissertação de Doutorado em Estruturas e Construção Civil. Universidade de Brasília, Brasília, 2014.
- (4) CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: Princípio e Aplicações.** 1ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2007.
- (5) TRIOLA, M. F. **Estatística.** 10ª ed. *Naucalpan de Juárez: Pearson Educación*, 2009.
- (6) LARSON R.; FARBER, B. **Estatística Aplicada.** 4ª ed. São Paulo: *Pearson Education*, 2009.
- (7) LABEEE. **Sol-Ar 6.2. Software.** Santa Catarina: Universidade Federal de Santa Catarina, 2017.