

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

ESTUDO DAS TEMPERATURAS SUPERFICIAIS DAS FACHADAS COM EMPREGO DA SIMULAÇÃO HIGROTÉRMICA¹

AGOSTINHO, L. B. (1); LIRA, J. S. M. M. (2); SANTOS, F. C. (3); ZANONI, V. A. G. (4);
BAUER, E (5)

(1) UnB, e-mail: liviaborbagostinho@gmail.com; (2) UnB, e-mail: juliasanttiago@gmail.com; (3) IFG, e-mail: franciellecoelho2@hotmail.com; (4) UnB, e-mail: vandaz@terra.com.br; (5) UnB, e-mail: elbauerlem@gmail.com

RESUMO

As degradações em fachadas podem variar de acordo com as condições de exposição que são decorrentes das características climatológicas da região. Muitos edifícios residenciais localizados no Plano Piloto de Brasília apresentam manifestações patológicas nas fachadas devido à ação dos agentes climáticos. Essas manifestações patológicas podem ter diversas origens, das quais se destacam aquelas relacionadas aos fatores atmosféricos, em especial a radiação solar e a temperatura do ar. Portanto, o objetivo deste trabalho foi estudar a incidência de radiação solar e temperatura na superfície da fachada por meio de simulação higrotérmica com auxílio da ferramenta computacional Wufi® Pro 5.3, no período de 1 ano, em um edifício residencial em Brasília-DF. Neste estudo, como dados de entrada, foram considerados os valores de absorptância dos elementos de fachada e a orientação da edificação. Foram realizadas análises da influência da temperatura e radiação nas diferentes orientações do edifício em diferentes épocas do ano, correlacionando as variáveis de análise com a carta solar de Brasília. A partir das análises da incidência da radiação solar e das variações de temperatura foi possível estimar a orientação de fachada mais crítica aos agentes climáticos considerados.

Palavras-chave: Fachadas. Degradação. Simulação higrotérmica. Temperatura.

ABSTRACT

Degradation in façades may vary according to the exposure conditions which are resulting from climatic characteristics of the region. Many residential buildings located in the Brasilia Pilot Plan have pathological manifestations on the façades due to the action of climatic agents. Such pathological events can come from various sources, which include those related to atmospheric factors, in particular solar radiation, and air temperature. Therefore, the objective of this research was to study the incidence of solar radiation and temperature on the façade surface through hygrothermal simulation with the aid of computational tool Wufi® Pro 5.3, in the period of one year, on a residential building in Brasilia-DF. In this study, as input data, they considered the absorptance values of façade elements and orientation of the building. The influence of temperature and radiation analyses were performed on different building orientations at different times of the year, correlating these variables with of Brasilia. From the analysis of the incidence of solar radiation and temperature sun path diagrams variations, it was possible to estimate the most critical façade orientation for the climatic agents considered.

¹ AGOSTINHO, Lívia; LIRA, Júlia; SANTOS, Francielle; ZANONI, Vanda; BAUER, Elton;. Estudo das temperaturas superficiais das fachadas com emprego da simulação higrotérmica. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16. 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

Keywords: *Façades. Degradation. Hygrothermal simulation. Temperature.*

1 INTRODUÇÃO

Muitas edificações situadas em Brasília apresentam manifestações patológicas nas fachadas, devido à ação dos agentes climáticos, causando um processo de degradação, das quais se destacam aquelas relacionadas aos fatores atmosféricos, em especial a radiação solar e a temperatura do ar (SILVA, 2014; SOUZA, ALMEIDA; VERÇOSA, 2005).

Dos principais agentes provenientes da atmosfera, a temperatura é um dos mais agressivos aos revestimentos de edifícios provocando variações físicas e químicas nos materiais, que, por sua vez, promovem uma variação dimensional dos materiais de construção, gerando fissuras e descolamentos, principalmente nos revestimentos porosos, por absorverem umidade e calor, ocasionando grandes tensões nas interfaces dos componentes (SILVA, 2014; CONSOLI, 2006).

Contudo, esse processo pode ser acelerado ou reduzido dependendo das condições de exposição e critérios de manutenção. Neste sentido, o nível de degradação varia para cada situação, e dependerá da orientação solar em que a fachada está posicionada, ou seja, as fachadas que estão mais expostas aos efeitos do meio ambiente e das ações atmosféricas têm uma probabilidade maior de apresentar degradação comprometendo sua vida útil.

A degradação em fachadas é um problema comum em vários países do mundo. Embora as causas variem de acordo com a localização geográfica do edifício e seu ambiente envolvente, os mecanismos de degradação são semelhantes (COLEN, 2009). Para responder às solicitações impostas pelas condições de exposição, as fachadas devem ser capazes de minimizar os impactos negativos das cargas higrotérmicas que atuam sobre a envoltória do edifício, mantendo o desempenho e a vida útil esperados (ZANONI, 2015).

As causas mais comuns de manifestações patológicas em revestimentos estão relacionadas à inexistência de projeto, desconhecimento das características dos materiais empregados, utilização de materiais inadequados, erros de execução (tanto no preparo da base, como por deficiência de mão de obra), desconhecimento ou não observância das Normas Técnicas e ainda por falhas de manutenção (SILVA, 2014).

Para analisar os fatores de degradação, interessam os valores extremos de temperatura (máximo e mínimo) e a sua amplitude térmica, sendo que as variações térmicas, aliadas à umidade, provocam esforços higrotérmicos que atuam diretamente sobre os acabamentos, provocando uma dilatação das componentes construtivas em função dos seus coeficientes de dilatação potencial (devido às variações negativas) e de sua técnica construtiva (COLEN, 2009; SILVA, 2014).

Verificam-se as crescentes exigências de estudar o comportamento higrotérmico das fachadas associadas às preocupações com as condições

de exposição da envoltória do edifício que são decorrentes das características climatológicas da região. Sendo assim, a simulação higrotérmica traduz-se como uma tarefa de grande complexidade levando em consideração as dimensões, geometrias e a multiplicidade de situações que caracterizam as edificações (HENRIQUES, 2007). Para tal, o WUFI PRO 5.3 é um dos programas computacionais de simulação higrotérmica em regime transiente mais utilizado a nível mundial, desenvolvido pelo *Fraunhofer Institute for Building Physics* (IBP) na Alemanha (JORNE, 2012).

Com o emprego das análises higrotérmicas obtidas por meio do programa computacional WUFI, é possível simular a transferência de calor e umidade na parede exterior de um edifício em regime transiente. Esta análise contribui tanto para um aumento da eficiência energética, como também em questões relacionadas à durabilidade das edificações com a função de evitar diversas anomalias, como por exemplo, as variações higrotérmicas que estão entre os principais mecanismos responsáveis pelo envelhecimento natural das edificações (JORNE, 2012; ZANONI, 2015).

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo estudar as temperaturas superficiais das fachadas com emprego da simulação higrotérmica, utilizando o programa WUFI, em um edifício localizado em Brasília-DF.

2 METODOLOGIA

Para a simulação computacional foi necessária a caracterização do edifício e, após a inserção dos dados no programa, os resultados obtidos foram organizados em 8760 dados horários referentes a um ano de simulação, para cada variável de análise, que se organizaram em planilhas eletrônicas e estão disponíveis para as análises. A pesquisa foi dividida em cinco fases, conforme apresentadas no fluxograma da Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma com as fases da pesquisa



Fonte: Os autores

O edifício adotado para o estudo possui um pilotis e três pavimentos e está situado na Super Quadra Norte da cidade de Brasília, que se encontra na zona bioclimática 4. A Figura 2 mostra, respectivamente, a localização espacial e a vista da fachada Sul do edifício estudado.

A Figura 3 apresenta a carta solar da cidade de Brasília, localizada na latitude 15,86° Sul, que serviu como um instrumento para conferência na

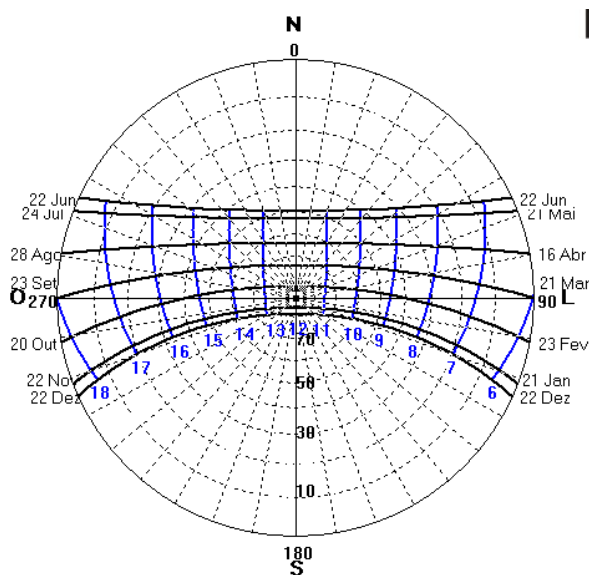
análise dos dias representativos do ano². Observando a localização espacial do edifício em relação à carta solar de Brasília, concluiu-se que o prédio está alinhado com a direção Norte-Sul. Portanto, suas fachadas seguem as orientações Norte, Sul, Leste e Oeste, que foram consideradas para as simulações computacionais.

Figura 2 - Edifício do plano piloto: (a) Localização; (b) Vista da fachada Sul



Fonte: (a) Google Earth; (b) Silva, 2014

Figura 3 - Carta Solar de Brasília



Fonte: Software Analysis SOL-AR do LABeee - UFSC

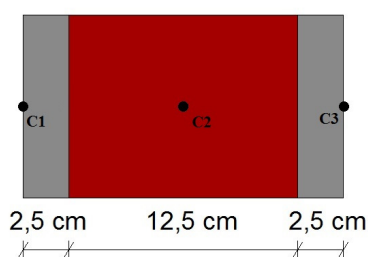
Na primeira fase, a abordagem foi a caracterização dos componentes do edifício. O elemento construtivo das fachadas do edifício é formado por parede de alvenaria de bloco cerâmico com espessura de 12,5 cm, rebocada interna e externamente com argamassa de revestimento com

² Os dias representativos correspondem aos equinócios e solstícios extraídos da carta solar.

espessura de 2,5 cm, sendo a espessura final da parede de 17,5 cm, conforme mostrado na Figura 4.

Na mesma figura é possível ver três pontos que representam cada câmera (C1, C2 e C3) definida para a obtenção dos resultados da simulação computacional do software WUFI. Isso significa que existem três pontos de observação: o primeiro na superfície externa (C1), o segundo no ponto médio da parede (C2) e o último na superfície interna (C3), sendo possível obter informações de umidade e temperatura em cada posição. Esta pesquisa focou em radiação e temperaturas superficiais, portanto, apenas os dados extraídos da câmera C1 foram utilizados.

Figura 4 - Representação da seção transversal da parede externa do edifício com o posicionamento das câmeras.



Fonte: Os autores

Na segunda fase de preenchimento de dados de entrada, os materiais e suas propriedades higrotérmicas foram selecionados na base de dados do próprio programa computacional.

As medições foram realizadas por meio do programa computacional de simulação higrotérmica WUFI para a determinação da radiação solar global incidente na superfície das fachadas, assim como as temperaturas do ambiente e superficial externa para cada fachada. Para a verificação do clima exterior, foi utilizado o arquivo climático TMY da base de dados do EPW-ANTAC-Brasília, elaborada por Roriz (2012). O clima interior foi definido segundo a metodologia da EN 15026 - *Hygrothermal performance of building components and building elements – Assessment of moisture transfer by numerical simulation*.

Para o coeficiente de transferência à superfície foram utilizados os dados padrões do programa. São eles a resistência térmica da superfície exterior e interior, refletividade do solo e fator de redução da chuva dirigida, alterando somente o coeficiente de absorção (absortância) para 0,401 em todas as fachadas. Como o prédio tem ao todo quatro pavimentos (pilotis mais 3 pavimentos tipo) a região de análise adotada foi a altura baixa (até 10 m) e o período de simulação de 01/10/2014 a 01/10/2017.

Após executada a simulação para o período de três anos, foi realizada a análise para o período de um ano de 01/09/2016 a 31/08/2017. Este é o ano simulado que foi estudado. A análise deste período foi devido à consideração de tempo de secagem total dos componentes construtivos

após o período de construção da edificação.

A quarta parte foi a organização dos resultados gerados da planilha horária do ano simulado (dados de 8760 horas para cada variável de análise) para posterior análise. A quinta e última parte se configura na representação dos resultados em gráficos e/ou planilhas para melhor estudar as influências dos agentes climáticos considerados em cada orientação de fachada do edifício em questão.

3 RESULTADOS

Por meio da simulação computacional com o programa Wufi, foram obtidos os valores horários no período de um ano da temperatura da superfície externa e da radiação solar global incidente em cada orientação de fachada do edifício em análise.

O Quadro 1 mostra os valores da somatória dos dados horários de radiação global em cada fachada em cada mês do ano (iniciando em setembro/2016 até agosto/2017).

Quadro 1 - Valores mensais acumulado da radiação global (Wh/m²) incidente em cada fachada

MÊS	RADIAÇÃO NORTE	RADIAÇÃO SUL	RADIAÇÃO LESTE	RADIAÇÃO OESTE
9	78917,25	48909,77	75323,29	76925,94
10	56748,93	52088,08	74125,00	71368,56
11	53536,77	59618,03	70025,99	67264,97
12	56947,60	69582,73	73987,61	72945,60
1	63933,20	79755,55	94319,45	87894,31
2	58599,41	58261,54	84242,47	76700,79
3	70066,84	52387,37	75473,66	71883,73
4	102299,46	48033,00	80178,03	84418,05
5	109010,70	43219,20	71598,47	68566,71
6	126819,55	39324,00	69107,53	69648,42
7	123629,81	42603,60	72229,28	72923,54
8	114807,94	46167,30	77178,74	90899,41
Total geral	1015317,460	639950,169	917789,533	911440,027

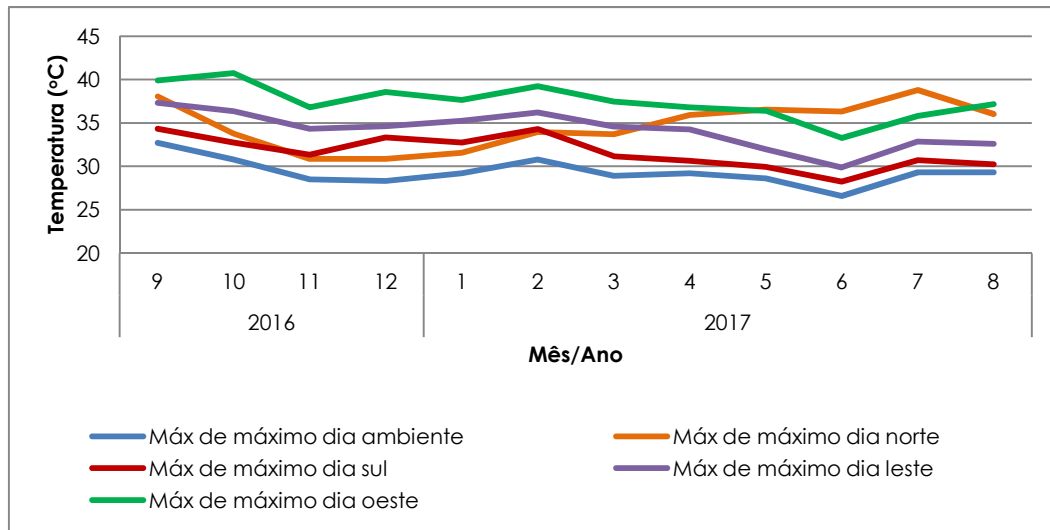
Fonte: Os autores

Considerando o valor acumulado anual de radiação solar global (soma das parcelas direta, difusa e refletida) incidente na superfície, a fachada Norte é aquela que recebe maior incidência de radiação global concentrada nos meses abril a agosto coincidindo com o período seco da região, seguida das fachadas Leste e Oeste, que praticamente recebem a mesma intensidade de radiação solar global, enquanto que a fachada Sul é a que tem menor incidência de radiação global, fato justificável pela localização de Brasília ser no hemisfério Sul.

A Figura 5 mostra os valores das máximas temperaturas diárias nas superfícies das fachadas, conforme as orientações, assim como a temperatura do ar. Uma vez que a incidência de altas temperaturas pode ter associação com a

ocorrência de anomalias, analisou-se a forma que a variação e as máximas de temperatura ocorreram durante esse ano climático em cada zoneamento do edifício.

Figura 5 - Temperaturas máximas mensais na superfície das fachadas



Fonte: Os autores

Observa-se que as temperaturas máximas na superfície ocorrem na fachada Oeste, seguida das fachadas Norte, Leste e Sul, e com valores sempre acima da temperatura do ar, em todas as fachadas. Este fato decorre das propriedades térmicas dos materiais constituintes. Porém, não é durante todo o ano que a fachada Oeste apresenta as maiores temperaturas. De acordo com a geometria da insolação, nos meses de junho e julho (inverno) a fachada Norte está mais exposta à insolação.

Deve-se analisar não somente o fato de ocorrência de temperaturas altas, mas também a frequência de ocorrência dessas temperaturas. Por isso foram feitos histogramas, compostos por oito intervalos com as variações de temperatura em cada fachada (

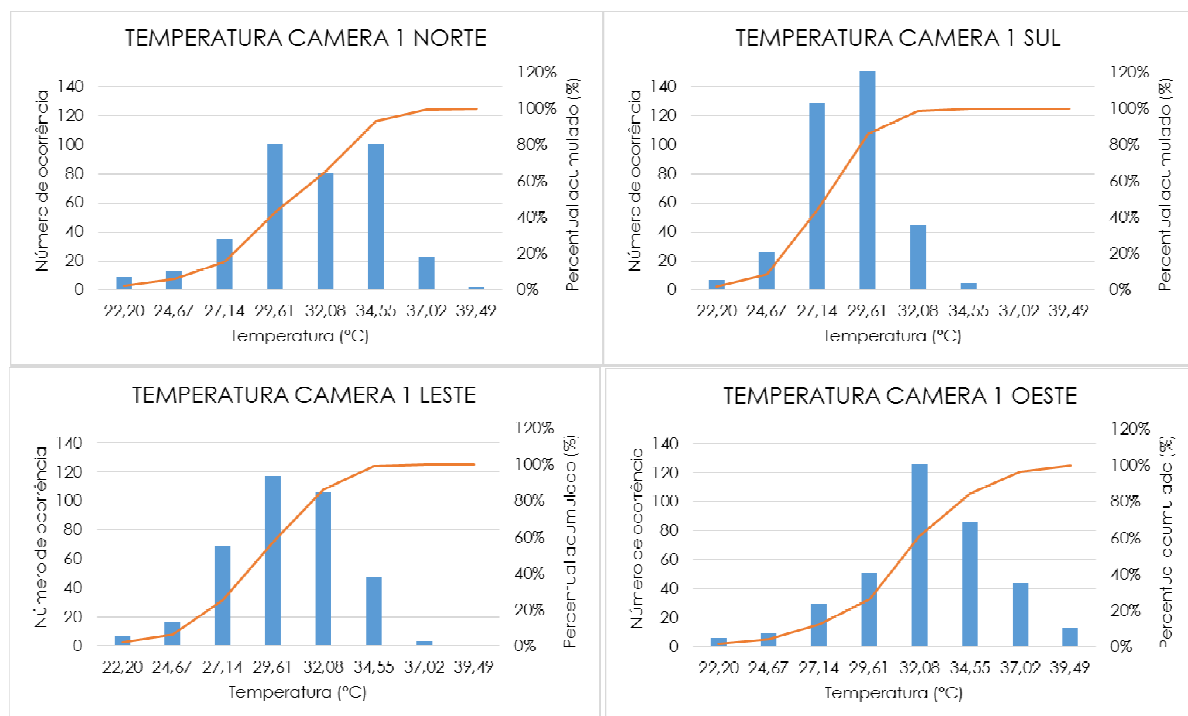
Figura 6).

Pode-se observar que a fachada Oeste, mesmo não possuindo a maior temperatura ao longo do ano analisado, possui maior ocorrência de temperaturas superficiais máximas.

Diferentemente do que acontece na análise isolada da temperatura máxima, a análise do ΔT , que é a diferença de temperaturas diárias máximas e mínimas, permite observar que quanto maior o seu valor, maior a variação da temperatura ao longo do dia.

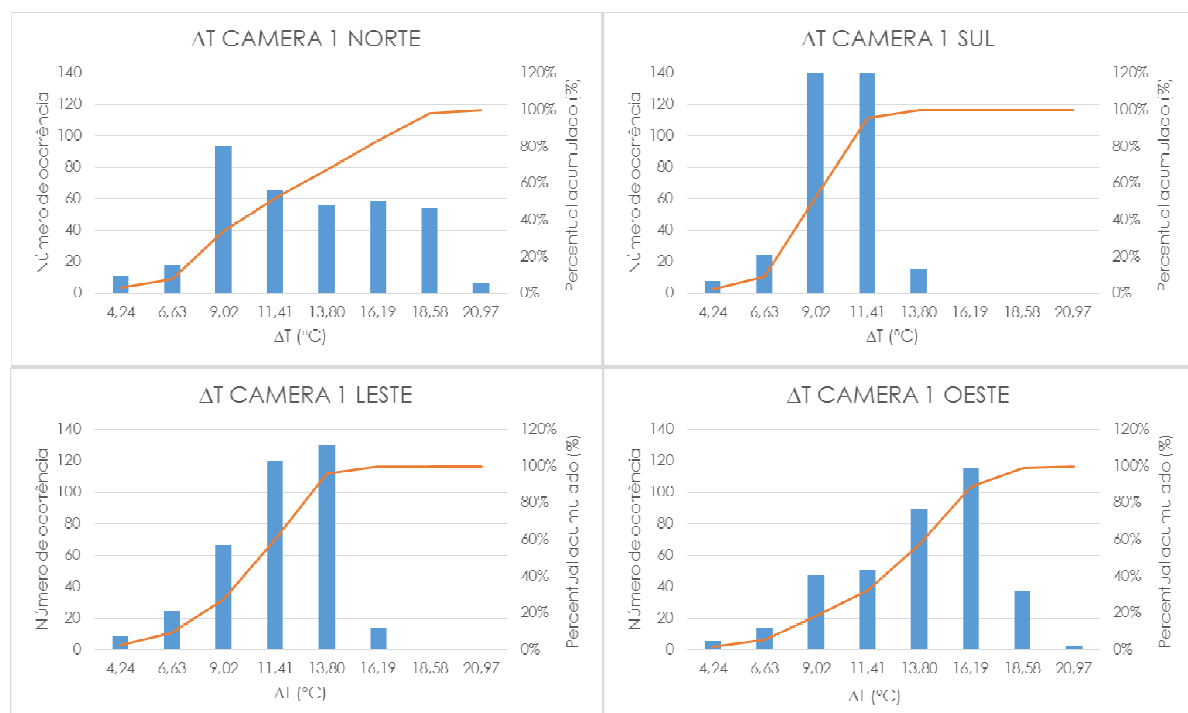
Essa variação pode ser associada às anomalias em elementos de fachadas. Ao analisar a Figura 7, observa-se que a fachada Norte apresenta valores constantes em cinco intervalos dos oito estipulados, com os valores de ΔT mais baixos. Enquanto que a fachada Oeste apresenta valores de ΔT mais altos.

Figura 6 - Frequência de ocorrência de temperatura na superfície de cada fachada



Fonte: Os autores

Figura 7 - Frequência de ocorrência de variação de temperatura (ΔT) na superfície de cada fachada



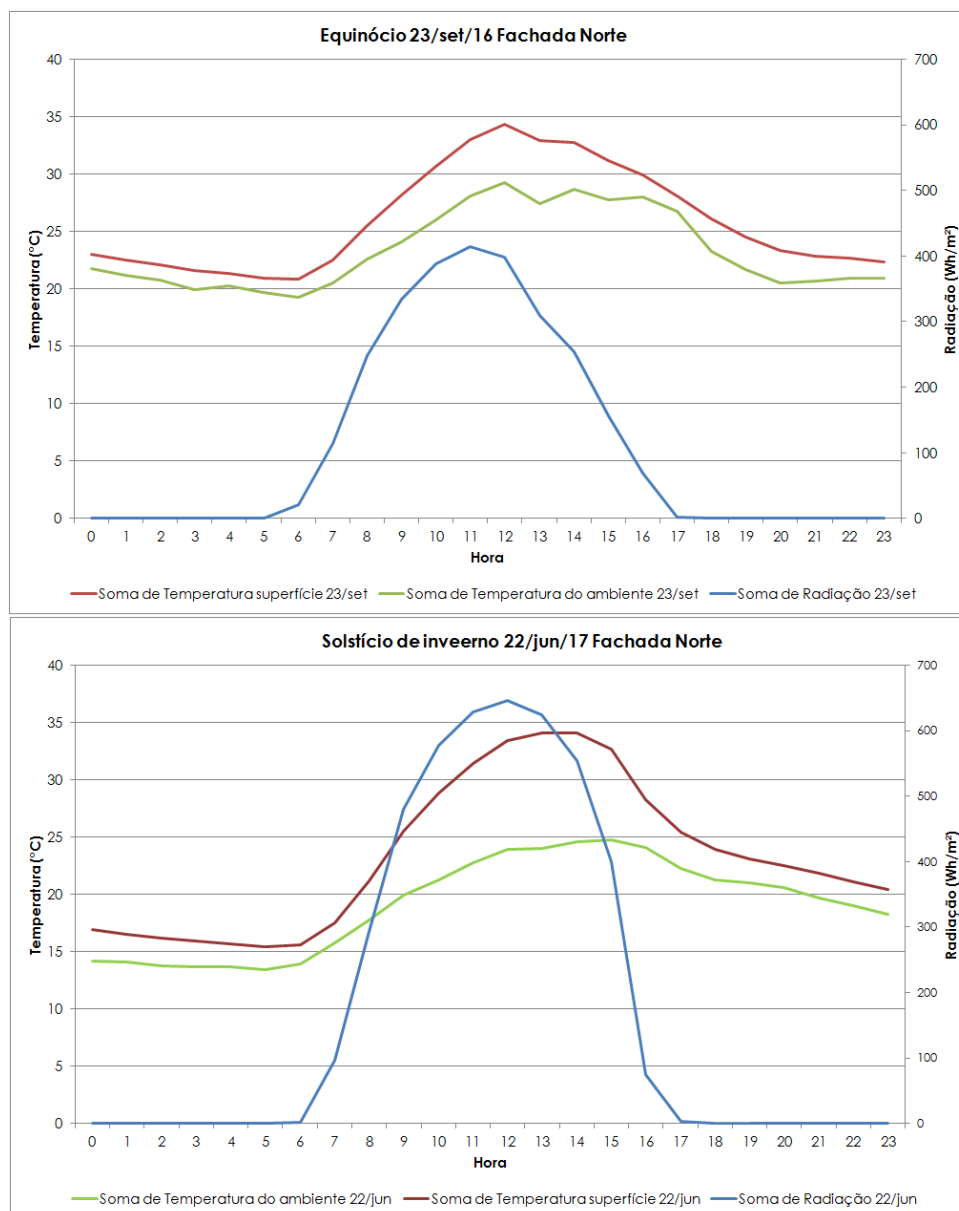
Fonte: Os autores

Para analisar a relação entre a temperatura superficial e a radiação global incidentes na superfície das fachadas, fez-se uma análise ao longo das 24 horas dos dias correspondentes aos equinócios (23 de setembro e 21 de março) e aos solstícios verão (22 de dezembro) e de inverno (22 de junho) do

ano climático TMY analisado, datas consideradas nesta pesquisa como dias representativos de análise do ano.

A análise dos dias representativos foi feita correlacionando a temperatura do ar (igual para todas as fachadas) e a temperatura na superfície de cada fachada (câmara 1) com a radiação em cada hora deste dia. A partir disso, foi possível observar que todas as vezes que houve um aumento na incidência de radiação solar, houve também um aumento de temperatura de superfície e do ar exterior. É possível notar que quanto maior a radiação, mais distante fica a curva de temperatura na superfície da temperatura ambiente, novamente isso se deve às propriedades térmicas do material de favorecer ou retardar a transferência de calor. A Figura 8 mostra essa análise para dois dias representativos da fachada Norte.

Figura 8 - Curvas de radiação e temperatura (ambiente e superfície) em dias representativos da fachada Norte



Fonte: Os autores

4 CONCLUSÕES

Foi possível observar que o software WUFI é uma importante ferramenta para auxiliar desde a fase de projeto e, em alguns casos, em inspeções de edifícios para determinar níveis de degradação nos diferentes posicionamentos de fachadas. Com os resultados obtidos na simulação higrotérmica pelo programa computacional WUFI, a partir dos dados dos materiais que serão utilizados no edifício, é possível desde sua concepção elaborar projetos de manutenções ou até mesmo obter dados pertinentes para, por exemplo, dimensionar juntas em elementos cerâmicos.

É importante dar atenção ao correto manuseio do programa computacional WUFI e a representatividade dos dados inseridos. Um problema encontrado por pesquisadores é a falta de banco de dados de materiais específicos de cada região do Brasil.

A possibilidade de trabalho com valores horários de temperatura e radiação de todo o ano climático representam mais confiabilidade em dados de projeto ao invés da utilização de somente os resultados dos chamados dias representativos. Com certeza essa é uma vantagem da utilização do software de simulação higrotérmica, mesmo com a enorme quantidade de dados fornecidos pelo mesmo e a necessidade de tratamento específico destes.

Através da análise dos dias representativos, a correlação de temperatura e radiação foi claramente identificada, já que os picos de radiação coincidem com as elevações das temperaturas na fachada. Assim como em períodos chuvosos, com alta nebulosidade, as temperaturas na superfície são mais baixas ao longo do dia.

Radiação e temperatura são grandezas que devem ser correlacionadas para análise dos resultados. Foi possível concluir que nem sempre o maior valor de radiação é a situação mais crítica. Uma fachada pode apresentar altos valores de radiação incidente, mas se ocorrem em baixa frequência, a variação térmica pode não ser um fator degradante.

A intensidade da temperatura (valores máximos) e sua variação ao longo do dia tem muita relevância quando se fala em degradação de elementos de fachadas. Visto que sua variação pode não ser impactante para a fachada se ocorre com baixa frequência, fato observado através dos gráficos de frequência acumulada.

Para o edifício estudado e suas condições de exposição, orientação de fachada e propriedades dos materiais é possível concluir que, a fachada mais suscetível à degradação, devido a fatores relacionados à radiação e temperatura, é a fachada Oeste, seguida da Norte, Leste e Sul, uma vez que apresentou maiores valores de temperatura ao longo do ano analisado e também maiores variações de temperatura em um mesmo dia. Com relação à radiação incidente na fachada Oeste, foram obtidos valores relativamente altos distribuídos homogeneamente durante todo o ano, sem concentrações de picos em determinadas estações climáticas.

Com esses resultados é possível traçar diretrizes de projeto e manutenção específicas para cada fachada, podendo economizar em custos nas fachadas menos impactadas por esses fatores ambientais.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Eng. Matheus Leoni, ao IFG-Campus Jataí, à CAPES e à FAP-DF.

REFERÊNCIAS

COLEN, I. F. D. **Metodologia de avaliação do desempenho em serviço de fachadas rebocadas na óptica da manutenção predictiva**. 2009. 541 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009.

CONSOLI, O. J. **Análise da durabilidade dos componentes das fachadas de edifícios, sob a ótica do projeto arquitetônico**. 2006. 208 f. Dissertação (Mestrado em Desempenho em Sistemas Construtivos) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

HENRIQUES, F. M. **Comportamento higrotérmico de edifícios**. 2007. 361 f. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2007.

JORNE, F. Análise do comportamento higrotérmico da solução etics na ótica da identificação e reparação de anomalias. In: 4º CONGRESSO PORTUGUÊS DE ARGAMASSAS E ETICS, 12., 2012, Coimbra. **Anais...** Coimbra: Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas e ETICS, 2012. Disponível em: http://run.unl.pt/bitstream/10362/10727/1/Jorne_APFAC%202012.pdf. Acesso em: 12 de dezembro de 2015.

SILVA, M. D. **Avaliação quantitativa da degradação e vida útil de revestimentos de fachada** - aplicação ao caso de Brasília/df. 2014. 217 f. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) – Programa de Pós Graduação em Estruturas e Construção Civil: Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

SOUZA, R. H.; ALMEIDA, I. R.; VERÇOSA, D. K. Fachadas prediais: considerações sobre o projeto, os materiais, a execução, a utilização, a manutenção e a deterioração. **Revista Internacional Construlink**, v. 3, n. 8, 9 f., fev. 2005.

ZANONI, V. A. **Influência dos agentes climáticos de degradação no comportamento higrotérmico de fachadas em Brasília**. 2015. 313 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pesquisa e Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.