ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Análise comparativa do comportamento higrotérmico de uma parede e seus modelos equivalentes

Comparative analysis of the hygrothermal behavior of a wall and its equivalent models

Ariane Borges Barroso Moura
Universidade de Brasília | Brasília | Brasil | arianeb.b.moura@gmail.com
Vanda Zanoni
Universidade de Brasília | Brasília | Brasil | vandazanoni@unb.br

Resumo
Simulações higrotérmicas exigem propriedades dos materiais, as quais nem sempre estão disponíveis nas bases de dados. Portanto, a criação de modelos equivalentes pode ser uma alternativa viável para lidar com a escassez dessas informações. Este artigo apresenta os resultados de simulações computacionais do comportamento higrotérmico de uma parede de alvenaria, em duas modelagens distintas. O objetivo do estudo comparativo é propor um modelo equivalente para as simulações higrotérmicas no software WUFI Pro 6.7, baseado no modelo de referência da NBR 15220-2:2022. O experimento possibilitou as análises das possíveis interferências da modelagem do bloco cerâmico nos resultados do desempenho higrotérmico da parede, a influência no teor de umidade total, na temperatura e umidade das superfícies externa e interna e na possibilidade de surgimento de bolores. Os resultados apresentaram comportamentos térmicos semelhantes entre as modelagens. No entanto, as simulações higrotérmicas mostraram diferenças quanto ao teor de umidade total entre o modelo de referência e os modelos equivalentes.
Palavras-chave: Simulação higrotérmica. Bloco cerâmico. Modelo Equivalente. Teor de umidade. Bolor.

Abstract
Hygrothermal simulations require material properties that are not always available in databases. Therefore, creating equivalent models can be a viable alternative to deal with the scarcity of this information. This article presents the results of computational simulations of the hygrothermal behavior of a masonry wall, using two different modeling approaches. The aim of the comparative study is to propose an equivalent model for hygrothermal simulations in WUFI Pro 6.7 software, based on the reference model from NBR 15220-2:2022. The experiment allowed analysis of potential influences of ceramic block modeling on the hygrothermal performance of the wall, including effects on total moisture content, temperature and humidity of external and internal surfaces, and the possibility of mold growth. The results showed similar thermal behaviors between the models; however, hygrothermal simulations revealed differences in total moisture content between the reference model and the equivalent models.
Keywords: Hygrothermal simulation. Ceramic block. Equivalent model. Moisture content. Mold.

Como citar:
MOURA, A. B. B.; ZANONI, V. Análise comparativa do comportamento higrotérmico de uma parede e seus modelos equivalentes. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

INTRODUÇÃO

As simulações higrotérmicas que consideram o transporte de umidade no elemento construtivo ainda são pouco utilizadas no Brasil. São mais frequentes as avaliações do comportamento térmico, envolvendo dados de resistência térmica, capacidade térmica e transmitância térmica. Ao desconsiderar o teor de umidade no comportamento higrotérmico dos elementos construtivos e seus componentes, pode-se agravar os problemas da edificação relativos à insalubridade, proliferação de bolores, corrosão de armaduras, eflorescências, destacamento de placas cerâmicas e danos na pintura.

O comportamento higrotérmico dos elementos construtivos pode ser avaliado por meio de simulações computacionais que geram resultados próximos à realidade, porém para isso é necessário a obtenção de algumas características específicas dos materiais e componentes, além do clima do local de estudo. No Brasil, a pequena base de dados higrotérmicos medidos e a ausência de protocolos ou normativas para a simulação higrotérmica são alguns dos fatores que dificultam a realização dessas simulações, em condições representativas da construção civil brasileira.

Segundo Brito e Belizario-Silva [1], a base de dados dos materiais nacionais é bastante limitada, fator que muitas vezes impossibilita a realização de simulações com resultados fidedignos às condições reais do país. Entre os dados ausentes, destacam-se sobretudo os que dizem respeito ao transporte de umidade

Vários estudos realizam seus próprios ensaios laboratoriais para obter as características dos materiais necessários às simulações, ou optam pela base de dados fornecida pela ferramenta computacional. Ao pesquisar sobre dados disponibilizados em publicações, Zanoni [2] relata sobre as informações escassas e incompletas, além das lacunas quanto às propriedades higrotérmicas necessárias para alimentar um programa de simulação higrotérmica como o WUFI Pro. Ao buscar materiais com características similares, pode-se recorrer a um material genérico que, segundo Zhao *et al.* [3][4], representa um aglomerado de materiais específicos que tenham características semelhantes.

Weber *et al.* [5] desenvolveram um estudo para estabelecer modelos equivalentes de componentes, baseado nos modelos de referência da NBR 15220-2 [6] correspondentes à realidade brasileira, para simulações de transferência de calor no *EnergyPlus*. Dessa maneira, a intenção dos autores foi propiciar menor chance de erros aos utilizadores do programa computacional na inserção dos dados de entrada para a modelagem das camadas constituintes do componente construtivo.

Por essas razões, este artigo apresenta um estudo comparativo entre o modelo de referência da NBR 15220-2 atualizada em 2022 [7] e os modelos equivalentes propostos para as simulações higrotérmicas no software WUFI Pro 6.7 pelos autores e no *EnergyPlus* por Weber *et al.* [5]. O objeto de estudo é uma parede de alvenaria em bloco cerâmico, revestida externa e internamente com argamassa e pintura. O modelo de referência constitui-se de bloco cerâmico como um componente unitário (tijolo furado), enquanto os modelos equivalentes configuram-se como componentes

compostos por camadas (cerâmica, ar, cerâmica). Com o objetivo de analisar o comportamento higrotérmico da parede em comparação a um modelo de referência, busca-se compreender como a modelagem dos modelos equivalentes influenciam no teor de umidade total, na temperatura e umidade das superfícies externa e interna e na possibilidade de surgimento de bolores.

MÉTODO

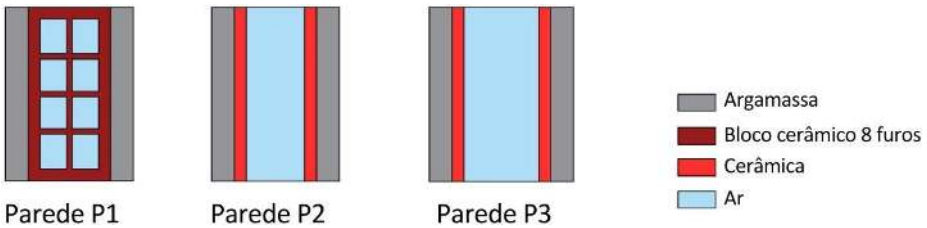
Essa pesquisa possui um caráter exploratório do comportamento higrotérmico de uma parede de alvenaria em bloco cerâmico e seus modelos equivalentes, por meio de simulação computacional. Os procedimentos metodológicos foram organizados nas seguintes etapas:

- Modelagem do sistema de parede de referência, conforme especificado na ABNT NBR 15220-2, atualizada em 2022 [7];
- Modelagem do modelo equivalente elaborado por Weber *et al.* [5] para alcançar características térmicas semelhantes às do seu modelo de referência;
- Modelagem proposta para um modelo equivalente no WUFI Pro para alcançar características térmicas semelhantes às do modelo de referência;
- Simulação higrotérmica dos três modelos (modelo de referência e modelos equivalentes) no programa WUFI Pro 6.7, para obtenção de teores de umidade total, umidade relativa e temperatura das superfícies internas e externas, e índices de bolor da superfície interna;
- Comparação entre os resultados obtidos nas simulações higrotérmicas para avaliação das diferenças entre o modelo de referência e os modelos equivalentes.

MODELAGEM DAS PAREDES E SEUS COMPONENTES

O modelo de referência (P1) utilizado neste artigo baseia-se nos valores das propriedades térmicas dos materiais sugeridos pelo anexo B (informativo), tópico B.2 da NBR 15220-2:2022 [7]. O modelo P2 representa o modelo equivalente proposto por Weber *et al.* [5], baseado na ABNT NBR 15220:2005 [6], para simulações térmicas no software *EnergyPlus*. Por último, P3 refere-se ao modelo equivalente proposto para este estudo exploratório, que buscou materiais existentes no banco de dados do WUFI Pro, com propriedades semelhantes às apresentadas pelo modelo de referência da ABNT NBR 15220: 2022 [7], criando assim um modelo equivalente para simulações no próprio software WUFI PRO. A Figura 1 representa esquematicamente a composição das paredes P1, P2 e P3.

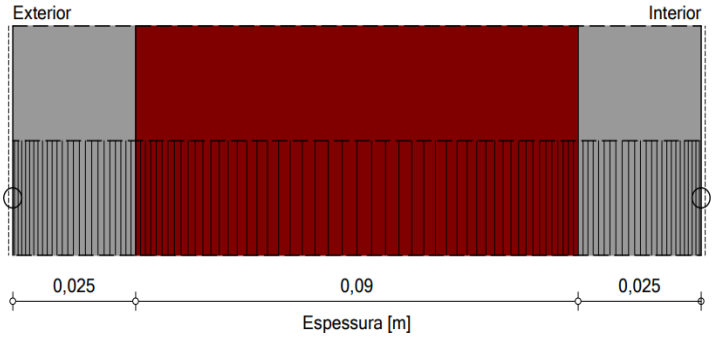
Figura 1: Perfil dos modelos de parede adotados nas simulações



Fonte: Os autores

Para que o modelo equivalente proposto (P3) pudesse manter o mesmo valor de transmitância térmica obtido pelo modelo de referência (P1), foi necessário aumentar a espessura da camada de ar. A espessura total da parede passou de 14 cm para 15,8 cm. As Figuras 2, 3 e 4 ilustram, respectivamente, as modelagens utilizadas no WUFI Pro - modelo de referência (P1), modelo equivalente de Weber *et al.* [5] (P2) e modelo equivalente proposto nesta pesquisa (P3). Inclusive, são mostradas as espessuras, as transmitâncias térmicas (U) e as resistências térmicas (R) obtidas.

Figura 2: Modelo de referência - P1: parede de alvenaria com bloco cerâmico 8 furos (9x19x19)



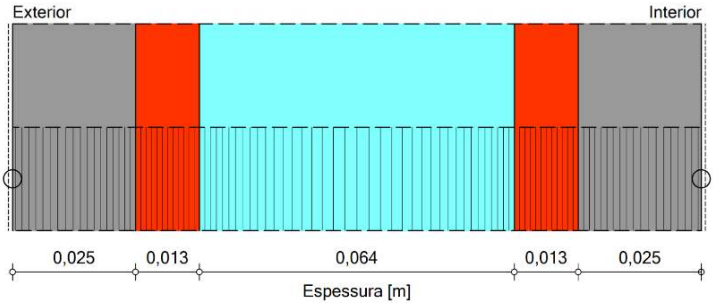
Espessura total (m) = 0,14

R = 0,23 (m²K)/W

U = 2,264 W/(m²K)

Fonte: Os autores, com base nos dados obtidos no WUFI Pro 6.7

Figura 3: Modelo equivalente de Weber *et al.* [5] - P2: parede de alvenaria com bloco cerâmico 8 furos (9x19x19)



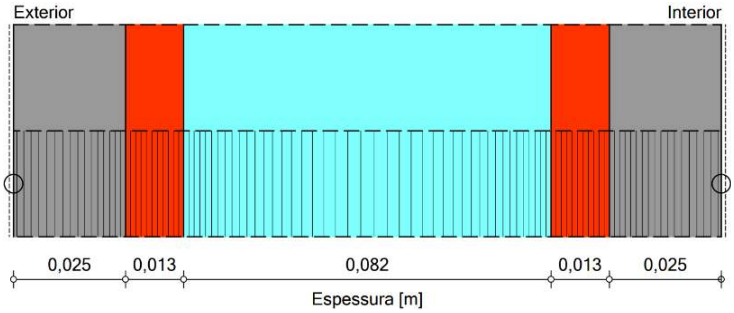
Espessura total (m) = 0,14

R = 0,21 (m²K)/W

U = 2,509 W/(m²K)

Fonte: Os autores, com base nos dados obtidos no WUFI Pro 6.7

Figura 4: Modelo equivalente proposto - P3: parede de alvenaria com bloco cerâmico 8 furos (9x19x19)



Espessura total (m) = 0,158

R = 0,26 (m²K)/W

U = 2,262 W/(m²K)

Fonte: Os autores, com base nos dados obtidos no WUFI Pro 6.7

O Quadro 1 apresenta as características dos materiais utilizados em cada uma das composições das paredes simuladas.

Quadro 1: Características dos materiais selecionados para as composições das paredes P1, P2 e P3

P1 - Modelo de Referência baseado na ABNT NBR 15220:2022 [7]							
Composição	e (cm)	λ (W/mºC)	ρ (kg/m³)	c (kJ/KgK)	Rt (m²ºC /W)	Ut (W/m²ºC)	Ct (kJ/m²ºC)
Argamassa Interna e Externa (A1)	2,50	1,15	1800-2100	1,00	-	2,39	210
Bloco Cerâmico (9x19x19)	9,00	0,70	1000-1300	0,92	-		
P2 - Modelo equivalente de Weber *et al*. [5]							
Composição	e (cm)	λ (W/mºC)	ρ (kg/m³)	c (kJ/KgK)	Rt (m²ºC /W)	Ut (W/m²ºC)	Ct (kJ/m²ºC)
Argamassa Interna e Externa (A2)	2,50	1,15	2000	1,00	0,022	2,37	151
Cerâmica (C1)	1,30	0,90	1600	0,92	0,014		
Câmara de Ar (CA1)	6,40	0,356	-	-	0,18		
P3 - Modelo equivalente proposto nesta pesquisa							
Composição	e (cm)	λ (W/mºC)	ρ (kg/m³)	c (kJ/KgK)	Rt (m²ºC /W)	Ut (W/m²ºC)	Ct (kJ/m²ºC)
Argamassa Interna e Externa (A3)	2,50	1,15	1800	1,00	-	2,262	-
Cerâmica (C2)	1,30	1,00	1600	0,92	-		
Câmara de Ar (CA2)	8,20	0,414	1,30	1,00	-		

*Legenda: e - espessura; λ - condutividade térmica; ρ - peso específico aparente; c - calor específico; Rt - resistência térmica total; Ut - transmitância térmica total; Ct - capacidade térmica total.

*Na simulação, foi considerado o valor de Sd= 0,06 em todas as paredes simuladas para representar a camada de pintura.

Fonte: Os autores, baseado em: ABNT NBR 15220:2022 [7]; Documento LabEEE por Weber *et al*. [5] e WUFI Pro 6.7.

CONDIÇÕES DE CONTORNO PARA SIMULAÇÃO HIGROTÉRMICA NO WUFI PRO

O comportamento higrotérmico das modelagens de parede em alvenaria foi analisado a partir de simulação computacional utilizando o WUFI Pro 6.7 (*Wärme-und Feuchtetransport Instationär – Transient Heat and Moisture Transport*) uma ferramenta de cálculos computacionais desenvolvida pelo *Fraunhofer Institute for Building Physics.* O Quadro 2 apresenta as condições de contorno definidas para executar as simulações no programa.

Quadro 2: Condições de contorno para simulação higrotérmica no WUFI Pro

Parâmetros de entrada		Valor	Unidade
Parede de referência (ABNT NBR 15220: 2022) [7] - P1	espessura	0,140	m
Parede equivalente (Weber *et al.* 2017) [5] - P2	espessura	0,140	m
Parede equivalente (proposta) - P3	espessura	0,158	m
Orientação, Inclinação, Altura e Chuva Dirigida			
Orientação	Nordeste	-	-
Inclinação	i	90	º
Altura	h	≤10	m
Chuva Dirigida	Modelo da ASHRAE 160 [8] - edifício com altura ≤ 10, Fe = 1,0 e Fd = 1,0 - fachada com escoamento de água	Condição média	mm/a
Coeficiente de transferência à superfície			
Resistência Térmica-Superfície Externa	Parede Externa	0,0588	m
Valor de Sd	Sd para tinta acrílica	0,06	-
Absortância	α	0,50	-
Refletividade do Solo	$_r$	0,20	-
Fator de Redução da Chuva Dirigida	F_r	0,70	-
Resistência Térmica - Superfície Interna	R_{si}	0,125	-
Condições iniciais de contorno			
Umidade Inicial	-	0,80	-
Temperatura Inicial	-	20	ºC
Período de Simulação	3 anos	01/01/2023 a 31/12/2025	Horas
Clima			
Clima Exterior	TMY INMET 2018 – Série 867150 – Estação A001 - Brasília BRA_DF_Brasilia.867150_INMET.epw		
Clima Interior	Dados obtidos no WUFI Pro, seguindo a ASHRAE 160 [8], derivados do clima exterior definido		

Fonte: Os autores, baseado no banco de dados do programa WUFI Pro 6.7

Para a simulação computacional, o clima exterior utilizado foi um arquivo climático TMY (ano meteorológico típico) representativo de Brasília, com um ano completo de dados horários, contabilizando o total de 8760 horas, obtido no repositório gratuito do site *Climate One Building*. Quanto ao clima interno foram utilizados os dados gerados pelo programa WUFI Pro 6.7, estabelecidos de acordo com a norma ASHRAE 160 [8], derivados do arquivo climático do clima externo adotado.

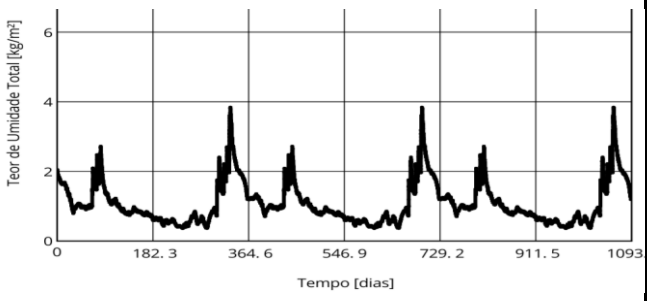
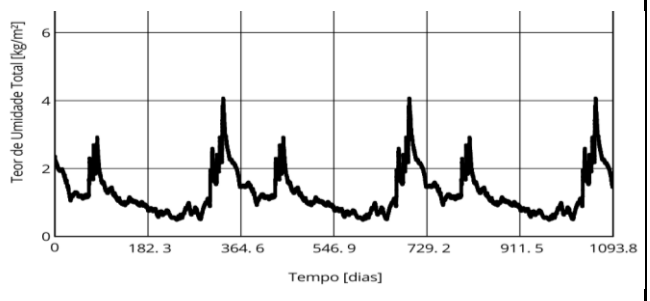
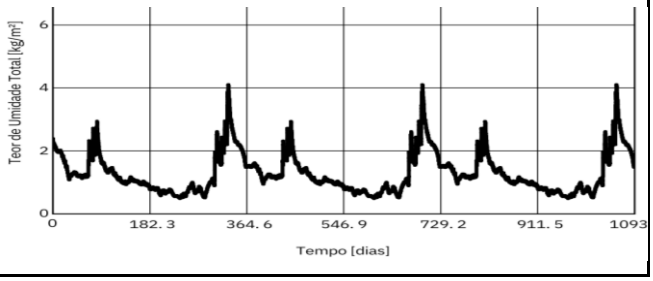
Como resultados, são apresentados os gráficos do comportamento higrotérmico, durante os três anos simulados no WUFI Pro 6.7. O terceiro ano de simulação representa o sistema em condição estável, sendo o ano mais representativo para a obtenção dos valores higrotérmicos médios. Dessa forma, são apresentados os valores dos teores de umidade, temperaturas e proliferação de bolor obtidos nas paredes de alvenaria estudadas, P1, P2 e P3.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

TEORES DE UMIDADE TOTAL

O Quadro 3 apresenta os valores médios anuais simulados para os teores de umidade total das paredes e os gráficos do comportamento das paredes, ao longo de três anos.

Quadro 3: Comportamento do teor de umidade e valores médios das paredes simuladas

Teor de Umidade Total Média Anual (kg/m²)		**Teor de umidade total – três anos de simulação**
Parede P1	1,08	
Parede P2	1,26	
Parede P3	1,28	

Fonte: Os autores, gerado pelo programa WUFI Pro 6.7

Ao analisar os gráficos, percebe-se que o balanço do teor de umidade total das paredes P2 e P3 é ligeiramente maior que o balanço da parede P1, ultrapassando o valor de 4 kg/m² em seus momentos de pico. No que tange a perda de umidade ao longo de três anos de simulação, as duas paredes mantêm os valores de mínimo similares, apresentando o mesmo comportamento ao longo de um mesmo período de tempo.

Em relação aos valores médios anuais obtidos para o teor de umidade total, as paredes P2 e P3 são superiores à parede P1. Esses valores demonstram que os modelos equivalentes apresentaram uma maior capacidade de absorção e retenção de umidade ao longo do tempo, retendo cerca de 15% de umidade a mais do que o modelo de referência.

UMIDADE RELATIVA E TEMPERATURA DAS SUPERFÍCIES EXTERNAS

O Quadro 4 apresenta as médias anuais de umidade relativa e temperatura das paredes externas, obtidas pelas simulações, e os gráficos do comportamento dessas variáveis ao longo de três anos.

Quadro 4: Comportamento da umidade relativa e temperatura das superfícies externas e valores médios das paredes simuladas

	Umidade Relativa (%)	**Temperatura (°C)**	**Valores de umidade relativa e temperatura na superfície exterior – Três anos de simulação**
Parede P1	56,29	25,44	
Parede P2	56,42	25,41	
Parede P3	56,38	25,44	

Fonte: Os autores, gerado pelo programa WUFI Pro 6.7

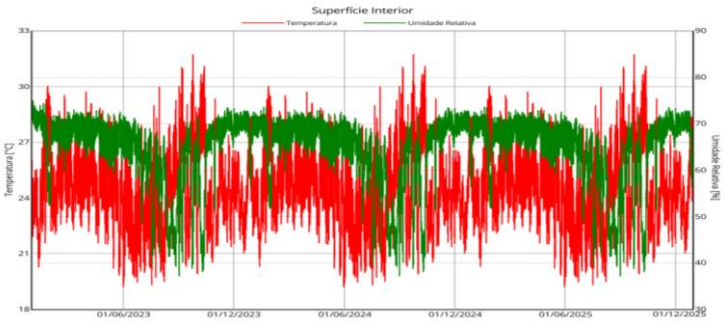
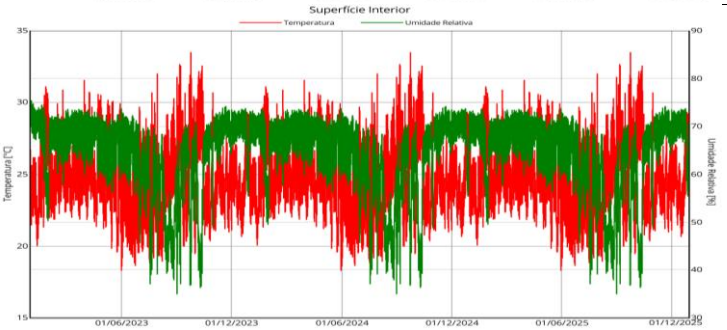
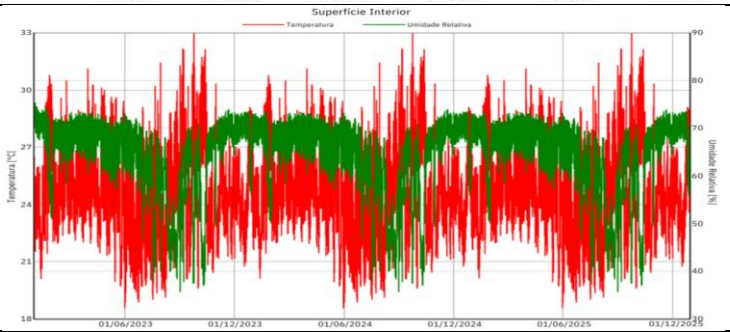
Quando comparadas graficamente, a umidade relativa na superfície externa demonstra pequenas variações entre as paredes, sendo ligeiramente maior para a parede P2. No entanto, analisando as médias anuais da umidade relativa na superfície externa, é possível observar que os valores são similares, não havendo diferença significativa.

Em relação à temperatura da superfície externa, os gráficos mostram que a parede P3 apresenta maior amplitude das temperaturas superficiais que as paredes P1 e P2, com valores superiores para as temperaturas máximas e valores inferiores para as mínimas. No entanto, as diferenças não são significativas. Numericamente, as médias anuais obtidas nas 3 paredes apresentam valores semelhantes, com variações de apenas 0,03 °C entre a parede P2 e os demais modelos.

UMIDADE RELATIVA E TEMPERATURA DAS SUPERFÍCIES INTERNAS

O Quadro 5 apresenta os valores médios anuais de umidade relativa e temperatura das superfícies internas das paredes simuladas e os gráficos do comportamento dessas variáveis ao longo de três anos de simulação.

Quadro 5: Comportamento da umidade relativa e temperatura das superfícies internas e valores médios anuais das paredes simuladas

	Umidade Relativa (%)	Temperatura (°C)	Valores de umidade relativa e temperatura interna – Três anos de simulação
Parede P1	63,97	24,47	
Parede P2	63,76	24,52	
Parede P3	63,95	24,47	

Fonte: Os autores, gerado pelo programa WUFI Pro 6.7.

Na superfície interior, os gráficos demonstram pequenas diferenças entre os valores de umidade relativa superficial, sendo que a parede P1 possui menor amplitude, em relação aos valores de máximo e mínimo, que as paredes P2 e P3. No entanto, analisando as médias anuais da umidade relativa na superfície interna, é possível observar que os valores são similares, não havendo diferença significativa.

Em relação aos valores médios nas superfícies internas e externas, há um aumento na umidade relativa interna de todas as paredes quando comparadas aos valores de umidade relativa externa. A parede P1 apresentou 7,68% de aumento em sua umidade média, sendo a parede com o maior aumento apresentado; já a parede P2 teve aumento de 7,34% e a parede P3 de 7,57%.

Nas análises quanto às temperaturas superficiais, a parede P1 exibe temperaturas internas com menores amplitudes verificadas entre as máximas e as mínimas do período simulado. No entanto, as diferenças entre as temperaturas médias das paredes não ultrapassam 0,05 °C.

BOLOR

Para analisar os níveis de desenvolvimento dos fungos, foram utilizados os gráficos de isopletas que representam a temperatura e a umidade relativa em seus eixos (Quadro 6). A coloração nos gráficos indica o tempo de simulação, o amarelo corresponde ao início do período simulado e o gradiente vai escurecendo de acordo com a passagem do tempo, chegando ao verde escuro que representa o final do período simulado. Para classificar a taxa de crescimento de fungos foram adotados os critérios do WUFI Bio (extensão do WUFI Pro):

Índice de crescimento de fungo (MGI)

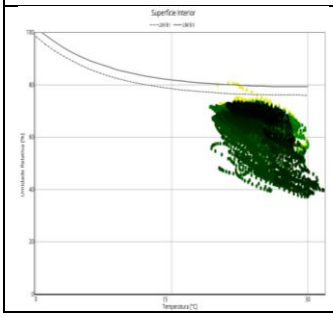
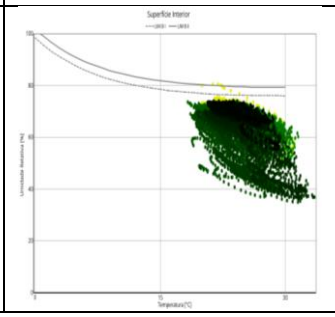
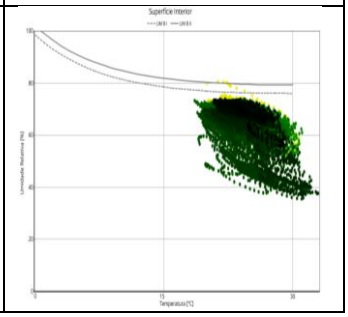
0. Não há crescimento de fungos, esporos inativos;
1. Pequena quantidade de fungos na superfície (microscópio), crescimento inicial;
2. < 10% de cobertura de fungos na superfície (microscópio);
3. Cobertura entre 10 e 30% de fungos na superfície (visual), produção de novos esporos;
4. Cobertura entre 30 e 70% de fungos na superfície (visual), crescimento moderado;
5. > 70% de cobertura de fungos na superfície (visual), crescimento elevado;
6. Crescimento de fungos acentuado, cobre quase 100% da superfície, crescimento muito elevado.

O índice de crescimento de fungos (*Mould Growth Index - MGI*) indica que valores inferiores a 1 não são preocupantes, entre 1 e 2 indicam possibilidade de desenvolvimento de fungos e acima de 2 indica potencial de degradação do sistema construtivo em relação ao crescimento de fungos [8] [9] [10] [11] [12].

Os resultados obtidos nos gráficos de isopletas do WUFI Pro 6.7 (Quadro 6) mostram que as superfícies interiores das paredes ultrapassam o limite I e II no início do período

de simulação, indicando assim maior possibilidade ao crescimento de bolores dentro da edificação devido a presença de um maior teor de umidade.

Quadro 6: Isopletas na superfície interior das paredes

parede P1	parede P2	parede P3
		

Fonte: Os autores, gerado pelo programa WUFI Pro 6.7

Essa situação é devido à maior presença de umidade na edificação, logo após sua construção, sendo que a estabilidade dos teores de umidade é alcançada no terceiro ano após a construção. Porém, com o passar do tempo, todos os modelos se mantiveram abaixo do limite I, não atingindo a condição de risco para desenvolvimento de bolores ao longo da vida útil da edificação.

CONCLUSÕES

Os resultados das simulações higrotérmicas permitiram comparar os três tipos de paredes e constatar que os modelos equivalentes (P2 e P3) retém mais umidade, mantendo seus teores de umidade totais em torno de 15% acima do modelo de referência P1. No entanto, nenhuma das modelagens apresentou possibilidades de crescimento de fungos, não superando os limites de risco para desenvolvimento de bolores ao longo da vida útil da edificação, nas condições de contorno adotadas.

Em relação à umidade relativa da superfície externa, os modelos equivalentes apresentaram valores acima do modelo de referência. No entanto, as diferenças não foram significativas, menos de 1% quando comparados ao modelo de referência. Em todos os modelos simulados, a umidade relativa das superfícies internas é maior que os valores externos. Entretanto, quando comparados entre si, os valores médios das superfícies internas dos modelos apresentaram resultados com diferença inferior a 0,3%. Os valores médios anuais para as temperaturas das superfícies externas (25,4 °C) e internas (24,4 °C) alcançadas pelos modelos são muito próximas.

Enfim, as comparações entre os dois modelos equivalentes não mostraram diferenças significativas entre si. O modelo equivalente P2 elaborado para simulações no *EnergyPlus* e o modelo equivalente P3 para simulações no WUFI Pro foram criados em diferentes softwares, mas apresentaram resultados semelhantes quando simulados no WUFI Pro.

As paredes P1, P2 e P3 apresentaram resultados semelhantes quanto aos valores médios de umidade relativa das superfícies e temperaturas superficiais, mostrando que os modelos equivalentes (P2 e P3) não afetam significativamente as simulações térmicas. No entanto, as simulações higrotérmicas mostraram diferenças quanto ao teor de umidade total entre o modelo de referência (P1) e os modelos equivalentes (P2 e P3), embora o percentual encontrado (15%) não seja suficiente para causar danos na edificação.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Universidade de Brasília e à Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal (FAPDF) pelos recursos aplicados nas bolsas de auxílio à Iniciação Científica.

REFERÊNCIAS

[1] BRITO, A. C.; BELIZARIO-SILVA, F. Análise de sensibilidade do comportamento higrotérmico de paredes com diferentes tipos de concreto. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19, 2022, Canela. **Anais [...]** Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 1-14.

[2] ZANONI, V. A. G. (2015). **Influência dos agentes climáticos de degradação no comportamento higrotérmico de fachadas em Brasília.** Tese de Doutorado em Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, Brasília, DF.

[3] ZHAO, J; GRUNEWALD, J; PLAGGE, R. Definition of generic materials by using a cluster analysis method. In: 2nd Central European Symposium on Building Physics. **Proceedings […] Vienna**, Austria; 2013. p. 875 - 81.

[4] ZHAO, J.; PLAGGE, R.; RAMOS, N. M.M.; SIMÕES, M. L.; GRUNEWALD, J. Concept for development of stochastic databases for building performance simulation - A material database pilot project. **Building and Environment** 84, p. 189-203, 2015.

[5] WEBER, F.S; MELO, A.P; MARINOSKI D.L; LAMBERTS, R. **Desenvolvimento de um modelo equivalente de avaliação de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus.** Relatório - Anexos. Florianópolis, 2017. p 01-52.

[6] ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**. Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

[7] ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**. Desempenho térmico de edificações Parte 2 – Componentes e elementos construtivos das edificações — Resistência e transmitância térmica — Métodos de cálculo (ISO 6946:2017 MOD). Rio de Janeiro, 2022.

[8] ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. **Handbook 2009 - Fundamentals.** Atlanta, 2013.

[9] VIITANEN, H. A.; OJANEN, T. Improved model to predict mold growth in building materials. Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whold Building X, Proceedings **[…]** Florida, USA, 2007.

[10] OJANEN, T.; VIITANEN, H.; PEUHKURI, R. **Modelling of Mould Growth in Building Envelopes.** Porto: IEA, 2007.

[11] SEDLBAUER, K. (2001) **Prediction of Mould Fungus Formation on the Surface of and inside Building Components**. Ph.D. Dissertation, Stuttgart University, Stuttgart.

[12] SANTOS, A. C. (2019) **Avaliação do desempenho potencial de duas soluções de revestimentos argamassados em função do risco de formação de fungos emboloradores no interior de edificações na cidade de São Paulo**. Dissertação. Mestrado em Habitação, Planejamento e Tecnologia. IPT – Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo. São Paulo.