XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Análise comparativa do desempenho térmico em edifício histórico segundo dois algoritmos de cálculo de condução térmica

Comparative analysis of thermal performance in historic building according to two thermal conduction calculation algorithms

Maritza da Rocha Macarthy
Universidade Federal de Pelotas | Pelotas | Brasil | maritzadarochamacarthy@gmail.com
Luiza Coutinho Bernardes
Universidade Federal de Pelotas | Pelotas | Brasil | luizacber@gmail.com
Carolina de Mesquita Duarte
Universidade Federal de Pelotas | Pelotas | Brasil | carolinademesquitaduarte@hotmail.com
Luciane Andreola Beber
Universidade Federal de Pelotas | Pelotas | Brasil | luandreolabeber@gmail.com
Giane de Campos Grigoletti
Universidade Federal de Santa Maria | Santa Maria | Brasil | ggrigoletti@gmail.com
Eduardo Grala da Cunha
Universidade Federal de Pelotas | Pelotas | Brasil | eduardogralacunha@yahoo.com.br

Resumo
Este estudo tem o objetivo de apresentar uma análise comparativa do comportamento higrotérmico das paredes de alvenaria de uma edificação histórica do século XIX, localizada em Pelotas, RS, na zona bioclimática (ZB2). A análise é realizada através de simulações executadas nos softwares EnergyPlus e Wufi Pro considerando os algoritmos de Transferência de Calor e Umidade e Condução e Convecção, para uma edificação ventilada naturalmente. Os resultados demonstraram que o desempenho higrotérmico do sistema construtivo é um pouco melhor com membrana hidrófuga, e que os dois algoritmos apresentam comportamento semelhantes, no entanto, as paredes da edificação histórica não apresentam resultados satisfatórios.

Como citar:
MACARTHY, M. da R.; BERNARDES, L. C.; DUARTE, C. de M.; BEBER, L. A.; GRIGOLETTI, G. C.; CUNHA, E. G. Análise comparativa do desempenho térmico em edifício histórico segundo dois algoritmos de cálculo de condução térmica. ENTAC 2022. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. XXX-XXX.

Palavras-chave: Umidade nas paredes. Desempenho higrotérmico. Fungos filamentosos. Simulações higrotérmicas. Transferência de calor e umidade.

Abstract

This study aims to present a comparative analysis of the hygrothermal behavior of the masonry walls of a historic building from the 19th century, located in Pelotas, RS, in the bioclimatic zone (ZB2). The analysis is performed through simulations using in EnergyPlus and Wufi Pro software considering the Heat and Moisture Transfer and Conduction and Convection algorithms, for a naturally ventilated building. The results showed that the hygrothermal performance of the construction system is a little better with membrane, and that the two algorithms present similar behavior, however, the walls of the historic building do not present satisfactory results.

Keywords: Moisture on the walls. Hygrothermal performance. Filamentous fungi. Hygrothermal simulations. Heat and moisture transfer.

1 INTRODUÇÃO

As ações externas à envoltória, relacionadas à atmosfera e ao solo, e a variação das condições ambientais internas relacionadas ao projeto da edificação e ao uso por seus ocupantes afetam o desempenho das edificações [1]. O clima de Pelotas é muito propenso ao surgimento de mofo e bolor, a cidade está inserida na Zona Bioclimática 2 com característica do clima subtropical úmido, com altos índices de umidade relativa do ar e temperaturas amenas no inverno e muito quente no verão.

Os problemas de alta umidade relativa no interior das edificações oferece o risco de condensação na superfície de paredes internas quando o vapor de água presente no ar do ambiente encontra uma superfície fria, atingindo o ponto de orvalho, passando a água do estado de vapor para o estado líquido. O que dá origem ao aparecimento de água líquida no interior dos elementos construtivos [2], e formação de fungos filamentosos. Na cidade de Pelotas, RS, busca-se resolver os problemas de mofo nas edificações com aplicação de fungicidas ou tintas especiais, entretanto, essas ações não eliminam a causa do problema, além de terem durabilidade limitada [6].

As edificações históricas possuem paredes com camadas largas de tijolos cerâmicos maciços e argamassa, e quanto maior for a espessura maior é sua capacidade térmica e, portanto, mais calor ela precisa armazenar para poder conduzi-lo ao interior para a secagem nas paredes. No Brasil, a norma NBR 15220-2[3] é que estabelece métodos de cálculo de propriedades dos materiais, as quais são importantes para a análise de desempenho termo energético das edificações.

O estudo do desempenho higrotérmico é caracterizado pelo conjunto do comportamento térmico e do comportamento da umidade nas edificações e seus componentes [7]. Atualmente, já existem ferramentas de simulação higrotérmica que permitem simular a transferência de umidade em regime variável, a exemplo o *software Wufi Pro* 6.5 [8] com base na DIN EN 15026 [9], e avaliar o comportamento das condensações internas.

De acordo [5], os riscos de degradação e de deterioração dos elementos construtivos da edificação podem ser avaliados pela simulação higrotérmica, além de estimar as

condições internas de conforto térmico. No Brasil, algumas pesquisas destacam-se nos estudos de comportamento higrotérmico nos revestimentos das fachadas das paredes de alvenaria realizados por [11];[12].

Nessa abordagem sobre umidade, [13] realizou estudo sobre a influência da colocação interior e exterior de camadas de isolamento térmico de diferentes materiais no comportamento higrotérmico do elemento do envelope de um prédio histórico. Com uso de isolantes térmicos consegue-se minimizar as trocas de calor com o exterior, e redução das necessidades de aquecimento/arrefecimento e diminuição dos riscos de ocorrência de condensações, [2]; [14].

Porém, faltam informações mais especificas nas normas, importantes para ampliar os estudos sobre o risco de umidade nos edifícios [13]. A ISO 13788[16] descreve um método de cálculo para o desempenho higrotérmico de componentes e elementos de construção de temperatura da superfície interna para evitar umidade superficial crítica e condensação intersticial, e a normal 15575[17] estabelece exigências quanto á estanqueidade, durabilidade, desempenho térmico da edificação.

Diante do que foi exposto, este estudo vem apresentar uma contribuição ao estudo do transporte de umidade e vapor, condensações nas superfícies internas das paredes de edifícios históricos e da formação de fungos filamentosos considerando o desempenho higrotérmicos e o impacto nas condições internas. Este trabalho é recorte de uma pesquisa de mestrado que está sendo desenvolvida no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas.

2 OBJETIVO

Este estudo tem por objetivo realizar uma análise comparativa do desempenho térmico de zona térmica em edifício histórico observando dois algoritmos de cálculo de condução térmica, para as paredes de tijolos maciço e com barra de vapor.

3 MÉTODO

O método possui três etapas: inicialmente na primeira etapa, foi escolhida uma edificação histórica e definida sua tipologia, para o estudo com sistema construtivo de paredes de tijolos maciço e outra configuração com acréscimo de barra de vapor. Na segunda etapa, foram realizadas simulações em dois softwares, *Energy Plus e Wufi Pro* para condição de ventilação natural. Com uso do *software Energy Plus 9.0* foram configuradas condições ambientais internas com dois modelos de cálculo. O primeiro algoritmo de Condução e convecção (CTF) padrão que o EnergyPlus emprega para as simulações dos fluxos de calor, das temperaturas superficiais e do ar interno, e para as análises do balanço térmico das superfícies internas. Neste modelo o algoritmo não considera o transporte de umidade nas paredes. O segundo algoritmo configurado para ventilação natural foi o modelo de Transferência de calor e umidade (HAMT) que

considera o transporte de umidade. As simulações no software *Wufi Pro 6.5,* foram realizadas para verificar a transmissão de umidade da superfície interna da parede externa. Na terceira etapa, foram analisados os dados de saída e avaliados os resultados seguindo os critérios do teor de umidade total, risco de condensação de vapor e formação de fungos filamentosos.

ETAPA 1: TIPOLOGIA CONSTRUTIVA

Para a tipologia construtiva do estudo foi escolhido o Casarão 02, uma edificação histórica do século XIX, na cidade de Pelotas, RS, localizada na esquina da Rua Félix da Cunha com a Praça Col. Pedro Osório. O estudo ocorreu no segundo pavimento onde funciona a SECULT[18], nas salas 22, 23 e 25 que possuem aberturas pra as fachadas Oeste, Sul e Norte, como mostra a Figura 1. A cidade está na zona bioclimática (ZB2), segundo a NBR 15220 [3] com características de clima subtropical úmido, sem período seco e com alta frequência de precipitação.

Figura 1: Fachada do Casarão 02 e planta baixa do segundo pavimento



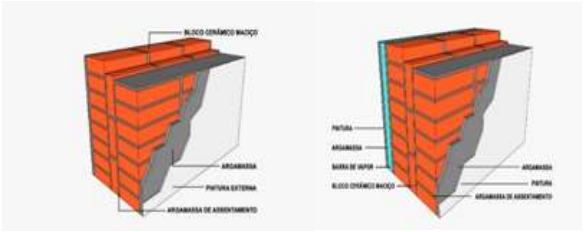
Fonte: SECULT [18]

ETAPA 2: SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

ENVOLTÓRIA

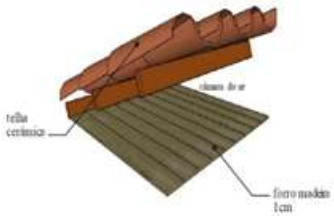
Para o estudo foram consideradas duas configurações de parede. Na condição inicial, os elementos construídos foram constituídos por tijolo maciço (TM) e argamassa, configurados de acordo com NBR 15220[3], para transmitância térmica mínima de 2, 5 [W/(m²K)]; e para a segunda condição com acréscimo de membrana hidrófuga (MH),(Figura 2). A cobertura com telha cerâmica de 1 cm de espessura, câmara de ar e forro de madeira, com transmitância térmica de 2,3[W/ (m^2 K)], (Figura 3). No interior das salas o piso em madeira de tábua corrida, janelas com vidro simples com postigos de madeira e portas-janelas de madeira.

Figura 2: Configuração das paredes de tijolo maciço e com isolante térmico



Fonte: Autores (2022)

Figura 3: Configuração da cobertura

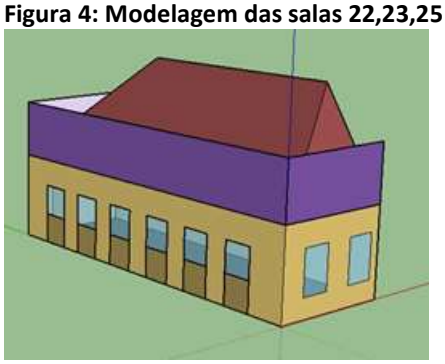


Fonte: Adaptado de Labeee [19]

SIMULAÇÃO NO ENERGYPLUS

As simulações no *software EnergyPlus 9.0* foram realizadas com objetivo de criar dois arquivos de clima interior com a temperatura operativa interna, para a ventilação natural com dois algoritmos: Condução e convecção de calor (CTF), e para Transferência de calor e umidade (HAMT). Para isso se faz necessário a modelagem das três salas da edificação no *software SKetchUp Make* 2018, *plugin Euclid* 9.3 e da cobertura, considerando a câmara de ar com resistência térmica de 0,21(m²K) /W conforme NBR 15220 [3] (Figura 4).

Figura 4: Modelagem das salas 22,23,25



Fonte: Autores (2022)

A agenda de uso ocupação foi configurada conforme RTQ-C [20], utilizadas por nove pessoas nas três sala durante os dias de semana em horário comercial, e para a agenda de uso de iluminação artificial padrão, com os valores da taxa metabólica, densidade de potência de iluminação e as cargas internas de equipamentos 1,5 W/m². Para a ventilação natural, o parâmetro *AirflowNetwork foi* configurado considerando-se as características da edificação e o controle de abertura de portas e janelas**.** A

configuração de uso das janelas foi para o período de 8 h ao dia e quando a temperatura do ar interno do ambiente é maior ou igual a, 25°C, e quando a temperatura do ar externo é inferior à temperatura do ar interno em até 5°C [21]. A configuração da temperatura do solo foi configurada como adiabático na troca de calor com o pavimento inferior. Os dados de saída de temperatura média horária interna e umidade relativa do ar interno foram exportados, e com estes gerados o arquivo EPW, no programa Python, que configura a condição ambiental interna das salas. Para gerar os arquivos foram configurados os parâmetros dos dois algoritmos (VN) Condução e convecção de calor (CTF) e (VN HAMT) Transferência de calor e umidade (HAMT). para a definição das condições de contorno do ambiente interior ventilado naturalmente no *software Wufi Pro 6.5*.

SIMULAÇÃO HIGROTÉRMICA

As simulações higrotérmicas foram realizadas no *software WUFI Pro 6.5*[8], com o objetivo de verificar nas paredes os fenômenos quanto à transferência e permanência de umidade, o risco de condensação de vapor e riscos de formação e crescimento de fungos filamentosos, para ventilação natural segundo a EN 15026 [9]. Este software foi desenvolvido pelo Instituto Fraunhofer - Física da Construção (IPB) e é um dos programas comerciais mais utilizados como ferramenta de cálculo computacional unidimensional para análise do comportamento higrotérmico dos componentes da envoltória da edificação.

SISTEMA CONSTRUTIVO

No *software WUFI Pro 6.5*[6], foram construídos dois tipos de paredes: a primeira parede com camadas de tijolo maciço (TM) e argamassa, 0,44m de espessura total e valor da transmitância térmica U=1,76 [W/(m^2K)]. A segunda parede com membrana hidrófuga (MH), tijolo maciço e argamassa, com espessura de 0,441 m, transmitância de 1,75 [W/ (m^2K)] (Tabela 1). As propriedades dos materiais foram extraídas do banco de dados do *software Wufi Pro* (Tabela 2), com valores calculados pelo modelo de cálculo da transferência de calor e de umidade, que usa as equações diferenciais de Künzel. Foram definidos os seguintes parâmetros como orientação das fachadas oeste, sul e norte; altura do edifício(m) até 20 m. A chuva incidente foi calculada segundo a norma ASHRAE 160 [22] e os coeficientes de transferência à superfície, absorção (radiação de onda curta) de 0,2 (claro); valor de refletividade do solo (onda curta), foi de 0,2, valor padrão do programa e período de análise da simulação foi de três anos com intervalo de tempo de 1 hora. Utilizou-se para os dados de clima exterior o arquivo climático no formato TRY, referente à cidade de Pelotas/RS, desenvolvido por Leitzke et al. [23] com a base de dados da EMPRAPA [24]. Para o clima interior na condição de ventilação natural de acordo com a EN 15026 [9] foi utilizado os arquivos gerados da primeira simulação no *software EnergyPlus* que definiu o clima do ambiente interno das salas. Depois foram avaliadas as condições higrotérmicas internas para o Casarão 02 no *software Wufi* na condição de ventilação natural utilizando para o clima interior o arquivo gerado com os algoritmos HAMT na segunda

simulação com *software EnergyPlus*. Os resultados obtidos foram de teor de umidade e umidade relativa do ar interno, temperaturas superficiais internas, risco de condensação de vapor e formação de fungos filamentosos no sistema construtivo da edificação histórica.

Tabela 1: Descrição dos sistemas construtivos

Caso	Sistema Construtivo	Descrição	Espessura Transmitância Resistência
TM		Reboco + Tijolo cerâmico + Reboco	Espessura total = 0,441 m U= 1,76 W/(m²K) R= 0,39 (m²K)) /W)
TM-MH		Reboco + Membrana Hidrófuga + Tijolo cerâmico + Reboco	Espessura total = 0,441 m U= 1,75 W/(m²K) R= 0,39 (m²K) /W

Fonte: Autores, dados *WUFI* Pro 6.5 [8]

Tabela 2 – Propriedades dos materiais construtivos utilizados

Propriedades	Densidade aparente [kg/m³]	Porosidade [m³/m³]	Calor específico [J/(kg.K)]	Condutibilidade térmica [W/ (m.K)]	Fator de resistência à difusão de vapor de água
Argamassa	1910	0,25	850	0,8	45,89
Tijolo Maciço	1961	0,24	920	1,057	10
Membrana Hidrófuga	83	0,12	1800	1	4000

Fonte: Adaptado do WUFI Pro 6.5 [8]

ETAPA 3: CRITÉRIOS PARA ANÁLISE DOS RESULTADOS HIGROTÉRMICOS

Para a avaliação dos resultados adotou-se três critérios de avaliação para as análises:

Critério de Teor de umidade total (kg/m²): Para esta análise comparamos os teores de umidade total inicial e final. Se o teor de umidade final for maior que o teor de umidade inicial pode haver acúmulo de umidade no sistema construtivo, trazendo o risco de degradação ao material [2], [8].

Critério de risco de condensação de vapor (%): De acordo com as normas ASHRAE [14] e EN 15026 [7] os limites de 70% e 60% de umidade relativa respectivamente são risco de formação de fungos filamentosos nas superfícies internas das paredes externas [11]. Se nas camadas do sistema construtivo atingir 100% de umidade relativa, há existência desses pontos traduzirem a ocorrência de condensações interiores [26].

Critério para formação de fungos filamentosos (%): Para esta análise utilizou-se a saída das isopletas do *Wufi Pro* com as curvas LIM (*Lowest Isopleth for Mold)* e a análise pelo *plug-in Wuf*i-Bio. As curvas LIM representam o limite para o risco de crescimento de mofo. Se a umidade relativa superior chegar a 80% DIN 4108-2[27] e a temperatura interna for 20° C, há risco de formação de fungos filamentosos. De acordo com [28] as

curvas LIM são classificadas conforme substrato (0, I e II), e existe risco de desenvolver os fungos filamentosos se a umidade relativa estiver acima dos 80% ou próxima. As três classes de substrato (0, I e II),na determinação do teor crítico de água e na estimativa do crescimento dos micélios representam:(0) para crescimento máximo do mofo encontrado em edifícios,(I) para os substratos bio-utilizáveis, de materiais como papel de parede, placa de gesso, etc. e (II) para os substratos menos bio-utilizáveis com estrutura porosa: rebocos, materiais de construção minerais, etc. [28]. Para cada temperatura a curva LIM indica a umidade acima da qual se espera a germinação em substratos das respectivas classes existe risco de desenvolver os fungos filamentosos se a umidade relativa estiver acima dos 80% ou próxima [28].

4. RESULTADOS

TEOR DE UMIDADE TOTAL

Os resultados dos teores de umidade total no sistema construtivo estudado para as duas condições de ventilação natural comparando os dois algoritmos, são apresentados na Tabela 3, com os valores inicial e final, mínimo e máximo dos teores de umidade total para as orientações Norte, Sul e Oeste.

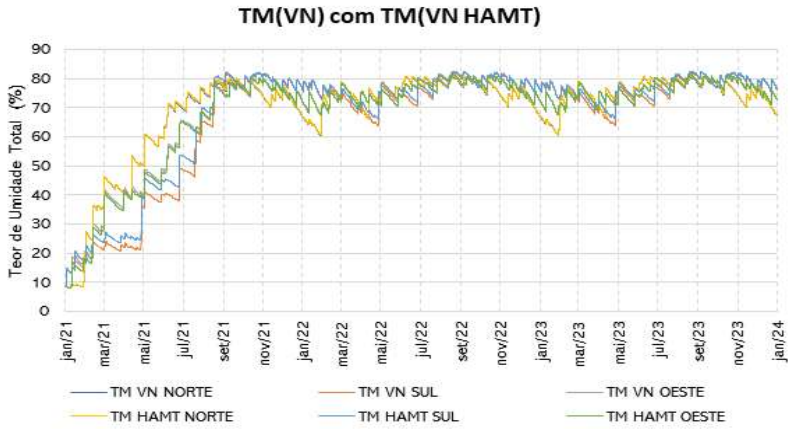
Tabela 3 – Teor de umidade total e taxa de secagem dos sistemas

Sistema	Orientação	Teor de umidade total [kg/m²]			
		Início	Fim	Mínimo	Máximo
TM(VN)	Norte	8,31	67,17	8,01	80,7
	Sul	8,31	76,24	8,23	82,39
	Oeste	8,31	72,46	7,99	81,17
MH(VN)	Norte	8,32	19,9	8,17	25,01
	Sul	8,32	24,17	8,31	26,68
	Oeste	8,32	23,89	8,16	26,58
TM (VN HAMT)	Norte	8,31	67,3	8,01	81,13
	Sul	8,31	76,45	8,23	82,58
	Oeste	8,31	72,54	7,99	81,53
MH (VN HAMT)	Norte	8,32	19,43	8,09	24,82
	Sul	8,32	24,0	8,27	26,65
	Oeste	8,32	23,58	8,07	26,46

Fonte: Autores (2022)

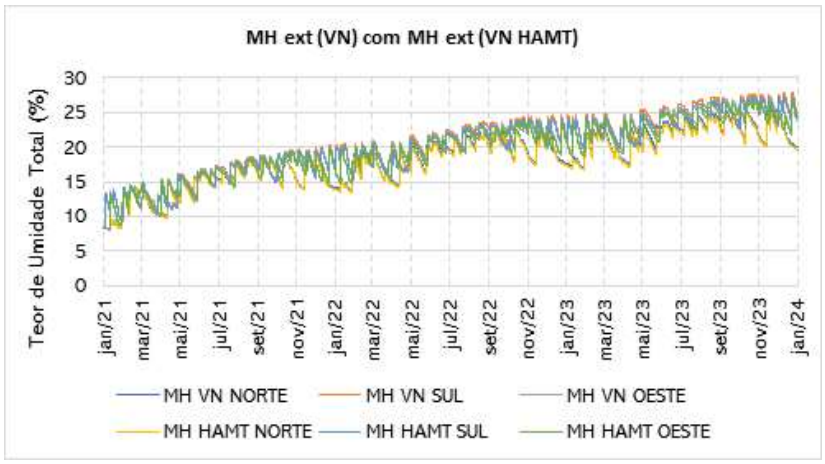
Legenda: TM(VN) Tijolo Maciço - Ventilação Natural; MH(VN) Membrana Hidrófuga - Ventilação Natural; TM (VN HAMT) Tijolo Maciço - Ventilação Natural HAMT; MH (VN HAMT) Membrana Hidrófuga - Ventilação Natural HAMT

Figura 5: Teor de Umidade nas paredes de TM



Fonte: Autores (2022)

Figura 6: Teor de Umidade Total nas paredes de acréscimo de MH



Fonte: Autores (2022)

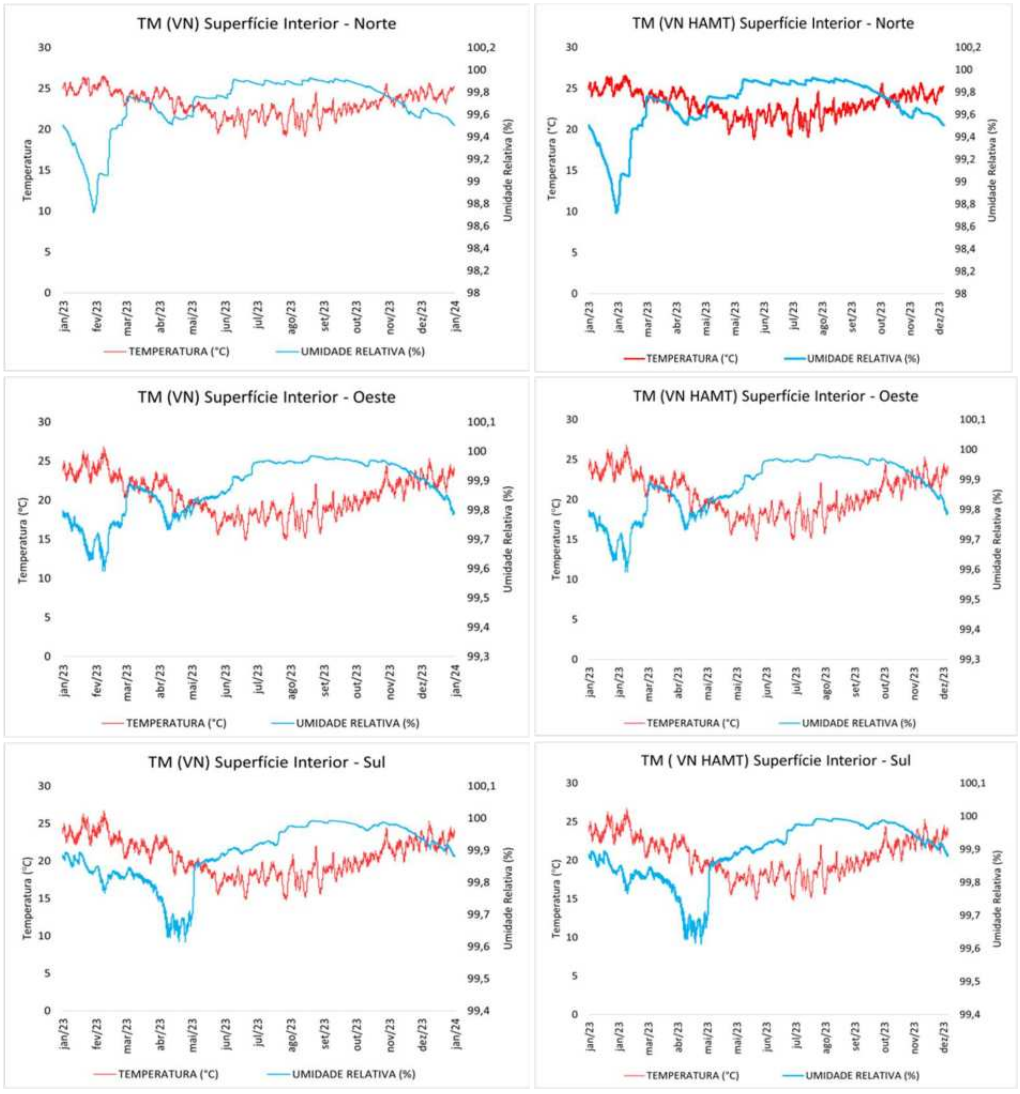
Observou-se na Figura 5 e pela tabela 3, que para os teores de umidade total final nas três orientações da parede e tijolo maciço é maior que o inicial e que houve acúmulo de umidade no seu interior, principalmente para a orientação Sul com 76,24% (VN), e em torno de 76,45 % (VN HAMT). Posteriormente encontramos as paredes de orientação Oeste nas condições (VN) Oeste 72,46% e (VN HAMT) Oeste com 72,54%. Para a orientação Norte nas condições de ventilação (VN) Norte e (VN HAMT) Norte, observou-se um melhor comportamento no seu interior ao final das simulações, as curvas do teor de umidade relativa em torno de 67,17% e 67,30%. Percebe-se que as curvas para os dois algoritmos de ventilação natural se aproximaram muito. As curvas do teor de umidade total para as paredes com uso da membrana hidrófuga MH(VN) e MH (VN HAMT) são apresentadas na Figura 6. É possível observar que ao final da simulação as paredes MH (VN) Sul e MH (VN HAMT) Sul apresentam um teor de umidade total baixo em torno de 24,17% e 24% para as paredes MH (VN) Oeste e MH (VN HAMT) Oeste com 23%. E para as paredes MH(VN) Norte e MH (VN HAMT) Norte o teor de umidade ficou abaixo dos 20%. Observa-se também que o uso de barreira de vapor ajudou a reduzir bastante o teor de umidade total ao final das simulações e novamente o comportamento para os dois algoritmos se assemelha.

RISCO DE CONDENSAÇÃO DE VAPOR

Os resultados correspondentes à temperatura e umidade relativa da superfície interior são apresentados nos gráficos da figura 7 e figura 8 abaixo:

Figura 7: Superfície Interna das paredes tijolo maciço (TM)

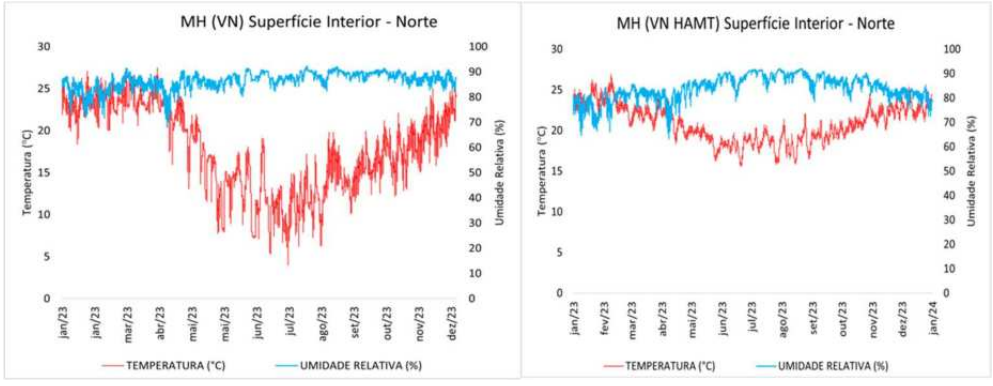
Ventilação Natural | Ventilação Natural - HAMT

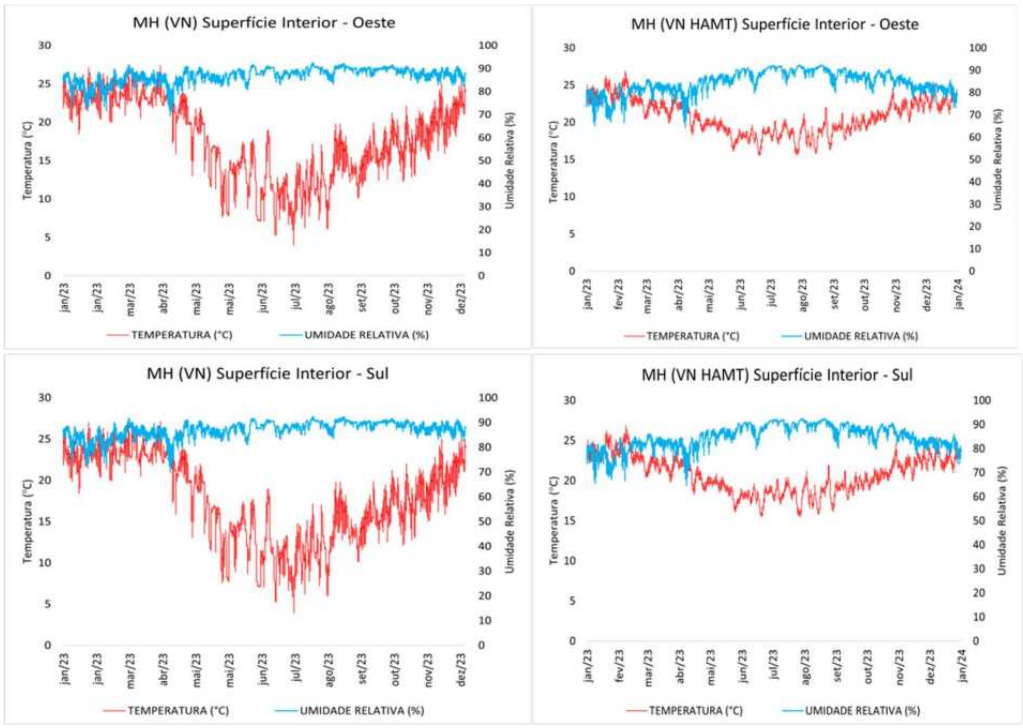


Fonte: Autores (2022)

Figura 8: Superfície Interna das paredes membrana hidrófuga (MH)

Ventilação Natural | Ventilação Natural - HAMT





Fonte: Autores (2022)

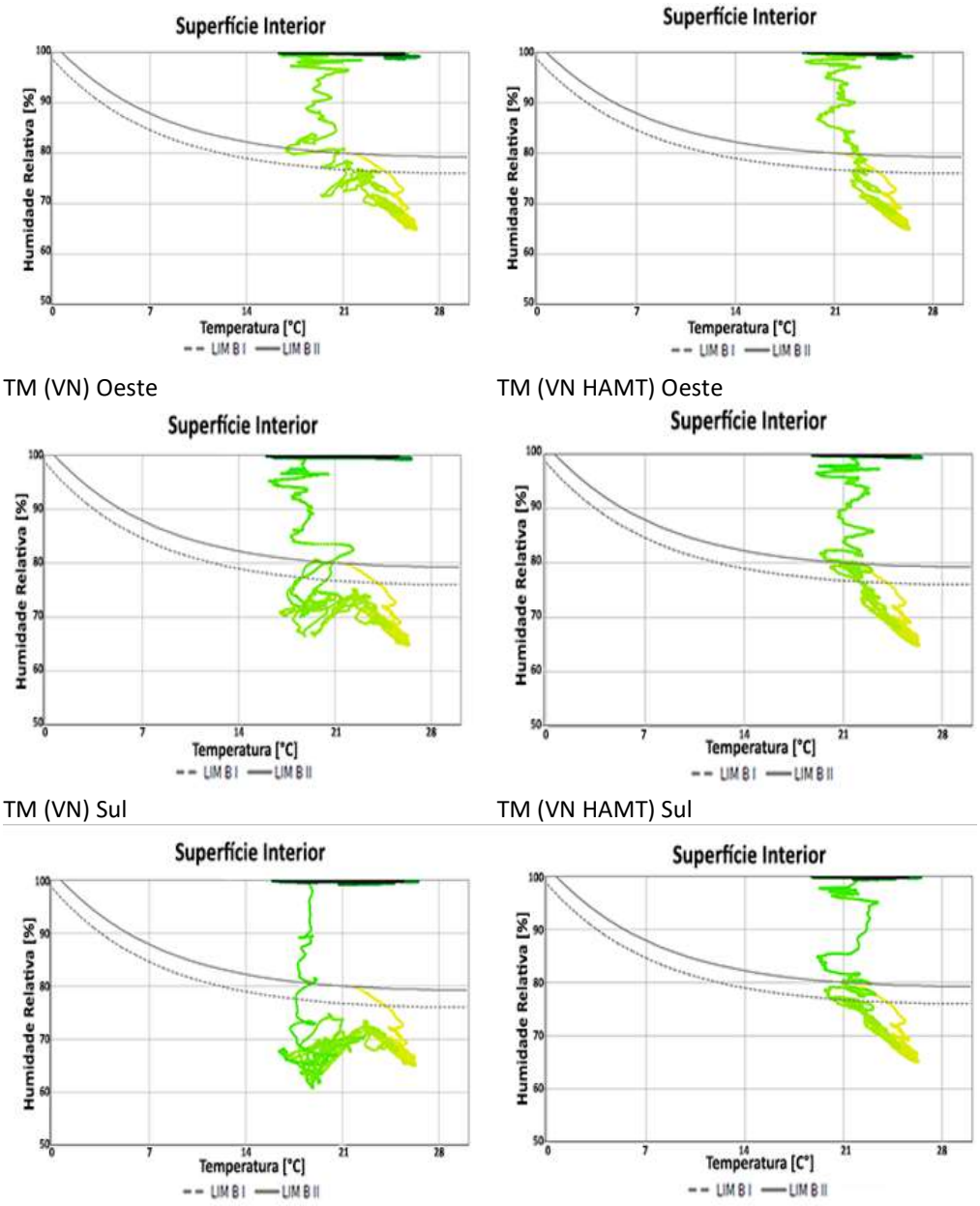
Observou-se que para os ambientes com paredes de TM (VN) na ventilação natural com arquivo gerado do microclima interno do ambiente das salas por condução de calor (CTF)(Figura 7), nos meses de inverno (junho, julho e agosto) a temperatura é menor do que a umidade relativa que é mais alta se aproximando de 100%, indicando a condensação para todas as orientações. A simulação para a parede TM (VN HAMT) (Figura 8), para ventilação natural com arquivo gerado por transferência de calor e umidade apresenta nos meses de inverno 99,7 % de umidade relativa e a temperatura na parede mais baixa, não apresentando secagem, condensando na parede, e início de uma leve diminuição dessa umidade no mês de novembro. Para o sistema construtivo com acréscimo de membrana hidrófuga, para as duas condições de ventilação natural, MH (VN) e MH (VN HAMT) o comportamento da umidade apresenta valores levemente mais baixos na faixa dos 90%.

FORMAÇÃO DE FUNGOS FILAMENTOSOS

As curvas LIM B I e LIM B II apresentam condições higrotérmicas na superfície interna da parede. Os gráficos das Figuras 9 e 10, apresentam o risco de formação de fungos filamentosos na superfície interna do sistema construtivo. As cores amarela, verde e preto dos pontos, representam em que momento da simulação esse ponto ocorreu, sendo: amarelos ocorrem no início, dos verdes até os mais escuros no final, e a probabilidade de surgimento dos fungos filamentosos.

Figura 9: Formação de isopletas para parede de tijolo maciço (TM)

Ventilação Natural	Ventilação Natural - HAMT
TM (VN) Norte	TM (VN HAMT) Norte



TM (VN) Oeste

TM (VN HAMT) Oeste

TM (VN) Sul

TM (VN HAMT) Sul

Fonte: Autores (2022)

Figura 10: Formação de isopletas para parede com membrana hidrófuga (MH)

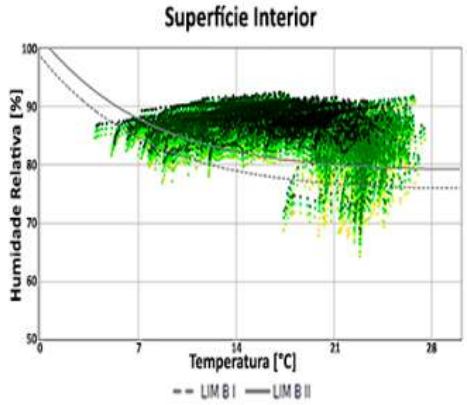
Ventilação Natural

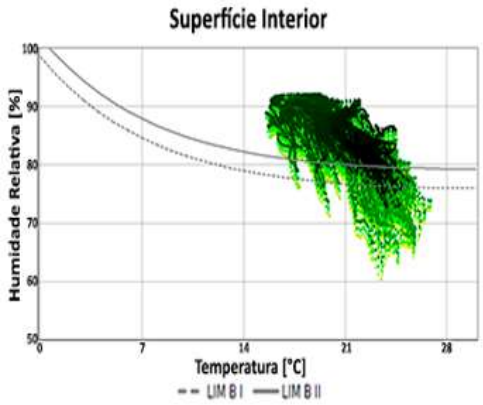
MH(VN) Norte

Ventilação Natural - HAMT

MH (VN HAMT) Norte

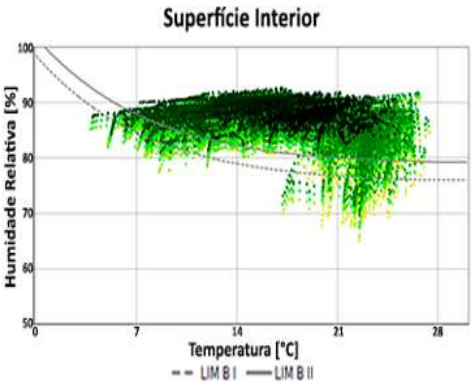
AM

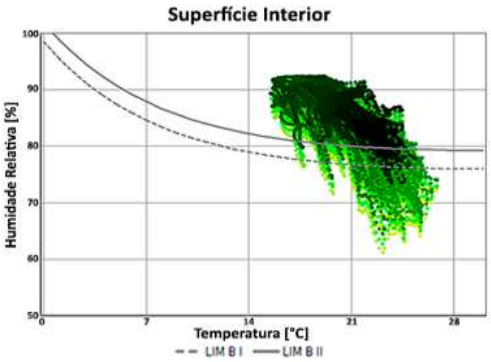




MH (VN) Oeste

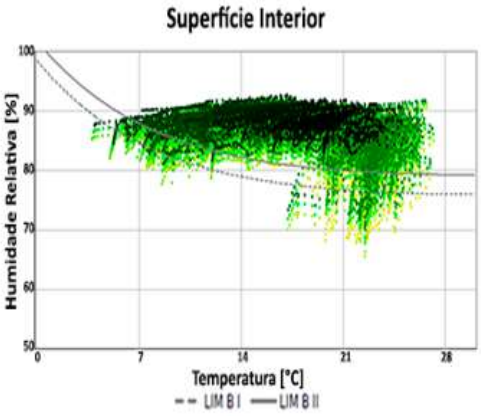
MH (V N HAMT) Oeste

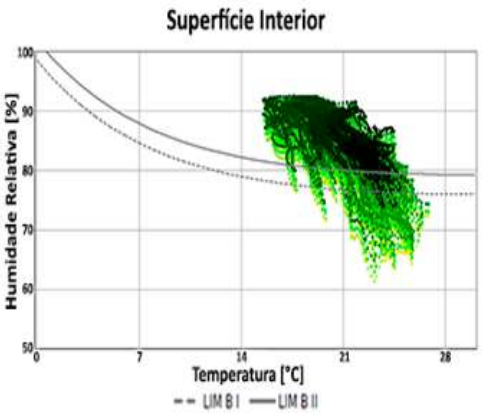




MH (VN) Sul

MH (VN HAMT) Sul





Fonte: Autores (2022)

Pode-se observar que tanto na parede tijolo maciço (TM) (Figura 9), como na parede com membrana hidrófuga (MH) (Figura 10), houve risco de formação de fungos filamentosos em todas as condições analisadas, e para ventilação natural (VN) e (VN HAMT). Essa condição de formação de mofo se confirmou na análise das curvas LIM do *Wufi Pro* e *plugin Wufi-Bio*. O risco de formação de fungos filamentosos surgiu quando o ambiente estava sob condição de ventilação natural ao risco crítico entre 75% e 80%.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observou-se que tanto a parede de tijolo maciço (TM), como membrana hidrófuga (MH), há riscos de condensação para a ventilação natural com os dois modelos (VN) e (VN HAMT). Observou-se que a parede com barreira de vapor ao final da simulação apresentou uma pequena diminuição da umidade. Concluindo-se que a edificação histórica do Casarão 02, para estas configurações de ventilação natural não possuem um bom desempenho higrotérmico para o clima subtropical úmido da cidade de Pelotas-RS na (ZB2), havendo risco de condensação de umidade e com isso riscos de formação de fungos filamentosos nas superfícies internas das paredes externas, acarretando risco a saúde dos usuários das salas. Ressaltando assim, a importância de se avaliar o desempenho higrotérmico para a prevenção e conservação do patrimônio, e também se faz necessário analisar o comportamento com outras configurações como a ventilação mecânica e isolamento térmico em outra posição da parede.

6 REFERÊNCIAS

[1] GUERRA, F. L. **Biodeterioração de conjunto histórico do século XIX em Pelotas/RS: fungos filamentosos**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2012.

[2] JORNE, F. J. F. Análise **do comportamento higrotérmico de soluções construtivas de paredes em regime variável.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2010.

[3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15220-2:** Desempenho Térmico de Edificações. Rio de Janeiro, 2005.

[4] GUERRA, F. L.; CUNHA, E. G.; SILVA, A. C. B.; KNOP, S. Análise das condições favoráveis à formação de bolor em edificação histórica de Pelotas, RS, Brasil. **Ambientes Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 4, p. 7–23, 2012.

[5] MENDES, N. **Modelos para Previsão da Transferência de Calor e de Umidade em Elementos** Porosos **de Edificações.** Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

[6] KNOP, S. **Comportamento Termoenergético de Edificação Histórica com novo uso na Cidade de Pelotas: O Caso do Casarão 02 – Secretaria Municipal da Cultura**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2012.

[7] AFONSO, T. M**. Desempenho higrotérmico de edificações e procedimentos para previsão de ocorrência de bolores em ambientes internos:** estudo de caso em habitações construídas com paredes de concreto. Dissertação de Mestrado pela IPT-Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo São Paulo 2018.

[8] FRAUNHOFER INSTITUTE FOR BUILDING PHYSICS. WUFI® Pro 6.5 manual. Holzkirchen, 2018.

[9] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **EN 15026:** Hygrothermal performance of building components and building elements: assessment of moisture transfer by numerical simulation. Berlin, 2007.

[10] DOE, **U.S. DEPARTMENT OF ENERGY.** Getting started EnergyPlus Version 9.0 Documentation, 2018.

[11] ZANONI, Vanda A. G.; DANTAS, André L. DE F.; NUNES, L. S.; RIOS, R. B. Estudo higrotérmico na autoconstrução: simulação computacional e medições em campo. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 20, p. 109–120, 2020.

[12] NASCIMENTO, M.L.M. **Aplicação da Simulação Higrotérmica na Investigação da Degradação de Fachadas de Edifícios**. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

[13] PESCARU, R. A.et al Comparative Analysis of Hygrothermal Behaviour of the Exterior Walls in Transient Regime.**IOP Conference Series: Materials Science and Engineering,** v. 586, 2019.

[14] HENRIQUES, Fernando M.A. - **Comportamento Higrotérmico de Edifícios**. Lisboa, UNL-FCT, 2007.

[15] MORISHITA, C. **On the assessment of potential moisture risks in residential buildings across Brazil**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 2020.

[16] ISO 13788 Desempenho higrotérmico de componentes e elementos de construção - Temperatura da superfície interna para evitar umidade superficial crítica e condensação intersticial - Métodos de cálculo, 2012.

[17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270: Componentes Cerâmicos**. Rio de Janeiro, 2017.

[18] SECULT**. Secretaria de Educação e Cultura de Pelotas**, Pelotas, RS.

[19] LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES – LABEEE. **PROJETEEE.** Florianópolis. Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: < http://projeteee.mma.gov.br/componentes-construtivos/ >. Acesso em: 20 jan. 2021.

[20] INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA - INMETRO. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, RTQ-C,** 2012.

[21] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270: Componentes Cerâmicos**. Rio de Janeiro, 2017.

[22] MARTINS D. J.; RAU S. L.; RECKZIEGEL S.; PRIEBE, A.; SILVA, A. C. B. Ensaio sobre a utilização da automação de aberturas na simulação do desempenho térmico de edificações. In: Encontro Nacional e VI Encontro Latino-Americano de conforto no ambiente construído, 10. e 6., 2009, Natal, RN. **Anais** […]. Natal: ENTAC, 2009. 1 CD-ROM.

[23] ASHRAE 160. **ASHRAE Standard 160**: Criteria for Moisture - Control Design Analysis in Buildings. Atlanta, USA, 2016.

[24] LEITZKE, R. K.; BELTRAME, C. M.; FREITAS, J. R. de; SEIXAS, J. N.; MACIEL, T. S.; CUNHA, E. G. da; RHEINGANTZ, P. A. Optimization of the Traditional Method for Creating a Weather Simulation File: The Pelotas.epw Case. **Journal of Civil Engineering and Architecture,** v. 12, p. 741-756, 2018. ASHRAE 160. **ASHRAE Standard 160**: Criteria for Moisture - Control Design Analysis in Buildings. Atlanta, USA, 2016.

[25] **EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA,** EMBRAPA. Normais climatológicas: estacional. Disponível em: < http://www.cpact.embrapa.br/agromet/estacao/estacional.html >. Acesso em 20 de julho de 2021.

[26] FRANÇA, C. M. C. **Avaliação dos Programas para Quantificar Condensações em Engenharia Civil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2013.

[27] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 4108-2:** Wärmeschutz und Energie - Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen na den Wärmeschutz. Berlin, 2003.

[28] SEDLBAUER, K. Prediction of mould fungus formation on the surface of an inside building components. **Fraunhofer Institute for Building Physics,** 2001.