COMPORTAMENTO HIGROTÉRMICO DE TIJOLO CERÂMICO DE OLARIA DO SUL DO BRASIL

Luciane Andreola Beber (1); Luiza Coutinho Bernardes (2); Jéssica Deise Bersch (3); Liliane Bonadiman Buligon (4); Angela Borges Masuero (5); Eduardo Grala da Cunha (6)
(1) Arquiteta e Urbanista, Mestranda do PROGRAU-UFPEL, luandreolabeber@gmail.com;
(2) Arquiteta e Urbanista, Mestranda do PROGRAU-UFPEL, luizacber@gmail.com;
(4) Engenheira Civil, Mestre do PPGEC-UFSM, libbonadimam@gmail.com;
(6) Arquiteto e Urbanista, Doutor do PROPAR-UFRGS, Professor titular UFPEL, eduardogralacunha@yahoo.com.br;
Universidade Federal de Pelotas, UFPEL, Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, PROGRAU. Rua Benjamin Constant, 1359. Pelotas-RS, Cep: 96010-020. Tel.: (53) 91024127.
(3) Engenheira Civil, Mestre do PPGCI-UFRGS, jessicadbersch@gmail.com;
(5) Engenheira Civil, Doutora do PPGE3M-UFRGS, Professora titular UFRGS, angela.masuero@ufrgs.br;
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura, PPGCI. Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação, NORIE. Av. Osvaldo Aranha, 99, 7º andar. Porto Alegre-RS, Cep: 90035-190, Tel.: (51) 97389423.

RESUMO
A presença de umidade nos edifícios pode ser responsável pelo aparecimento de manifestações patológicas. Através de simulações computacionais, pode-se prever como o material se comportará quando exposto a condições diversas e, para isso, as características higrotérmicas dos elementos de construção são de suma importância. No Brasil, existe uma lacuna nos estudos sobre as propriedades higrotérmicas dos materiais, comprometendo as simulações. Esse artigo apresenta a caracterização das propriedades higrotérmicas do tijolo cerâmico de uma olaria do Sul do Brasil, desenvolvidos junto ao laboratório LAMTAC - NORIE da UFRGS. Foram realizados ensaios de resistência à difusão de vapor de água, absorção de água e isotermas. Os resultados desses ensaios foram simulados no *WUFI Pro* 6.5, a fim de comparar esses dados com os valores disponíveis na base de dados do programa para um tijolo de características similares. Ao analisar o crescimento de fungos filamentosos, notamos uma diferença de 3% em favor dos valores presentes na base de dados, indicando uma maior probabilidade de crescimento. Em relação à condensação superficial, observamos uma diferença máxima de 2,29 °C entre as condições simuladas, constatando uma maior ocorrência ao utilizar os dados dos ensaios, principalmente ao considerar as temperaturas mínimas das superfícies internas das fachadas.

Palavras-chave: desempenho higrotérmico, simulações higrotérmicas, umidade.

ABSTRACT
The presence of moisture in buildings can be responsible for the development of pathological manifestations. Through computer simulations, it is possible to predict how the material will behave when exposed to different conditions and, for this, the hygrothermal characteristics of the construction elements are very important. In Brazil, there is a gap in studies on the hygrothermal properties of materials, which is why simulations are compromised. This article presents the characterization of the hygrothermal properties of ceramic bricks from a brick yard in southern Brazil, carried out at the LAMTAC - NORIE laboratory at UFRGS. Tests of resistance to water vapor diffusion, water absorption and isotherms were performed. The results were simulated in WUFI Pro 6.5, in order to compare these data with the values available in the software database for bricks with similar resources. When analyzing the growth of filamentous fungi, we noticed a difference of 3% in favor of the values present in the database, indicating a greater probability of growth. Regarding surface condensation, we observed a maximum difference of 2.29 °C between the simulated conditions, verifying a greater occurrence when using the test data, mainly when considering the minimum temperatures of the internal surfaces of the facades.

Keywords: hygrothermal performance, hygrothermal simulations, moisture.

1. INTRODUÇÃO

A umidade e a temperatura podem impactar significativamente o desempenho e a durabilidade dos componentes dos edifícios. O termo desempenho higrotérmico refere-se ao transporte de calor e umidade na edificação, sendo de grande importância o seu conhecimento para projetar edificações mais eficientes. As ferramentas de simulação higrotérmica proporcionam diversos benefícios às edificações, tais como a possibilidade de escolha entre diferentes projetos, entender como acontecem os fenômenos de transporte de umidade e calor, além de evitar a ocorrência de condensação e o surgimento de fungos filamentosos (SANTOS, 2018). Por meio dessas ferramentas, é possível realizar uma análise precisa do desempenho higrotérmico nas edificações, considerando a escolha adequada das propriedades dos materiais disponíveis em bancos de dados (ZANONI, 2015; NASCIMENTO, 2016).

No Brasil, a simulação computacional é prejudicada devido à carência de uma base de dados nacionais referentes as propriedades higrotérmicas dos materiais (ZANONI, 2015). Devido à ausência dessas informações na norma de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2021), é relevante a realização de estudos sobre o comportamento higrotérmico de edificações em todo o país, a fim de encontrar soluções e alternativas que resultem em um projeto com desempenho satisfatório permitindo identificar o comportamento da envoltória face as condições climáticas e os seus efeitos no ambiente interno e na durabilidade do sistema construtivo a ser analisado (JORNE, 2010).

As simulações computacionais contribuem na busca de soluções para aprimorar a eficiência energética dos edifícios, sendo uma alternativa viável e que permite analisar como os sistemas construtivos se comportam em diferentes condições climáticas e ambientais (KLEBER, 2018). Ainda, é essencial que os programas de simulação utilizem as propriedades adequadas dos materiais. Isso porque, os problemas relacionados às edificações brasileiras não serão identificados caso sejam utilizadas propriedades internacionais que apresentem um alto desempenho (HENS, 2015). Neste contexto, esse artigo utilizou o programa *WUFI Pro* 6.5, uma ferramenta que realiza simulações de desempenho higrotérmico, com o objetivo de avaliar as condições de umidade nos envelopes de edifícios (SCHMIDT, 2019).

Este estudo apresenta e discute, os diferentes resultados obtidos por meio da simulação higrotérmica comparativa de paredes de tijolo cerâmico utilizando propriedades higrotérmicas da base de dados do software *WUFI Pro* 6.5 e os dados coletados a partir dos ensaios em laboratório. Ainda, através de gráficos, são avaliados o risco de ocorrência de condensação superficial e formação de fungos no interior da edificação. Dessa forma, a importância do estudo se justifica, pelos dados obtidos em laboratório para contribuir na formação de uma base de dados nacional brasileira e destacando sua relevância no contexto do desempenho higrotérmico.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é caracterizar um tijolo cerâmico da região de Pelotas – Rio Grande do Sul (RS) e apresentar um estudo sobre o comportamento higrotérmico de parede cerâmica com os dados do material local e material da base de dados do programa *WUFI Pro* 6.5.

3. MÉTODO

Esse estudo está dividido em três etapas distintas: I Pesquisa das normas disponíveis; II Ensaios em laboratório e, III Simulações computacionais (Figura 1).

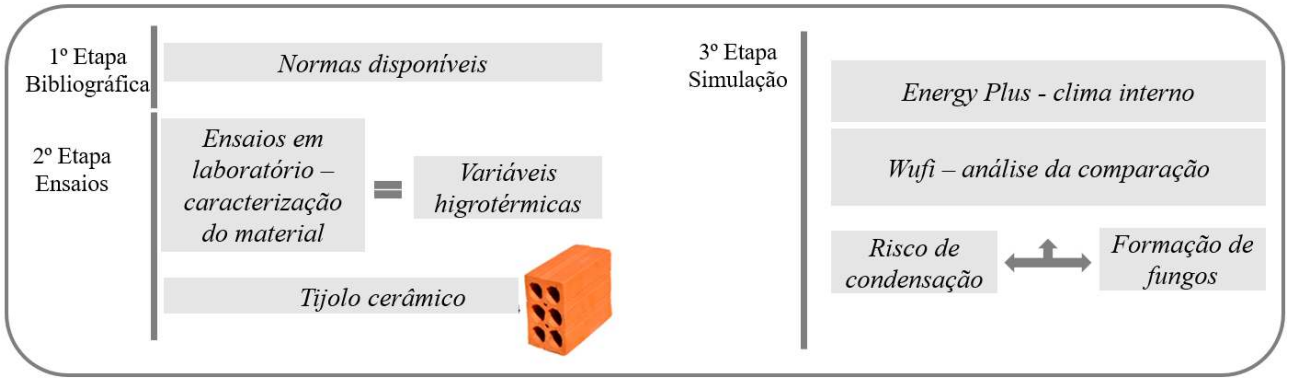

Figura 1: Infográfico do método. Fonte: Autores

3.1 Etapa 1: Pesquisa das Normas disponíveis

A ISO (Organização Internacional de Padronização) embasa a padronização das técnicas de produção brasileiras através da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), promovendo o desenvolvimento tecnológico nacional, uniformizando os processos produtivos, documentos e outros tramites técnicos (STAND, 2023). Com base no critério de igualar e qualificar os produtos, registros e procedimentos, foram escolhidas normativas da ISO para realização dos ensaios em laboratório correspondentes às variáveis higrotérmicas: ISO 12572 (2016) – Desempenho higrotérmico dos materiais de construção e produto – Determinação das propriedades de transmissão de vapor de água, BS EN ISO 15148 (2002) – Determinação do coeficiente de absorção de água por imersão parcial, e BS ISO 24353 (2008) – Determinação das propriedades de adsorção/dessorção de umidade em resposta à variação de umidade.

3.2 Etapa 2: Ensaios em laboratório

Foram realizados os ensaios para a obtenção dos dados higrotérmicos de três variáveis: resistência à difusão de vapor de água, ISO 12572 (2016); absorção de água, BS EN ISO 15148 (2002); e isotermas de adsorção e dessorção, BS ISO 24353 (2008). Essas variáveis foram ensaiadas no Laboratório de Materiais e Tecnologia do Ambiente Construído (LAMTAC – NORIE) da UFGRS, a fim de obter valores nacionais para as simulações. O material escolhido para esse estudo foi um tijolo cerâmico de 6 furos de dimensões 9 cm x 9 cm x 14 cm de uma olaria da região de Pelotas, Sul do Brasil, o qual tem certificação para comercialização. A utilização de tijolos cerâmicos está presente em 82% das edificações do Brasil, segundo a Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílio (PNAD Continua), por se tratar de um material de qualidade e tradicional, justificando a sua escolha como objeto de pesquisa (MORISHITA, 2020; IBGE, 2023).

3.2.1 Resistência à difusão de vapor de água

O ensaio de resistência à difusão de vapor de água foi realizado conforme a ISO 12572 (2016), seguindo metodologia semelhante à adotada por Salomão (2016). Para a realização do ensaio, utilizou-se como suporte das amostras, dentro das câmaras climatizadas, recipientes de vidro de tamanho 10 cm x 10 cm x 15 cm, de forma a manter a largura original do material. A Figura 2 mostra o preparo das amostras, do ambiente de exposição e a execução do ensaio para obtenção dos valores de resistência à difusão de vapor de água dos blocos cerâmicos. Para garantir a distância de 2 cm entre a amostra e o cloreto de cálcio ($CaCl_2$), dessecante, foi necessária a utilização de uma fita dupla face, na cor verde, para que o tijolo cerâmico não entrasse em contato direto com o sal. Dentro dos recipientes, foram dispostas uma camada de 2 cm de cloreto de cálcio ($CaCl_2$) granulado, sobreposta por uma camada de ar de 2 cm e, a amostra de tijolo. O recipiente foi selado no encontro das laterais para garantir a passagem do vapor apenas pelas faces do tijolo. Foram ensaiadas 3 amostras, conforme a ISO 12572 (2016). Após a preparação das amostras, colocou-se as mesmas em uma câmara climatizada com a solução de nitrato de magnésio $(NO_3)_2$ saturado, determinando a umidade relativa da câmara em 85%, correspondente à média da cidade Pelotas-RS. As amostras foram pesadas diariamente no mesmo horário até a estabilização da massa da amostra.



Figura 2: Ensaio de resistência à difusão de vapor de água. Fonte: Autores

3.2.2 Absorção de água

A Figura 3 apresenta a preparação para o ensaio quanto à absorção de água, conforme determina a BS EN ISO 15148 (2002). O ensaio se dá através de imersão parcial em água sem gradiente de temperatura, para determinação do coeficiente de absorção de água líquida a curto prazo. Para realização do ensaio, seis amostras foram preparadas de maneira a obter um total de 300 cm² de área em contato parcial com a água. As faces laterais das amostras foram seladas deixando o topo livre para garantir apenas o contato da face inferior com a água.



Figura 3: Ensaio da absorção de água. Fonte: Autores

Na Figura 4, é demonstrada a execução do ensaio de absorção de água conforme preconiza a BS EN ISO 15148 (2002). As amostras foram dispostas em uma bandeja, e posicionadas com um suporte que proporciona o contato das faces inferiores das amostras com a água. Em seguida, foi adicionado água até a altura de 3 mm a 5 mm da espessura das amostras. As pesagens das amostras foram monitoradas em um intervalo de tempo de 2 duas horas e 50 minutos, período em que houve o aparecimento da água na superfície superior das amostras. Ao final de 8 horas, as amostras estavam encharcadas, sendo encerrado o ensaio, seguindo a orientação da norma.

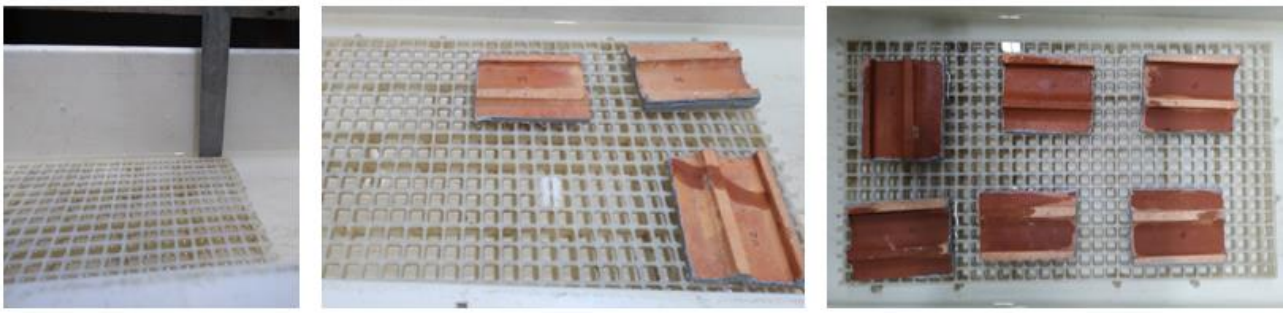

Figura 4: Ensaio da absorção de água. Fonte: Autores

3.2.2 Isotermas de adsorção e dessorção

A Figura 5 apresenta a preparação para o ensaio das isotermas de adsorção e dessorção, conforme a BS ISO 24353 (2008). A isoterma de adsorção é obtida a partir das amostras secas e ocorre através do fenômeno de migração do vapor de água presente no ar para o interior do material. Já a isoterma de dessorção parte das amostras saturadas e ocorre o fenômeno de evaporação da umidade presente no material. Duas amostras foram submetidas a esse processo. Efetuou-se o pré-condicionamento das amostras em câmara com umidade relativa controlada de 60% e temperatura de 23°C e, posteriormente, iniciou-se o ensaio por meio de alternância de exposição em câmaras com umidade relativa controlada de 75% e 50%. As amostras foram seladas com papel alumínio, deixando apenas uma superfície livre.



Figura 5: Ensaio das isotermas de adsorção e dessorção. Fonte: Autores

Destaca-se que para obtenção dos valores das variáveis, é necessário aguardar que os fenômenos físicos e químicos aconteçam. Os valores para os resultados foram obtidos através dos cálculos indicados nas normas.

3.3 Etapa 3: Simulação computacional

Foram utilizados dois programas para as simulações computacionais, *EnergyPlus* 9.0 e *WUFI Pro* 6.5. Os modelos de simulação foram configurados conforme a 1ª versão do projeto de norma ABNT Simulação Computacional do Comportamento Higrotérmico de Paredes - Procedimento, do Grupo de Trabalho (GT) sobre Umidade da Comissão de Eficiência Enérgica da ABNT.

Primeiramente, foi utilizado o programa *EnergyPlus* 9.0 para a criação de um arquivo das condições higrotérmicas internas. Adotou-se uma edificação modelo com base na Diretriz SiNAT N°001 (2017), cujas propriedades térmicas dos materiais foram baseadas na ABNT NBR 15220 (2003), conforme a Tabela 1. Os dados de saída da temperatura e umidade relativa internas foram utilizados para criação de um arquivo para inserção das condições higrotérmicas internas no programa *WUFI Pro* 6.5.

As simulações higrotérmicas foram realizadas no programa *WUFI Pro* 6.5 para o período de 3 anos e somente o último ano foi considerado para a análise dos resultados. Para realizar as simulações comparativas entre os dados coletados nos ensaios e os dados do programa *WUFI Pro* 6.5, foi adotado como critério a escolha de um tijolo cerâmico da base de dados com as características mais próximas possíveis às da norma ABNT NBR 15220 (2003), conforme Tabela 1. Para as condições internas foi utilizado o arquivo criado anteriormente no programa *EnergyPlus* 9.0, e para o clima externo, foi utilizado um arquivo climático para a cidade de Pelotas-RS (LEITZKE *et al*., 2018). A chuva dirigida foi considerada conforme a norma *ASHRAE Standard* 160 (ASHRAE, 2009), segundo Zanoni *et al.* (2018). Para a realização das simulações, foi considerado um edifício com categoria de exposição à chuva média, uma parede por debaixo de um telhado de baixa inclinação e orientação sul. Não foi considerado revestimento nas paredes e não foi considerado o vento nas simulações.

Tabela 1: Características do Tijolo Cerâmico. Fonte: Autores

Características do Tijolo Cerâmico		
Propriedades	**PA Ensaios**	**PA WUFI**
Densidade (Kg/m³)	1138	1138
Porosidade (m³/m³)	0,6	0,6
Calor específico (J/KgK)	920	920
Condutividade térmica (W/mK)	0,9	0,9
Fator de resistência à difusão de vapor de água	3,66	38,86
Valor típico da umidade de construção (Kg/m³)	100	100
Absorção de água (kg/m²s)	0,01915	0,11
Teor de umidade de saturação (kg/m³)	94,21	190
Teor de umidade de referência (kg/m³)	20,46	18

4. RESULTADOS

Como resultados, são apresentados os valores das variáveis higrotérmicas e as simulações no *WUFI Pro* 6.5*,* demonstrando através de gráficos as diferenças comparativas e onde há ocorrência de condensação superficial e a formação de fungos filamentosos. Ainda, é avaliado o impacto que as diferenças dos dados nacionais em relação a dados internacionais geram nos resultados das simulações computacionais.

Na Figura 7, são apresentados os resultados dos ensaios das propriedades higrotérmicas do tijolo cerâmico, e também, os valores utilizados para a simulação computacional a partir do banco de dados do programa *WUFI Pro* 6.5.

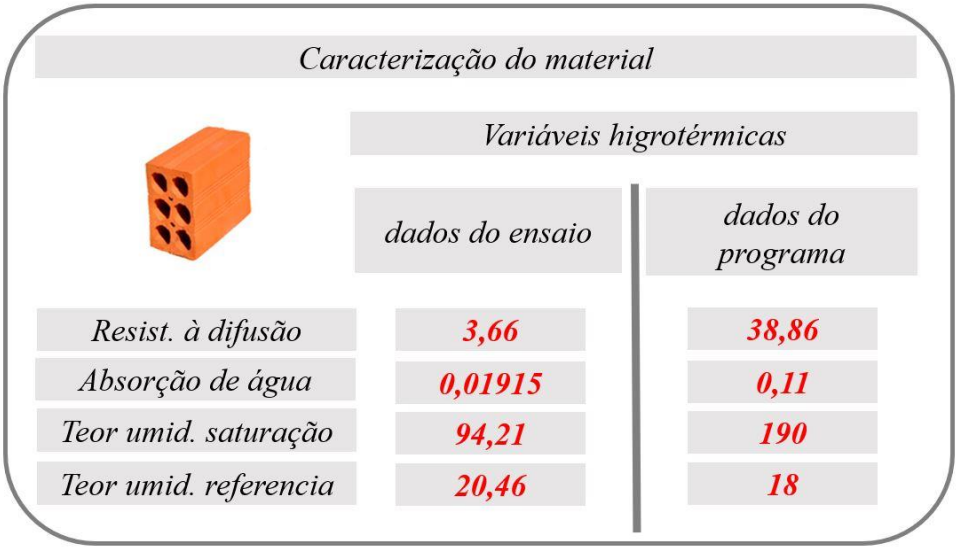

Figura 7: Propriedades higrotérmicas. Fonte: Autores

4.1 RISCO DE CONDENSAÇÃO SUPERFICIAL

As Figuras 8 e 9 ilustram o risco de ocorrência de condensação superficial para os dois casos analisados. Os gráficos apresentam o comportamento da temperatura na superfície interna das paredes simuladas (vermelho), a temperatura do ponto de orvalho (roxo) e a umidade relativa (azul), ao longo do período de simulação, para os sistemas analisados.

Conforme observado nos sistemas, a temperatura da superfície interna se manteve abaixo da temperatura de ponto de orvalho. Entretanto, a umidade relativa final se manteve acima de 80%, o que indica que os sistemas apresentam risco de ocorrência de condensação (SCHMIDT, 2019).

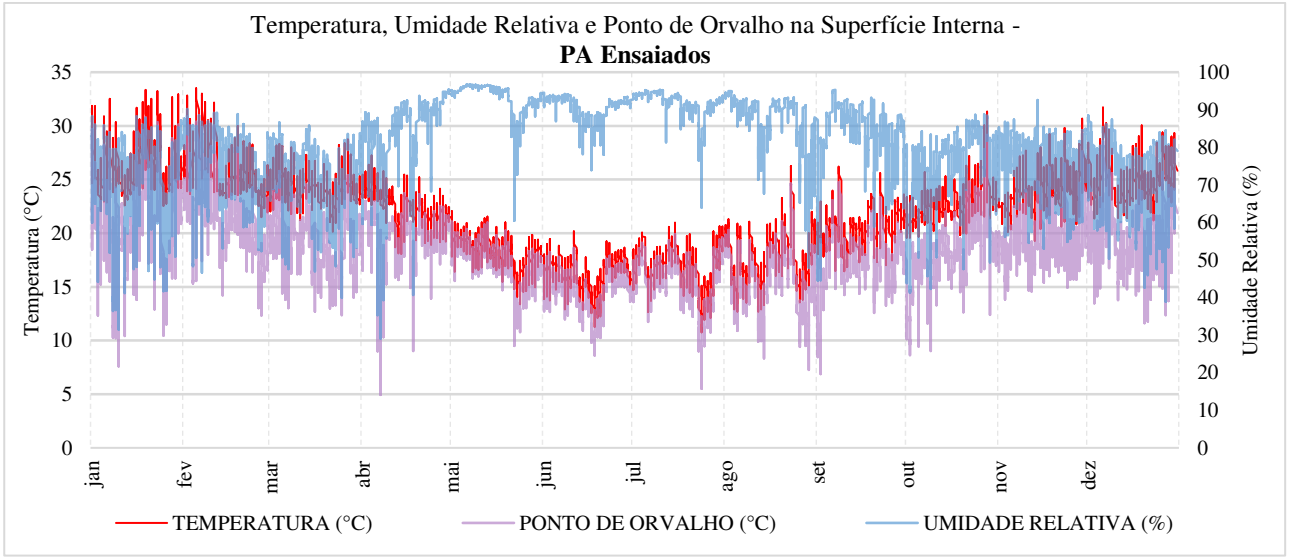

Figura 8: Temperatura, Umidade Relativa e Ponto de Orvalho na Superfície Interna para as simulações utilizando os dados ensaiados (PA Ensaios). Fonte: Autores

Comparando a parede simulada com dados do programa *WUFI Pro* 6.5 (PA WUFI) e a parede com dados obtidos nos ensaios (PA Ensaios), percebeu-se uma similaridade no comportamento durante o período de análise de simulação. Os sistemas apresentaram teores de umidade relativa superiores a 90%, principalmente nos meses correspondentes a temperaturas mais baixas, condição que pode representar um ponto crítico no sistema construtivo.

Foi possível observar, ainda, que a parede simulada com os dados ensaiados (PA Ensaios), apresentou uma variação maior de umidade relativa, além de temperaturas maiores no período de verão e menores no período de inverno. No geral, as paredes apresentaram risco de ocorrência de condensação de vapor com formação de pontos críticos, em que os valores de umidade relativa foram próximos a 100% na superfície interna.

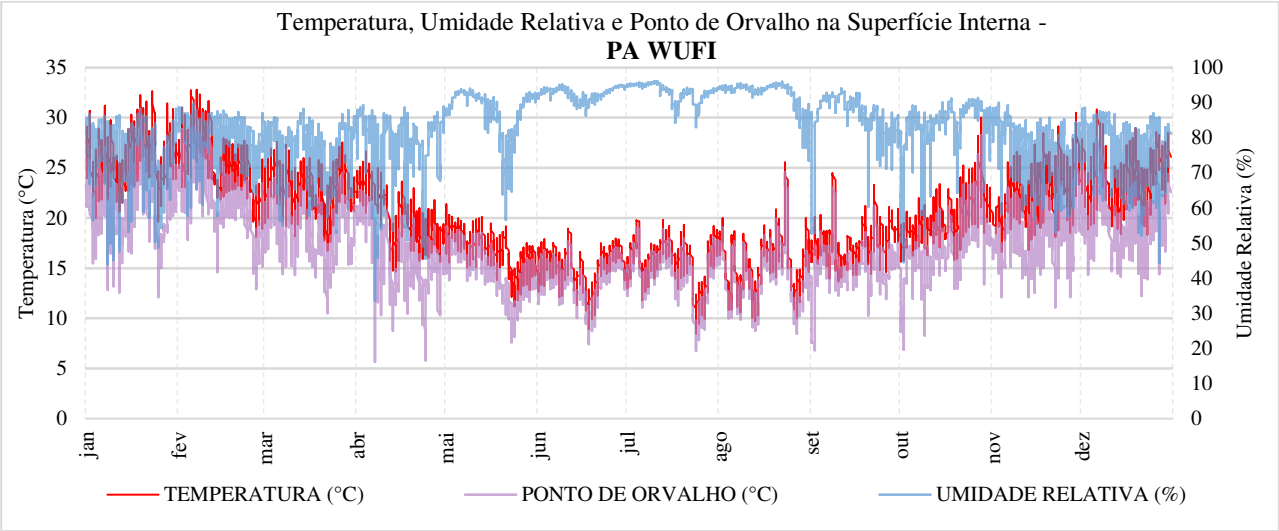

Figura 9: Temperatura, Umidade Relativa e Ponto de Orvalho na Superfície Interna para as simulações utilizando os dados WUFI (PA WUFI). Fonte: Autores

As Figuras 10 e 11, apresentam os dados de temperatura, umidade relativa e temperatura do ponto de orvalho na superfície interna para as simulações no período de inverno. É possível perceber, em ambos os sistemas simulados, que a umidade relativa mais crítica, com valores mais altos, ocorreu, em grande parte, durante o inverno, coincidindo com os meses de temperaturas do ar mais baixas e, portanto, gerando condições mais favoráveis ao crescimento de fungos.

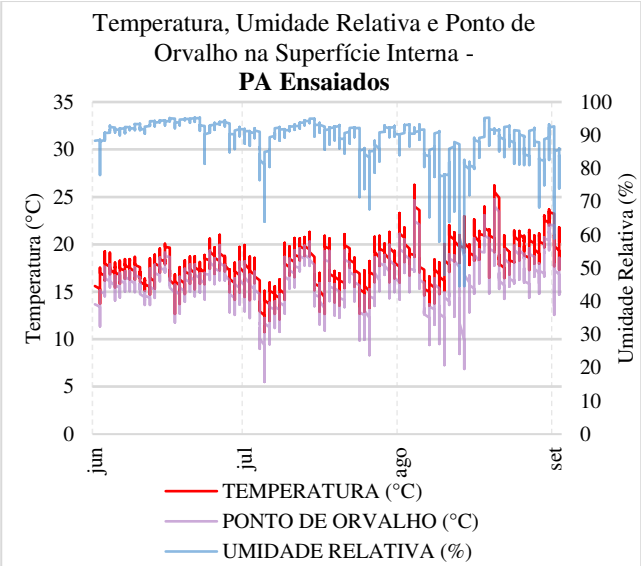

Figura 10: Temperatura, Umidade Relativa e Ponto de Orvalho na Superfície Interna para as simulações utilizando os dados ensaiados (PA Ensaios), no período de inverno. Fonte: Autores

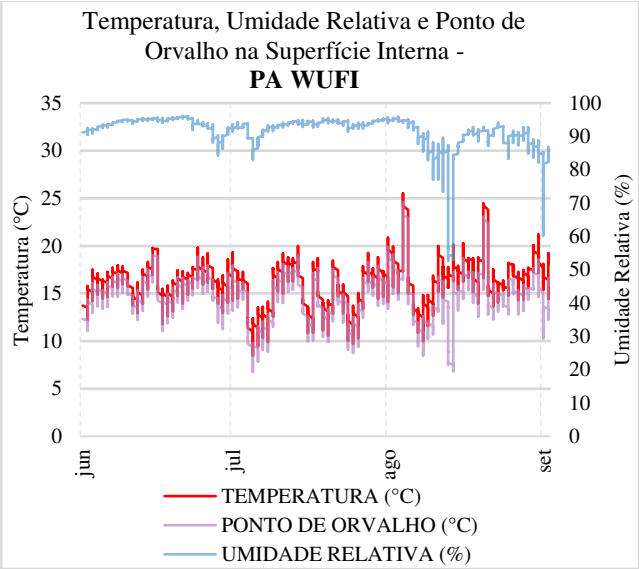

Figura 11: Temperatura, Umidade Relativa e Ponto de Orvalho na Superfície Interna para as simulações utilizando os dados do WUFI (PA WUFI), no período de inverno. Fonte: Autores

4.2 RISCO DE FORMAÇÃO DE FUNGOS

A Figura 12 apresenta o risco de formação de fungos para o sistema construtivo PA WUFI. A nuvem de pontos representa as condições higrotérmicas nas superfícies externa e interna do componente construtivo em um determinado momento. As curvas limitantes (LIM B I e LIM B II) representam os limites aceitáveis para cada tipo de material de construção e a indicação de cor mostra o momento em que cada ponto ocorreu durante a simulação, sendo os amarelos correspondentes ao início do cálculo higrotérmico, seguidos pelos tons de verde e, por fim, pelos pontos de cor preta, que representam o final do cálculo (SCHMIDT, 2019).

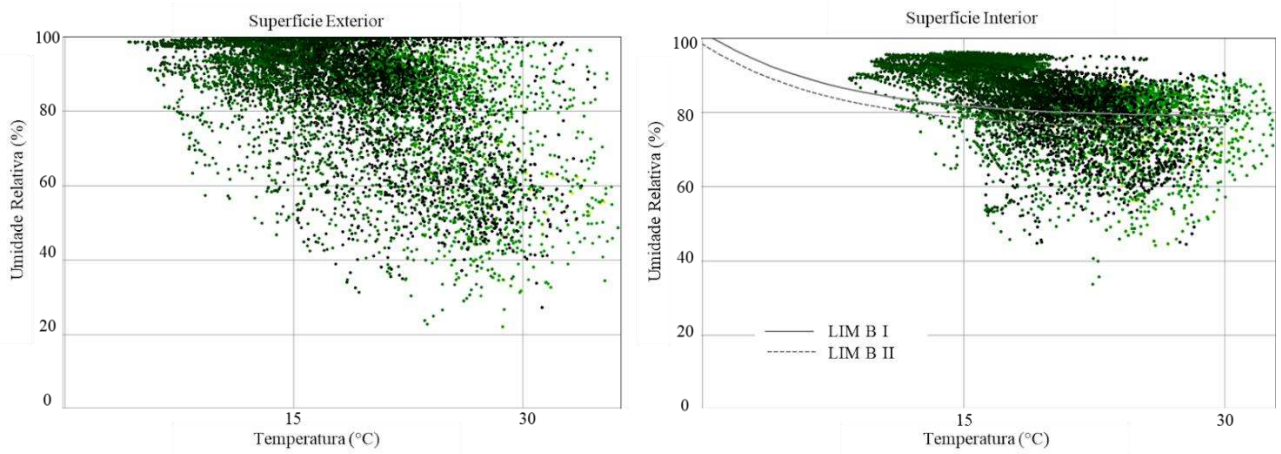

Figura 12: Isopletas nas Superfícies Exterior e Interior para as simulações utilizando os dados do WUFI (PA WUFI). Fonte: Autores

A superfície interior da parede PA WUFI teve a maior concentração da nuvem de pontos compreendida entre 80% e 100% de umidade relativa. O sistema apresentou condições favoráveis para a formação de fungos, especialmente nos períodos intermediário e finais do cálculo higrotérmico. Isso ocorre quando os pontos são posicionados acima da curva limitante (LIM B II), com umidade relativa acima de 80% e temperatura interna superior a 20 °C.

Na Figura 13 são apresentados os gráficos referentes ao risco de formação de fungos da parede PA Ensaios. Tanto a superfície externa quanto a interna apresentaram pontos com condições favoráveis para a formação de fungos filamentosos, principalmente nos períodos intermediário e finais do cálculo higrotérmico, ou seja, com mancha de pontos posicionados acima da curva limitante (LIM B II), com umidade relativa acima de 80% e temperatura interna superior a 20 °C.

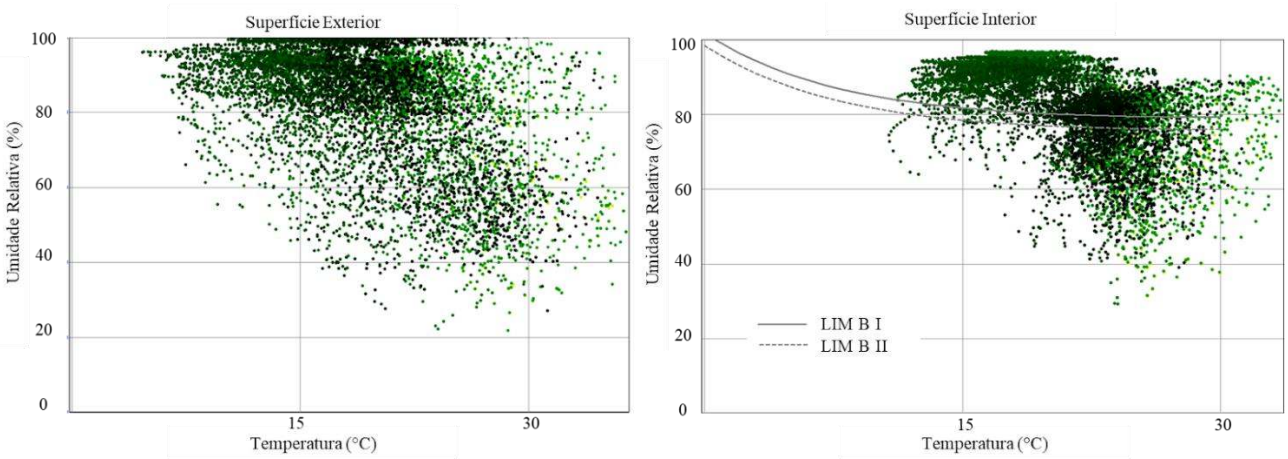

Figura 13: Isopletas nas Superfícies Exterior e Interior dos dados ensaiados (PA Ensaios). Fonte: Autores

Nota-se que as nuvens de pontos referentes às superfícies externas de ambos os sistemas apresentaram umidade relativa de até 100%, indicando condição favorável ao desenvolvimento de fungos, principalmente para a parede PA Ensaios.

Quando avaliados a partir do modelo bio-higrotérmico *(WUFI Bio* 4.0), os dois sistemas apresentaram resultados não aceitáveis para o uso, conforme a Tabela 2. De acordo com essa avaliação, para ser considerada como não aceitável, a superfície da camada mais interna do sistema, em contato com o ar, deve apresentar *Mould Growth* (gm) maior que 176 mm/ano e *Mould Index* (MI) maior que 2, de acordo com o manual do *WUFI Pro* 6.5 (SCHMIDT, 2019). A avaliação pelo modelo bio-higrotérmico confirmou a grande formação de fungos em ambos os sistemas avaliados constatada anteriormente pelo método das isopletas, Figura 12 e Figura 13.

Tabela 2: Mould Growth e Mould Index, *WUFI Bio*. Fonte: Autores

Modelos	**Mould Growth (mm/ano)**	**Mould Index (MI)**	**Avaliação WUFI Bio**
PA ENSAIO	399	4,565	Vermelho: Não aceitável
PA WUFI	424	4,775	Vermelho: Não aceitável

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho avaliou o comportamento higrotérmico de dois cenários de parede de alvenaria considerando diferentes propriedades higrotérmicas. Um dos cenários de simulação contemplou a utilização de dados disponíveis no programa *WUFI Pro* 6.5, e para o outro, fez-se uso de valores obtidos através de ensaios laboratoriais de um tijolo cerâmico. As simulações computacionais foram desenvolvidas com os programas *WUFI Pro* 6.5 e *EnergyPlus* 9.0, para a cidade de Pelotas-RS. Os sistemas foram avaliados quanto ao risco de ocorrência de condensação de vapor e risco de formação de fungos filamentosos.

A partir dos resultados dos ensaios e da simulação computacional, foram verificadas algumas diferenças entre as condições analisadas. No quesito do crescimento de fungos filamentosos, observou-se uma diferença de 3%, utilizando banco de dados do material cerâmico do programa *WUFI Pro* 6.5 (PA WUFI) em comparação ao material cerâmico local testado experimentalmente (PA Ensaios).

Em relação ao risco de ocorrência de condensação superficial, a parede PA Ensaios apresentou o pico de temperatura máxima de 33,51°C, valor maior do que o encontrado na parede PA WUFI, de 32,78°C. A temperatura mínima da parede PA Ensaios foi de 10,76°C, valor superior ao da parede PA WUFI, de 8,47°C, com uma diferença de 2,29°C. Já os valores de umidade relativa apresentaram 0,61% de diferença, com o maior valor na parede PA Ensaios, 96,78%, e o menor na parede PA WUFI, de 96,17%.

A temperatura de ponto de orvalho da parede PA Ensaios atingiu 30,87°C, valor mais próximo à temperatura da superfície do material, que foi de 32,83°C, com diferença de 1,96°C, mas em nenhum momento da simulação a temperatura do ponto de orvalho obteve valores que ultrapassassem a temperatura da superfície. Na parede PA WUFI, a temperatura do ponto de orvalho atingiu 29,69°C, e a temperatura da superfície 32,07°C, com uma diferença de 2,38°C, e, assim como na parede PA Ensaios, em nenhum momento a temperatura do ponto de orvalho obteve valores que ultrapassaram a temperatura da superfície.

Uma limitação importante que possa apontar diferenças na simulação computacional de um material homogêneo é a presença da camada de ar na construção do modelo do tijolo cerâmico nos programas computacionais, pois pode impactar no transporte de umidade no tijolo cerâmico minimizando as diferenças nos resultados.

Sugere-se, como próxima etapa de desenvolvimento da pesquisa, a realização de ensaios das propriedades térmicas dos materiais, assim como um estudo sobre o impacto do clima interno nos resultados das simulações computacionais. Outro fator que não deve ser generalizado, são as condições climáticas de cada região no Brasil, dessa forma seria necessário a realização de ensaios e simulações com valores correspondentes a outras regiões a fim de comparação dos dados. Como também, a realização de ensaios das propriedades higrotérmicas de materiais de diversas regiões brasileiras, para a criação de um banco de dados a nível nacional.

As discussões do presente estudo reforçam a conclusão de que os estudos de caracterização das propriedades higrotérmicas dos materiais de construção nacionais são de suma importância para o entendimento do desempenho dos edifícios, podendo evitar problemas relacionados à umidade e suas patologias. Além disso, é fundamental ressaltar a relevância dos estudos voltados para a criação de uma base de dados higrotérmicos específica dos materiais utilizados nas construções brasileiras, os quais ainda são escassos. Embora os valores obtidos apresentem certa semelhança com a base de dados internacional, essa conclusão só foi possível graças à realização dos ensaios de caracterização dos materiais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira De Normas Técnicas. **NBR 15575:** Edificações Habitacionais – Desempenho térmico de Edificações. Rio de Janeiro, 2021.

_____. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2003.

BS ISO – The British Standard Institution. **ISO 24353**: Hygrothermal performance of building materials and products — Determination of moisture adsorption/desorption properties in response to humidity variation. Bruxelas, 2008.

BS EN – European Committee for Standardization. **EN ISO 15148:** Thermal performance of buildings materials and products — Determination of water absorption coefficient by partial immersion. Bruxelas, 2002.

Hens, H. L. S. C. EBC. **Annex 41 - Whole Building Heat- Air-Moisture Response.** United Kingdom. Disponível em: <https://www.iea.ebc.org/projects/project?AnnexID=41>. Acesso em: 13 de julho de 2022.

Hens, H. L. S. C. Combined heat, air, moisture modelling: A look back, how, of help? **Building and Environment**, v. 91, p. 138-151, 2015.

IBGE, 2023. **PNAD Contínua - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/9171-pesquisa-nacional-por-amostra-de-domicilios-continua-mensal.html>. Acesso: dia 26 de março de 2023.

ISO – International Standard. **ISO 12572:** Hygrothermal performance of building materials and products — Determination of water vapour transmission properties — Cup method. Geneva, 2016.

KLEBER, Davi H. **Análise do Desempenho de Sistemas de Vedação Vertical Externo com diferentes tipos de argamassa, através de simulação higrotérmica para cidade de Porto Alegre**. Monografia (Graduação em Engenharia civil). Departamento de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2018.

LEITZKE, R. K.; BELTRAME, C.; FREITAS, J.; SEIXAS, J.; MACIEL, T.; CUNHA, E.; Rheingantz, P. Optimization of the Traditional Method for Creating a Weather Simulation File: The Pelotas.epw Case. **Journal of Civil Engineering and Architecture**, v. 12, n. 10, 2018.

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.

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

SALOMÃO, Ana Claudia de Freitas. **Estudo da Estrutura das Argamassas de Revestimento e sua Influência nas Propriedades de Transporte de Água.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Brasília. Brasília, 2016.

SANTOS, A. C., OLIVEIRA, L. A., BECERE, O. H., SOUZA, J. C. S**. Análise do desempenho higrotérmico de paredes de fachada por meio de simulação computacional estudos de caso**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17, 2018, Foz do Iguaçu. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2018.

SCHMIDT, T. **WUFI ® Pro 6 Manual**. Fraunhofer IBP, Fraunhofer Institute for Building Physics, 2019.

SINAT, Sistema Nacional de Avaliações Técnicas. **Diretriz SiNAT n°001** – Revisão 03 – Diretriz para Avaliação Técnica de paredes estruturais de concreto moldadas no local. Ministério das Cidades – Secretaria Nacional da Habitação. Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat – PBQP-H. Sistema Nacional de Avaliações Técnicas – SINAT, 2017.

ZANONI, V. A. G. **Influência dos agentes climáticos de degradação no comportamento higrotérmico de fachadas em Brasília.** Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de Brasília, 2015.

ZANONI, V. A. G.; SANCHEZ, J. M. M.; BAUER, E. **Métodos para quantificação de chuva dirigida incidente nas fachadas das edificações.** PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, v. 9, n. 2, p. 122–132, 2018.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES pelo financiamento da pesquisa.