XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8697

Desempenho higrotérmico de sistemas de fachada em Light Steel Framing: uma análise comparativa sob diferentes condições climáticas brasileiras

Hygrothermal Performance of Light Steel Framing Facade Systems: A Comparative Analysis under Different Brazilian Climate Conditions

Resende, Mauricio Marques
FAU-USP | São Paulo | Brasil | mauresende@usp.br
Oliveira, Luciana Alves
IPT | São Paulo | Brasil | luciana@ipt.br
Yonamine, Paula Naomi
POLI-USP | São Paulo | Brasil | paula.naomi@alumni.usp.br
Oliveira, Cláudia Teresinha Andrade
FAU-USP | São Paulo | Brasil | ctap@usp.br

Resumo

O desempenho higrotérmico de sistemas de vedação em Light Steel Framing (LSF) representa um dos principais desafios para sua aplicação em diferentes zonas climáticas brasileiras, especialmente em função da influência da umidade, da chuva dirigida e das condições de uso e ocupação. Este trabalho objetiva avaliar o comportamento higrotérmico de duas configurações de paredes em LSF, submetidas a diferentes condições climáticas, representadas pelas cidades de Recife, São Paulo e Curitiba. As simulações foram realizadas por meio do software WUFI Pro. Os resultados indicam que o desempenho higrotérmico depende fortemente da interação entre sistema construtivo e clima, ou seja, que não se identifica uma solução construtiva universalmente ótima, sendo necessária a adequação das estratégias construtivas às condições climáticas locais.

Palavras-chave: Desempenho higrotérmico. Light Steel Framing. Simulação computacional. Condensação.

Abstract

The hygrothermal performance of Light Steel Framing (LSF) wall systems represents one of the main challenges for their application in different Brazilian climatic zones, especially due to the influence of humidity, driving rain, and land use and occupancy conditions. This work aims to evaluate the hygrothermal behavior of two LSF wall configurations subjected to different climatic conditions, represented by the cities of Recife, São Paulo, and Curitiba. Simulations were performed using WUFI Pro software. The results indicate that hygrothermal performance strongly depends on the interaction between the construction system and climate; that is, there is no universally optimal construction solution, and it is necessary to adapt construction strategies to local climatic conditions.

Keywords: Hygrothermal performance. Light Steel Framing. Computer simulation. Condensation.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8697

INTRODUÇÃO

O crescimento da utilização de sistemas construtivos industrializados, como o Light Steel Framing (LSF), no Brasil tem sido impulsionado pela busca por maior produtividade, controle de qualidade e redução de resíduos na construção civil. Entretanto, o desempenho higrotérmico desses sistemas ainda representa um desafio significativo, especialmente em um país com grande diversidade climática e elevados níveis de umidade em diversas regiões.

A umidade é amplamente reconhecida como um dos principais agentes de degradação das edificações, afetando tanto a durabilidade dos materiais quanto a qualidade do ambiente interno. Entre os principais problemas associados à umidade destacam-se a ocorrência de condensação, a proliferação de fungos filamentosos e a corrosão de componentes metálicos, sendo estes particularmente críticos em sistemas em LSF [1][2][3].

O comportamento higrotérmico das edificações está diretamente relacionado aos fenômenos simultâneos de transferência de calor e umidade nos materiais e componentes construtivos, os quais dependem das propriedades dos materiais, das condições climáticas externas e das condições internas de uso e ocupação [4][5]. Em climas quentes e úmidos, como o de Recife, o principal desafio está associado ao acúmulo de umidade e à baixa capacidade de secagem das envoltórias, enquanto em climas mais frios, como Curitiba, o risco de condensação intersticial se torna mais relevante.

A chuva dirigida pelo vento (Wind-Driven Rain – WDR) é uma das principais fontes de umidade nas fachadas, sendo responsável pela deposição de água nas superfícies verticais, influenciando diretamente o desempenho higrotérmico e a durabilidade das edificações [6][7]. Estudos recentes indicam que, além da chuva dirigida, as condições de ocupação são variáveis sensíveis na análise do comportamento higrotérmico, afetando o teor de umidade e a umidade relativa nos elementos construtivos.

No contexto brasileiro, a norma ABNT NBR 15575 [8] estabelece requisitos de desempenho para edificações habitacionais, porém apresenta limitações quanto à avaliação de fenômenos relacionados ao transporte e armazenamento de umidade em elementos construtivos. Nesse cenário, encontra-se em desenvolvimento o projeto de norma “Simulação Computacional do Comportamento Higrotérmico de Paredes – Procedimento”, que busca padronizar a análise por meio de simulações computacionais em regime transiente.

Ferramentas de simulação higrotérmica, como o WUFI Pro, têm sido amplamente utilizadas para avaliar o comportamento de sistemas construtivos, permitindo a análise de variáveis como temperatura, teor de umidade e umidade relativa ao longo do tempo, considerando efeitos como difusão de vapor, transporte capilar e chuva dirigida.

Este trabalho objetiva avaliar o desempenho higrotérmico de duas configurações de paredes em light steel framing, submetidas a diferentes condições climáticas brasileiras, representadas pelas cidades de Recife, São Paulo e Curitiba, buscando

analisar a influência do sistema construtivo e do clima na ocorrência de condições críticas de umidade e condensação**.**

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O desempenho higrotérmico de sistemas construtivos, amplamente investigado nas últimas décadas, é reconhecido como um fator determinante para a durabilidade, eficiência energética e salubridade das edificações. A presença de umidade em elementos construtivos está associada a diversos mecanismos de degradação, incluindo crescimento microbiológico, perda de desempenho térmico, corrosão de componentes metálicos e apodrecimento de madeira [1][2]. O transporte de umidade em materiais porosos ocorre por mecanismos acoplados de difusão de vapor, transporte capilar e convecção, sendo fortemente influenciado pelas condições de contorno internas e externas [4][5].

A avaliação do comportamento higrotérmico de componentes construtivos tem sido tradicionalmente realizada com base em métodos simplificados, como aqueles apresentados na ISO 13788 [9], que propõem a análise de condensação intersticial em regime estacionário. Entretanto, tais métodos apresentam limitações, uma vez que não consideram fenômenos transientes, armazenamento de umidade e transporte capilar, podendo levar a resultados não representativos do comportamento real das edificações. Como evolução desses métodos, a BS EN 15026 [10] estabelece diretrizes para a simulação higrotérmica em regime transiente, considerando a interação entre transferência de calor e umidade em materiais porosos. Essa abordagem fundamenta o desenvolvimento de ferramentas computacionais como o WUFI Pro, amplamente utilizadas na análise do comportamento higrotérmico de edificações. Adicionalmente, a ASHRAE 160 [11] propõe critérios para avaliação do risco de umidade em edificações, incluindo limites de umidade relativa associados ao crescimento de fungos e degradação de materiais. Esses critérios têm sido utilizados como referência em estudos de desempenho higrotérmico.

Apesar da reconhecida influência da chuva dirigida (WDR) no desempenho higrotérmico e na durabilidade das vedações verticais [12], a sua representação simplificada em modelos computacionais tende a subestimar cargas de umidade e superestimar o potencial de secagem das fachadas [13]. A variabilidade temporal da chuva dirigida influencia fluxos de umidade e perfis de temperatura e umidade relativa em paredes, alterando de forma relevante os resultados das simulações [14].

Nos sistemas leves, como o light steel framing (LSF), o controle da umidade assume papel ainda mais crítico, em face da suscetibilidade à corrosão dos perfis metálicos. Estudos recentes indicam que o comportamento higrotérmico de paredes leves é altamente sensível às condições climáticas e à configuração das camadas construtivas [15]. Liu, Huang e Wang [15] demonstram que sistemas de fachada apresentam comportamentos significativamente distintos quando submetidos a diferentes zonas climáticas, com variações relevantes na taxa de secagem, no acúmulo de umidade e no risco de crescimento de fungos. Esses resultados reforçam a necessidade de análises específicas para cada condição climática e configuração de parede.

Diante dessas limitações, a utilização de ferramentas de simulação higrotérmica em regime transiente tem se consolidado como a abordagem mais adequada para análise do desempenho de sistemas construtivos. Modelos acoplados de transferência de calor e umidade permitem avaliar o comportamento das paredes considerando condições reais de exposição, incluindo efeitos como chuva dirigida, radiação solar e variação das condições internas.

No contexto brasileiro, observa-se um avanço na normalização desses procedimentos, com o desenvolvimento do projeto de norma para simulação computacional do comportamento higrotérmico de paredes [16], que propõe a avaliação baseada na duração de condições críticas, como níveis elevados de umidade relativa, ao invés de critérios pontuais. Estudos recentes têm demonstrado que o comportamento higrotérmico é altamente sensível às condições de contorno, especialmente à combinação entre clima externo e condições internas de ocupação [17].

MÉTODO

A avaliação do desempenho higrotérmico de sistemas de vedação vertical em light steel framing foi realizada por meio de simulação computacional em regime transiente, considerando duas configurações de paredes em light steel framing e condições climáticas da orientação sul de três cidades do Brasil: Recife, São Paulo e Curitiba. As paredes analisadas são compostas por estrutura em perfis de aço galvanizado, fechamento interno em chapas de gesso de 12,5 mm e preenchimento com lã de vidro de 100 mm. As variações entre os sistemas concentram-se na face externa: Sistema 1: revestimento direto sobre chapa externa (Figura 1); Sistema 2: isolamento térmico externo em EPS (Figura 2).

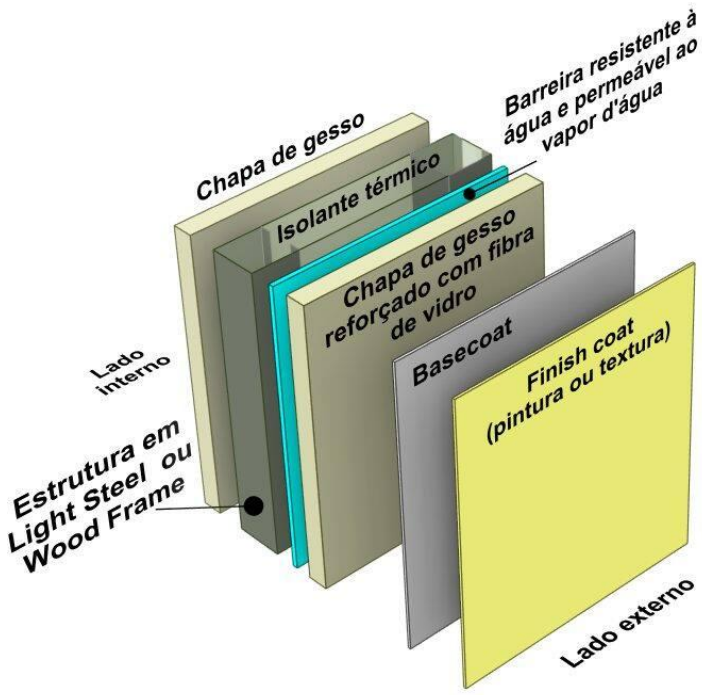
As propriedades de materiais e componentes que compõem essas paredes foram obtidas de ensaios de laboratório e do banco de dados do WUFI Pro e são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Propriedades termofísicas de materiais e componentes

Material	Espessura (m)	Densidade (kg/m^3)	Condutividade térmica [W/(m.K)]	Calor específico [J/(kg.K)]	Absortância solar
Chapa de gesso	0,0125	900	0,35	840	0,3
Isolante (lã de vidro)	0,10	21	0,047	840	0,7
Chapa de gesso reforçado com fibra de vidro	0,0127	798,6	0,19	850	0,3
Basecoat/adesivo	0,004	1441	0,6	850	0,58
Textura acrílica	0,0008	1748	0,93	900	0,3
Poliestireno expandido	0,03	15	0,04	1500	0,3

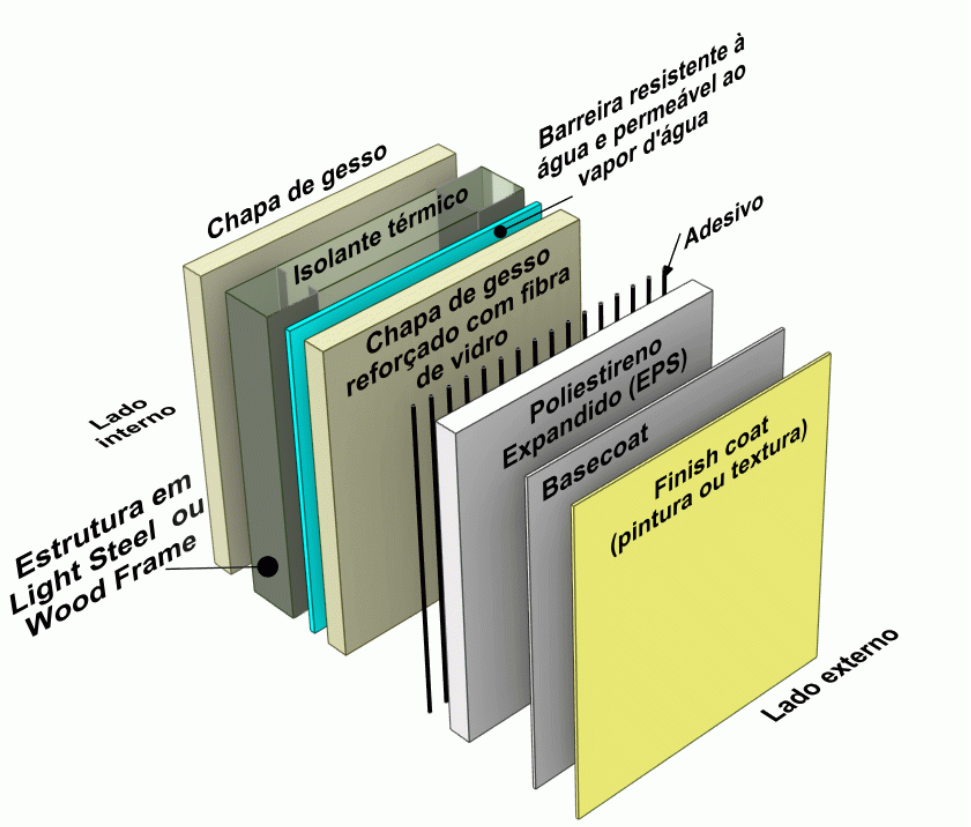
Fonte: os autores

Figura 1: Configuração da seção transversal do sistema 1



Fonte: os autores

Figura 2: Configuração da seção transversal do sistema 2



Fonte: os autores

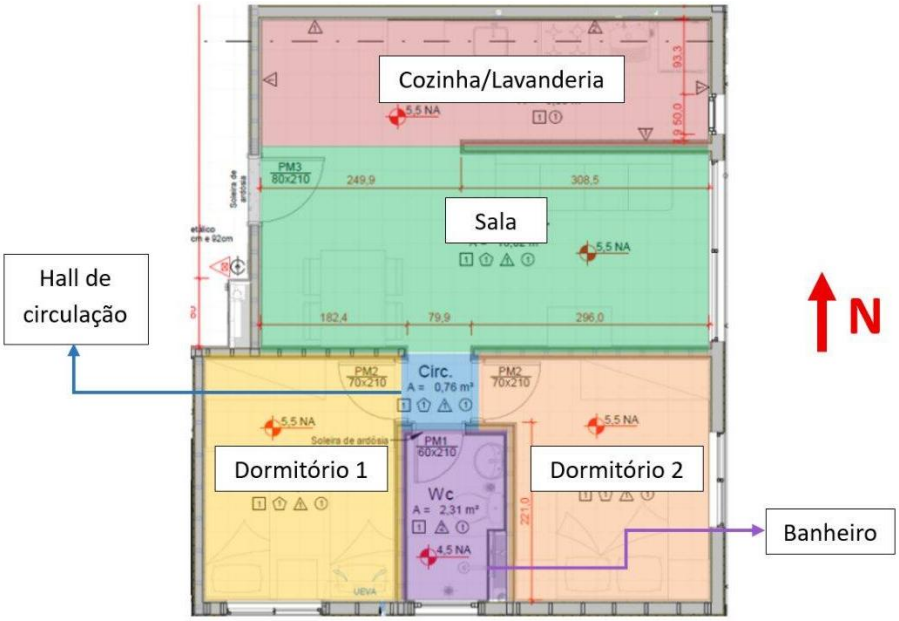
Foram selecionadas três cidades brasileiras pertencentes a diferentes zonas bioclimáticas, conforme ABNT NBR 15220-3 [18]:

- Recife (PE) — Zona 5A - clima quente e úmido;
- São Paulo (SP) — Zona 2M - clima frio com inverno moderado;
- Curitiba (PR) — Zona 1M - clima muito frio com inverno moderado.

Os arquivos climáticos utilizados para geração do clima interno e para posterior simulação do desempenho higrotérmico foram extraídos da base de dados disponível em Climate.OneBuilding.org [19]. Esses arquivos correspondem ao ano meteorológico típico (TMY) do período entre 2009 e 2023 de cada cidade elaborados a partir das informações geridas e fornecidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

As simulações foram realizadas com base no projeto arquitetônico de unidade habitacional (planta do apartamento) localizada no térreo de um edifício de quatro pavimentos, sem edificações vizinhas, considerando a divisão em zonas térmicas e condições características de uso (Figura 3).

Figura 3: Unidade habitacional com a identificação das zonas térmicas



As condições internas de ocupação e cargas térmicas foram definidas com base em [20]. Estes parâmetros desempenham papel fundamental no comportamento higrotérmico das paredes, uma vez que os ocupantes são fonte de calor sensível, influenciando diretamente a temperatura interna do ar, e fonte de geração de vapor, afetando a umidade relativa do ar interno. Essas condições determinam fluxos de vapor entre ambiente interno e parede e alteram a capacidade de secagem do sistema construtivo.

O cômodo selecionado para análise foi o dormitório 2, uma vez que este ambiente é de permanência prolongada. Nele, foi considerada a ocupação por 2 ocupantes das 23h às 8h. Demais fontes de calor e de umidade internas na edificação e a ventilação natural foram modeladas a partir do que é estabelecido em [20]. Além disso, foi

configurada a infiltração de ar por frestas em esquadrias fechadas, conforme coeficientes definidos na ABNT NBR 15575-1[8].

A partir dos valores horários de temperatura e umidade relativa do ar no dormitório 2 provenientes das simulações no EnergyPlus foi elaborado o arquivo climático interno empregado nas simulações higrotérmicas no WUFI Pro.

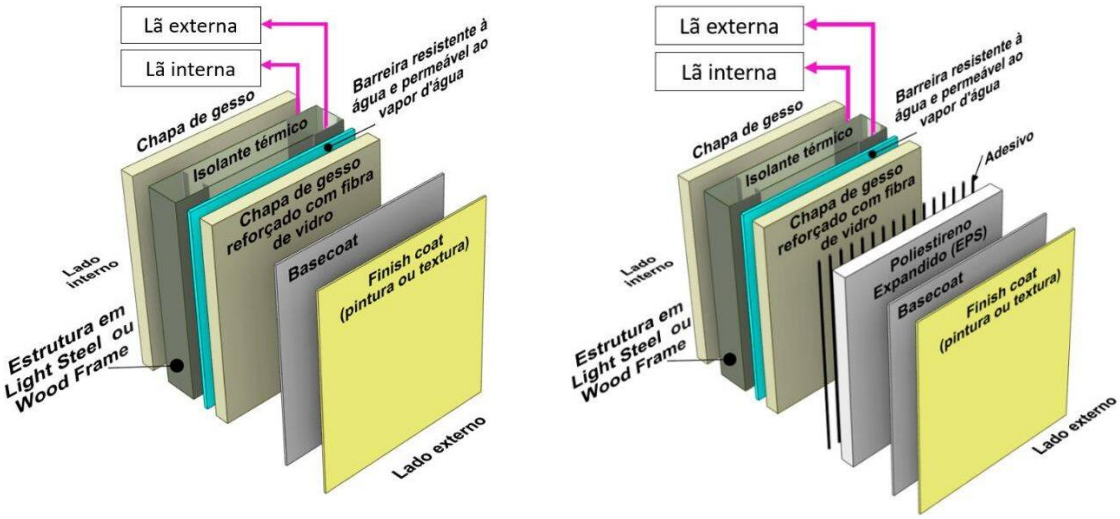
A chuva dirigida foi considerada como uma das principais fontes de umidade nas fachadas. A modelagem seguiu diretrizes do projeto de norma [16], considerando intensidade de precipitação; velocidade do vento; orientação da fachada (sul) e fatores de exposição.

Posteriormente à simulação higrotérmica, foram exportados os dados de umidade relativa e temperatura ao longo do tempo em cada camada da parede externa sem esquadria do dormitório 2, considerando a duração e a frequência de condições críticas. Conforme o projeto de norma, a interpretação dos resultados deve considerar não apenas valores instantâneos, mas, principalmente, o efeito cumulativo no tempo. Portanto, os dados de umidade relativa para análise foram aqueles obtidos no terceiro ano de simulação.

RESULTADOS

A análise foi realizada com base nas médias móveis de 7 dias e 30 dias, permitindo avaliar, respectivamente, a permanência em condições de quase saturação e o acúmulo de umidade ao longo do tempo próximos à interface entre a barreira resistente à água e permeável ao vapor d'água e o isolante térmico (Lã externa), bem como à interface entre o isolante térmico e a chapa de gesso (Lã interna). Esses pontos de análise são apresentados na Figura 4. A Figura 5 apresenta as médias móveis de 7 dias e a Figura 6 apresenta as médias móveis de 30 dias para os dois sistemas e para as três cidades.

Figura 4: Pontos de monitoramento de umidade relativa no sistema 1 (à esquerda) e no sistema 2 (à direita)



DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8697

Figura 5: Médias móveis de 7 dias da umidade relativa no terceiro ano de simulação para os Sistemas 1 e 2 em Curitiba, São Paulo e Recife

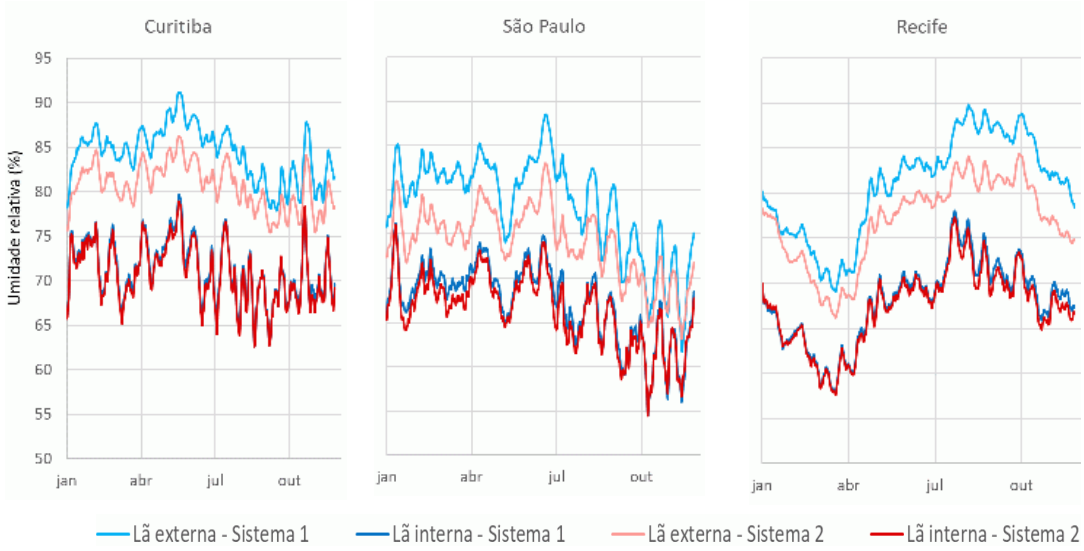
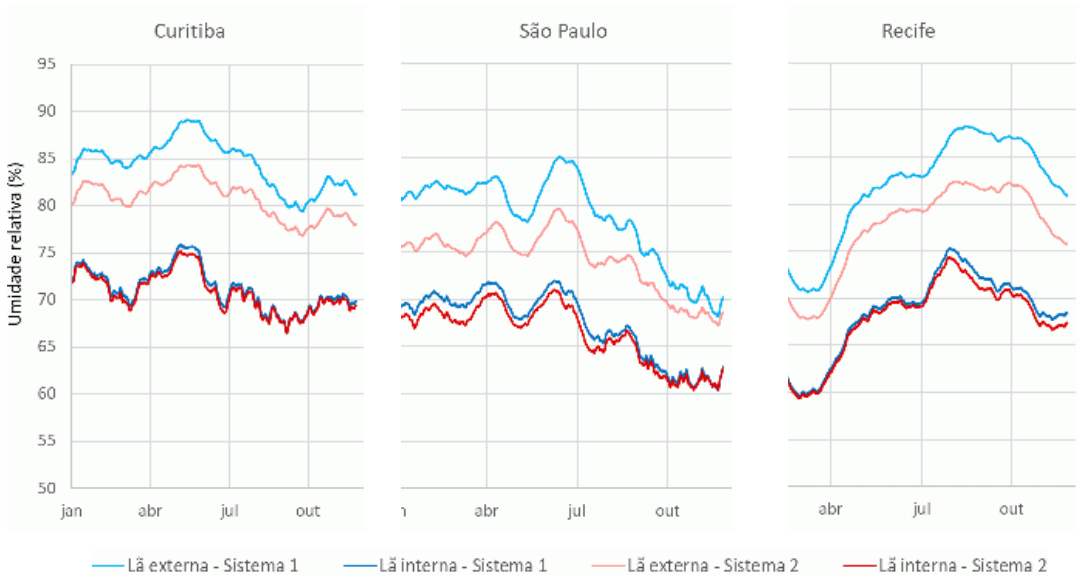


Figura 6: Médias móveis de 30 dias da umidade relativa no terceiro ano de simulação para os Sistemas 1 e 2 em Curitiba, São Paulo e Recife



Analisando as médias móveis de 7 dias, observa-se, para Curitiba, ausência de condições de quase saturação, com valores de umidade relativa inferiores a 90%. Nota-se, entretanto, que o sistema 1 apresenta valores mais elevados, indicando maior permanência de umidade. Em ambos os sistemas, a interface entre o isolante térmico e a barreira resistente à água apresenta valores superiores a 75% ao longo de todo o ano, sendo que, na maior parte do tempo, superiores a 80%. Em São Paulo, observa-se comportamento semelhante ao de Curitiba, porém com menores teores de umidade e menor tempo de permanência acima de 80%, evidenciando a influência das condições climáticas no desempenho higrotérmico. Em Recife, observa-se comportamento mais dinâmico, com maior variabilidade ao longo do tempo, associado às condições de elevada temperatura e umidade. Nos primeiros meses do

ano, a umidade na interface externa apresenta valores inferiores a 80%, chegando a aproximadamente 65%, elevando-se progressivamente até o mês de outubro.

A análise das médias móveis de 30 dias para Curitiba evidencia que a região mais crítica corresponde à interface entre o isolante térmico e a barreira resistente à água, onde se concentram os maiores níveis de umidade relativa. Observa-se que o sistema 1 apresenta valores mais elevados e maior permanência de umidade nessa interface, enquanto o sistema 2 apresenta valores inferiores. Em São Paulo, o comportamento é similar, porém com menores níveis de umidade acumulados ao longo do tempo. Em Recife, observa-se que o sistema 2 também apresenta menores níveis de umidade relativa na interface analisada, indicando menor acúmulo de umidade quando comparado ao sistema 1. Esse comportamento confirma a tendência observada na análise de 7 dias.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados evidenciam que o comportamento higrotérmico dos sistemas analisados não depende exclusivamente das condições climáticas externas, mas também da forma como cada solução construtiva modifica a distribuição de temperatura e umidade no interior da fachada. Nas três cidades analisadas, a interface entre o isolante térmico e a barreira resistente à água e permeável ao vapor d'água apresentou os maiores valores de umidade relativa, caracterizando-se como a região mais crítica do sistema. A maior permanência de umidade observada nessa interface pode ser explicada pela redução da temperatura local em comparação com as camadas internas da parede. Conforme estabelecido pelos princípios de desempenho higrotérmico descritos na ASHRAE 160 [11] e na ISO 13788 [9], a distribuição de temperatura ao longo da envoltória influencia diretamente a umidade relativa nos materiais, podendo favorecer a permanência de elevados níveis de umidade mesmo na ausência de condensação intersticial.

Os resultados também demonstram a forte influência das condições climáticas locais. Em Curitiba, as menores temperaturas reduziram a capacidade de secagem dos sistemas, resultando em maior permanência de umidade ao longo do tempo. Em São Paulo, observou-se comportamento intermediário, enquanto em Recife a maior temperatura favoreceu ciclos mais intensos de secagem, apesar da elevada umidade do ar e da maior exposição à chuva dirigida. Conforme estabelecido pela ISO 15927-3 [21], a chuva dirigida constitui um dos principais mecanismos de umedecimento de fachadas, podendo influenciar significativamente a distribuição de umidade nos sistemas de vedação.

Além da influência climática, os resultados sugerem que a configuração construtiva exerce papel determinante na distribuição de temperatura e umidade ao longo da fachada. Observou-se que o Sistema 2 apresentou menores níveis de umidade relativa na interface crítica analisada em comparação ao Sistema 1, comportamento que pode estar associado à presença do isolamento térmico externo em EPS. A presença do EPS desloca o gradiente térmico para a região mais externa da fachada, elevando a

temperatura das camadas internas do sistema. Como a umidade relativa depende simultaneamente da quantidade de vapor e da temperatura local, o aumento da temperatura nas camadas internas contribui para a redução da umidade relativa observada na interface analisada.

Do ponto de vista prático, os resultados indicam que a escolha dos materiais e da composição das camadas da fachada pode influenciar significativamente o desempenho higrotérmico do sistema. Os resultados obtidos também reforçam a importância da realização de análises higrotérmicas específicas para cada condição climática. Soluções construtivas que apresentam comportamento satisfatório em determinada região podem apresentar desempenho distinto quando submetidas a diferentes combinações de temperatura, umidade relativa e exposição à chuva dirigida, evidenciando a necessidade de avaliações baseadas em dados climáticos representativos das condições locais.

CONCLUSÃO

O estudo demonstrou que o comportamento higrotérmico de sistemas de fachada em Light Steel Framing varia significativamente em função das condições climáticas de exposição, evidenciando a necessidade de avaliações específicas para cada contexto climático. Do ponto de vista prático, os resultados reforçam a importância da incorporação de análises higrotérmicas no processo de projeto e especificação de fachadas. Além do desempenho térmico, a seleção dos materiais deve considerar propriedades higrotérmicas como permeabilidade ao vapor d'água, absorção capilar e capacidade de armazenamento de umidade, uma vez que esses parâmetros influenciam diretamente o comportamento das fachadas ao longo de sua vida útil.

Ressalta-se que os resultados foram obtidos por meio de simulações numéricas realizadas no WUFI Pro, considerando condições ideais de execução, estanqueidade dos sistemas e ausência de infiltrações de ar não controladas entre os ambientes interno e externo. Dessa forma, os resultados representam o comportamento potencial das soluções analisadas, não contemplando falhas construtivas, infiltrações localizadas ou descontinuidades dos materiais. Recomenda-se que estudos futuros aprofundem a avaliação da influência das propriedades higrotérmicas dos componentes e do emprego de cavidades de ar ventiladas, especialmente em fachadas submetidas a elevados índices de chuva dirigida, contribuindo para o aprimoramento do projeto de sistemas Light Steel Framing em condições climáticas brasileiras.

Os resultados obtidos contribuem para a compreensão do comportamento higrotérmico de fachadas em Light Steel Framing sob condições climáticas brasileiras, fornecendo subsídios técnicos para a especificação de sistemas de fachada, o desenvolvimento de critérios de projeto e futuras recomendações normativas para esse sistema construtivo.

DECLARAÇÃO

Os autores declaram que não utilizaram IA generativa nem tecnologias assistidas por IA no processo de preparação do manuscrito.

REFERÊNCIAS

[1] HENRIQUES, F. M. A. **Humidade em paredes**. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1994.

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

[3] STRAUBE, J. F. Moisture in buildings. **ASHRAE Journal**, Atlanta, v. 44, n. 1, p. 15-19, jan. 2002.

[4] MENDES, N. **Modelos para previsão da transferência de calor e umidade em elementos porosos de edificações**. 1997. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

[5] KÜNZEL, H. M. **Simultaneous heat and moisture transport in building components**. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 1995.

[6] BLOCKEN, B.; CARMELIET, J. A review of wind-driven rain research in building science. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 92, n. 13, p. 1079–1130, nov. 2004. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jweia.2004.06.003.

[7] ZANONI, V. A. G. **Agentes de degradação climática e o comportamento higrotérmico de fachadas**. 2015. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

[8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575-1**: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2025.

[9] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 13788**: Hygrothermal performance of building components and building elements – Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation – Calculation methods. Geneva, 2012.

[10] BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS EN 15026**: Hygrothermal performance of building components and building elements – Assessment of moisture transfer by numerical simulation. London, 2023.

[11] ASHRAE. **ANSI/ASHRAE Standard 160**: Criteria for moisture-control design analysis in buildings. Atlanta, 2016.

[12] DEROME, D.; KUBILAY, A.; DEFRAEYE, T.; BLOCKEN, B.; CARMELIET, J. Ten questions concerning modeling of wind-driven rain in the built environment. **Building and Environment**, v. 114, p. 495-506, mar. 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.12.026.

[13] JANSSEN, H.; BLOCKEN, B.; ROELS, S.; CARMELIET, J. Wind-driven rain as a boundary condition for HAM simulations: Analysis of simplified modelling approaches. **Building and Environment**, v. 42, n. 4, p. 1555-1567, abr. 2007. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.001.

[14] HU, X.; ZHANG, H; YU, H. Numerical simulation study on the hygrothermal performance of building exterior walls under dynamic wind-driven rain condition. **Building Simulation**, v. 17, n. 2, p. 207–221, fev. 2024. DOI: https://doi.org/10.1007/s12273-023-1076-3.

[15] LIU, M.; HUANG, L.; WANG, J. Hygrothermal performance of exterior wall assemblies under wind-driven rain across China's thermal zones. **Buildings**, v. 15, n. 22, 4198, nov. 2025. DOI: https://doi.org/10.3390/buildings15224198.

[16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de norma**: Simulação computacional do comportamento higrotérmico de paredes – Procedimento. Rio de Janeiro, 2023.

[17] BERNARDES, L. C. **Impacto da variação das condições de contorno no projeto de norma ABNT de simulação de transporte de umidade**. 2024. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2024.

[18] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático por desempenho. Rio de Janeiro, 2024.

[19] LAWRIE, L. K.; CRAWLEY, D, B. **Development of Global Typical Meteorological Years (TMYx)**. 2022. Disponível em: https://climate.onebuilding.org. Acesso em: 24 set. 2025.

[20] BRASIL. Ministério das Cidades. **Sistema Nacional de Avaliação Técnica (SiNAT): Protocolo de avaliação de desempenho térmico de sistemas construtivos para habitações por simulações computacionais – revisão -1**. Brasília, 2025.

[21] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 15927-3**: Hygrothermal performance of buildings — Calculation and presentation of climatic data — Part 3: Calculation of a driving rain index for vertical surfaces from hourly wind and rain data. Geneva, 2009.