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.v21i1.8474

Comparação de abordagens computacionais na avaliação higrotérmica de paredes de concreto moldado in loco

Comparison of computational approaches in hygrothermal evaluation of cast-in-place concrete walls

Marta Baltar Alves
UFPEL - UCS | Caxias do Sul | Brasil | mbalves3@ucs.br
Luciane Andreola Beber
UFPEL| Pelotas | Brasil | luandreolabeber@gmail.com
Carolina de Mesquita Duarte
UFPEL| Pelotas | Brasil | carolinademesquitaduarte@hotmail.com
Stifany Knop
UFPEL - UCPEL | Pelotas | Brasil | stifany.knop@ucpel.edu.br
Eduardo Grala da Cunha
UFPEL | Pelotas | Brasil | eduardogralacunha@yahoo.com.br
Nathan Mendes
PUCRS| Curitiba | Brasil | nathan.mendes@pucpr.br
Lais Zucchetti
UFRGS | Porto Alegre| Brasil | laiszuchetti@gmail.com

Resumo

Este estudo compara simulações higrotérmicas nos softwares EnergyPlus e WUFI-Pro em paredes de concreto para habitações de interesse social em Pelotas/RS (ZB 2R). Avaliou-se temperatura e umidade interna de dois sistemas: concreto simples e com isolamento em EPS. Resultados mostram convergência térmica, mas divergências na umidade; o WUFI-Pro foi mais estável que o EnergyPlus. O EPS reduziu drasticamente o risco de fungos, elevando a temperatura superficial. Conclui-se que, embora ambos sejam eficazes para análises térmicas, o detalhamento higrotérmico exige ferramentas com modelagem de umidade robusta, dada a simplificação do modelo HAMT no EnergyPlus.

Palavras-chave: Umidade. Simulação higrotérmica. Paredes de concreto. Fungos. Software.

Abstract

This study compares hygrothermal simulations using EnergyPlus and WUFI-Pro software for concrete walls in social housing in Pelotas/RS (BZ 2R). Internal temperature and moisture levels were evaluated for two systems: plain concrete and concrete with EPS insulation . Results show thermal convergence but significant moisture divergence; WUFI-Pro proved more stable than EnergyPlus. EPS insulation drastically reduced mold risk by increasing internal surface temperatures. It is concluded that while both tools are effective for thermal analysis, detailed hygrothermal assessment requires software with robust moisture modeling, given the simplification of the HAMT model in EnergyPlus.

Keywords: Moisture. Hygrothermal simulation. Concrete walls. Mold. Software.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8474

INTRODUÇÃO

A umidade nas edificações é reconhecida como fator responsável pela degradação dos materiais construtivos, pela redução do desempenho térmico e pelo comprometimento da qualidade do ar interior. A presença de umidade favorece o desenvolvimento de patologias construtivas e impacta as condições de conforto ambiental em edificações habitacionais [1]. Além disso, a umidade altera propriedades físicas dos materiais, como a condutividade térmica, reduzindo a eficiência do isolamento e influenciando o desempenho energético das edificações [2].

Nesse contexto, a consideração do transporte acoplado de calor e umidade tem se mostrado fundamental para a avaliação do comportamento higrotérmico da envoltória. Modelos integrados permitem análises mais precisas, pois a umidade acumulada influencia o desempenho térmico, a durabilidade e a ocorrência de condensações superficiais e intersticiais [3]. Essas condições favorecem o desenvolvimento de fungos e mofo, comprometendo a qualidade do ar interior e podendo afetar a saúde dos ocupantes, especialmente em climas frios e úmidos [4][5].

No Brasil, as habitações de interesse social (HIS) utilizam predominantemente sistemas construtivos baseados em paredes de concreto moldado in loco, devido à sua eficiência produtiva e redução de custos. No entanto, esse sistema apresenta limitações quanto ao desempenho térmico e higrotérmico, especialmente quando não associado a estratégias de isolamento térmico [6][7]. A elevada condutividade térmica e a baixa capacidade de regulação higroscópica do concreto podem favorecer a formação de zonas frias e aumentar o risco de condensação superficial, principalmente em climas úmidos.

A atualização da ABNT NBR 15575 ampliou os requisitos de avaliação térmica das edificações e reforçou o uso de simulação computacional. Contudo, a norma ainda apresenta limitações quanto à consideração integrada do transporte de umidade, mantendo foco predominante em parâmetros térmicos [8]. Dessa forma, a simulação computacional tem se consolidado como ferramenta essencial para análises mais abrangentes do desempenho higrotérmico.

Nesse cenário, destacam-se ferramentas como o EnergyPlus e o WUFI-Pro. O EnergyPlus é amplamente utilizado para simulação termoenergética de edificações, permitindo a análise de cargas térmicas e condições ambientais internas. Por outro lado, o WUFI-Pro é especializado na simulação higrotérmica, com capacidade de modelar o transporte acoplado de calor e umidade nos materiais [9]. Estudos recentes indicam que a utilização conjunta dessas ferramentas permite identificar diferenças decorrentes das distintas abordagens matemáticas adotadas [10].

Diante disso, o presente estudo tem como objetivo comparar os resultados de simulações higrotérmicas obtidos por meio dessas duas abordagens computacionais, aplicadas a paredes de concreto moldado in loco em habitações de interesse social localizadas em Pelotas/RS (Zona Bioclimática 2R). A análise concentra-se no comportamento da temperatura e da umidade na superfície interna da parede

orientada a Sul, buscando compreender as convergências e divergências entre os modelos e suas implicações para o desempenho higrotérmico das edificações.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

UMIDADE NAS EDIFICAÇÕES E IMPACTOS NO DESEMPENHO

A umidade nas edificações pode manifestar-se por diferentes mecanismos físicos, como difusão de vapor, transporte capilar, infiltração de água de chuva e condensação superficial ou intersticial, descrita na literatura da física das edificações [11][12]. A presença contínua de umidade influencia o desempenho dos elementos construtivos, pois o acúmulo de água líquida ou vapor altera propriedades térmicas, mecânicas e de durabilidade dos materiais [13] [14].

Estudos indicam que a umidade aumenta a condutividade térmica dos materiais e reduz sua resistência térmica efetiva, comprometendo o desempenho energético das edificações [12][15]. Além disso, a umidade persistente está associada à intensificação de manifestações patológicas e ao aumento dos custos de manutenção [16][17].

Em climas úmidos e em sistemas com elevada massa térmica, como paredes de concreto, a dificuldade de secagem intensifica o acúmulo de umidade, afetando o conforto térmico e o comportamento higrotérmico [18][19]. A ausência de controle adequado pode resultar na formação de zonas frias, favorecendo a condensação superficial e intersticial [12].

Além dos impactos construtivos, a elevada umidade relativa interna favorece o crescimento de fungos e bolores, comprometendo a qualidade do ar e a saúde dos ocupantes [20][21]. Esse cenário reforça a necessidade de análises que considerem o comportamento higrotérmico de forma integrada.

PAREDES DE CONCRETO MOLDADO IN LOCO EM HIS

No Brasil, as habitações de interesse social (HIS) utilizam amplamente paredes de concreto moldado in loco, devido à rapidez construtiva, redução de custos e padronização dos processos [6]. Esse sistema é altamente eficiente do ponto de vista produtivo, sendo amplamente empregado em programas habitacionais de larga escala.

Entretanto, pesquisas indicam que esse tipo de vedação apresenta limitações quanto ao desempenho térmico e higrotérmico, especialmente quando não associado a soluções de isolamento [22]. O concreto possui elevada condutividade térmica e baixa capacidade de regulação higroscópica, o que favorece maiores amplitudes térmicas e a formação de zonas frias na superfície interna.

Essas condições aumentam o risco de condensação superficial, especialmente em climas úmidos, impactando negativamente o conforto térmico e a durabilidade dos sistemas construtivos.

ISOLAMENTO TÉRMICO COM EPS

Diante das limitações do concreto, o uso de isolamento térmico externo, como o poliestireno expandido (EPS), tem sido amplamente estudado como estratégia de melhoria do desempenho higrotérmico. O EPS apresenta baixa condutividade térmica, atuando como barreira ao fluxo de calor e reduzindo as trocas térmicas entre interior e exterior.

Estudos demonstram que a inclusão do EPS contribui para a estabilização das temperaturas superficiais internas e para a redução da variabilidade higrométrica [23]. Além disso, a presença do isolamento reduz a permanência das superfícies em condições críticas de umidade, diminuindo o risco de condensação e de crescimento de fungos.

Pesquisas recentes também indicam que a espessura e a posição do isolamento influenciam diretamente o comportamento higrotérmico, alterando gradientes térmicos e níveis de umidade nas paredes [24]. Dessa forma, o EPS se apresenta como solução relevante para melhorar o desempenho das edificações, especialmente em climas frios e úmidos.

SIMULAÇÃO HIGROTÉRMICA: ENERGYPLUS E WUFI-PRO

A simulação computacional tem se consolidado como ferramenta essencial para a avaliação do desempenho higrotérmico das edificações. O EnergyPlus é amplamente utilizado para simulações termoenergéticas, permitindo a análise de cargas térmicas, consumo energético e condições ambientais internas [25][26]. Contudo, sua abordagem para a umidade é simplificada, não representando de forma detalhada o transporte de umidade nos materiais.

Por outro lado, o WUFI-Pro foi desenvolvido especificamente para a simulação higrotérmica, sendo capaz de modelar o transporte acoplado de calor e umidade, considerando fenômenos como difusão de vapor, transporte capilar e armazenamento higroscópico [18]. Essa abordagem permite análises mais detalhadas, incluindo a avaliação do risco de condensação e de crescimento de fungos.

A literatura destaca que as diferenças conceituais entre os programas podem resultar em divergências nos resultados, especialmente na análise da umidade [7][23]. Enquanto ferramentas termoenergéticas podem subestimar fenômenos higrotérmicos, modelos mais completos fornecem representações mais realistas do comportamento das paredes [24].

Nesse contexto, a comparação entre diferentes ferramentas de simulação é fundamental para compreender suas limitações e potencialidades, contribuindo para uma interpretação mais crítica dos resultados e para a aplicação mais adequada dessas ferramentas na avaliação do desempenho higrotérmico de edificações.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8474

MÉTODO DA PESQUISA

A pesquisa possui caráter exploratório e comparativo, com foco na avaliação do desempenho higrotérmico por meio de duas abordagens computacionais distintas. Foram utilizados os softwares EnergyPlus e WUFI-Pro, buscando garantir a comparabilidade entre os modelos com a adoção de condições do envelope, propriedades dos materiais e parâmetros de uso equivalentes.

E portando esta pesquisa foi desenvolvida em quatro etapas: escolha do local de estudo; caracterização da edificação; configuração e simulação dos modelos nos softwares e por fim análise de resultados.

LOCALIZAÇÃO E ZONA BIOCLIMÁTICA

O estudo foi desenvolvido considerando o município de Pelotas, localizado na região sul do estado do Rio Grande do Sul (31°46’ S; 52°20’ W), com altitude aproximada de 7 m. Inserido em uma planície costeira e sob influência da Lagoa dos Patos e do Oceano Atlântico, o município apresenta elevada umidade relativa e baixa amplitude térmica diária [27].

De acordo com [28], Pelotas está inserida na Zona Bioclimática 2R (Figura 1), caracterizada por clima frio e inverno rigoroso, condição que intensifica a relevância das análises higrotérmicas.

Figura 1: Mapa da localização da Zona Bioclimática 2R



Fonte: ABNT NBR 15220-3/2024, adaptada pelos autores.

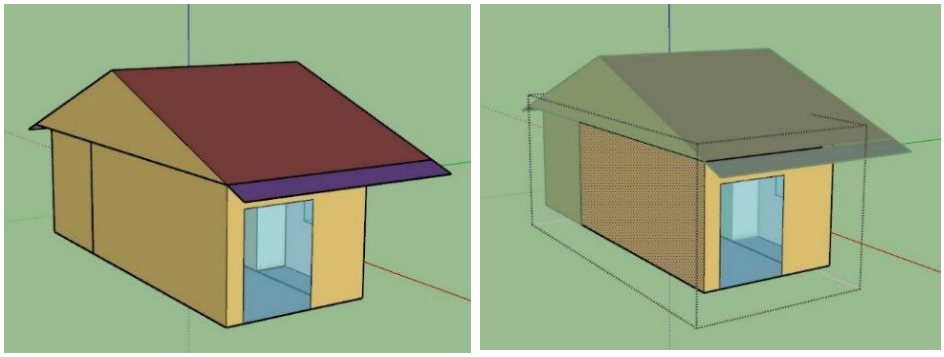
CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO

O objeto de estudo consiste em uma habitação unifamiliar térrea, com área de 40,48 m² e pé-direito de 2,70 m. A edificação é composta por sala e cozinha integradas, dois dormitórios, banheiro e área de serviço.

A análise concentrou-se na parede Sul da sala/cozinha, devido à sua maior suscetibilidade a condições críticas de temperatura e umidade. O modelo (Figura 2) foi baseado na unidade habitacional padrão da NBR 15575-1, com paredes de concreto

moldado in loco de 10 cm de espessura, cobertura de fibrocimento e ventilação natural constante [29].

Figura 2: Modelo tridimensional da habitação e identificação da parede orientada a Sul



Fonte: os autores - imagem gerada do SketchUp Make 2017.

Foram definidos dois sistemas de paredes externas representativos de habitações de interesse social no Sul do Brasil, simulados no EnergyPlus 22.1.0 e no WUFI-Pro 7.1.0 com as mesmas propriedades físicas e higrotérmicas. O primeiro consiste em uma parede de concreto moldado in loco de 10 cm, com revestimentos internos e externos, caracterizada por alta densidade e baixa permeabilidade ao vapor. O segundo mantém essa configuração, adicionando isolamento térmico externo em EPS, material de baixa condutividade térmica que atua como barreira ao fluxo de calor, contribuindo para a melhoria do desempenho higrotérmico da envoltória.

CONFIGURAÇÃO NO ENERGYPLUS

A modelagem foi realizada no SketchUp Make 2017, com o plugin Legacy OpenStudio, e simulada no EnergyPlus 22.1.0. Foram adotados parâmetros de uso conforme a NBR 15575-1, com ventilação natural e temperatura interna inicial de 19 °C. As propriedades térmicas e higroscópicas dos materiais (Tabela 1) foram obtidas com base em dados compatíveis com o WUFI-Pro, conforme metodologia de [30].

Os resultados analisados incluíram temperatura superficial interna e umidade relativa. A umidade próxima à superfície foi determinada por formulação específica, conforme [31].

Tabela 1: Propriedades térmicas e higrotérmicas dos materiais utilizados nas simulações

Material	Espessura (m)	Condutividade (W/m·K)	Densidade (kg/m³)	Calor Específico (J/kg·K)
Reboco Interno Cimento	0,015	1,00	1800	1000
Piso Cerâmico (Azulejo)	0,01	0,065	400	1500
Concreto (Piso)	0,05	2,00	2400	1000
Telha Cerâmica	0,015	1,30	2300	1000
Madeira (Portas)	0,04	0,18	700	1600
Reboco Externo Cimento	0,025	1,00	1800	1000
Laje de Concreto	0,10	2,00	2400	1000
Parede Externa de Concreto	0,10	2,00	2400	1000
Parede Interna de Concreto	0,10	2,00	2400	1000
Forro de Gesso	0,02	0,30	900	1000
Piso Vinílico (Plástico)	0,0125	0,25	1700	1400
EPS Classe 4	0,03	0,038	18	1420

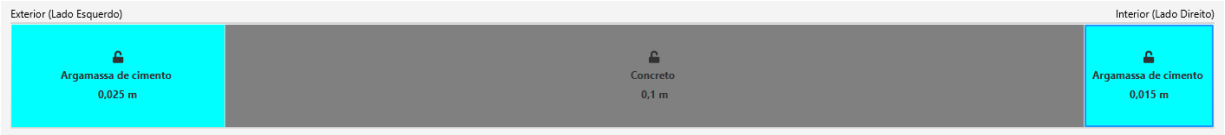
Fonte: os autores.

CONFIGURAÇÃO NO WUFI-PRO

As simulações higrotérmicas foram realizadas no WUFI-Pro 7.1.0, com foco na análise do transporte acoplado de calor e umidade na parede Sul. Os resultados obtidos incluíram temperatura superficial interna e teor de umidade, permitindo a avaliação das condições higrométricas da envoltória. O risco de crescimento de fungos foi analisado por meio de diagramas de isopletas, comparando os resultados simulados com limites críticos de desenvolvimento fúngico.

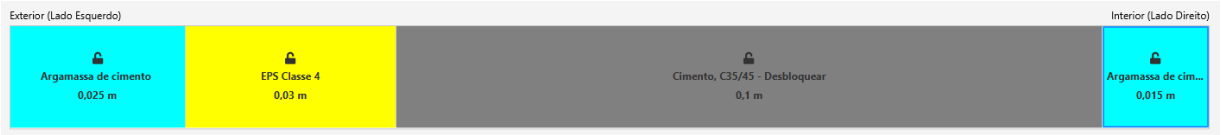
A utilização combinada do EnergyPlus e do WUFI-Pro permitiu uma abordagem integrada, possibilitando a compatibilização entre condições internas e comportamento higrotérmico dos materiais. Essa estratégia contribuiu para uma avaliação mais consistente do desempenho da envoltória e do risco de proliferação de fungos em climas frios e úmidos. Os sistemas construtivos analisados foram modelados conforme apresentado nas Figuras 4 e 5.

Figura 4: Modelo concreto referência – parede 1



Fonte: os autores, obtido pela simulação WUFI-Pro 7.1.0

Figura 5: Modelo concreto com EPS – parede 2



Fonte: os autores, obtido pela simulação WUFI-Pro 7.1.0

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados das simulações são apresentados separadamente para cada programa, por meio de gráficos específicos, permitindo análise inicial da temperatura superficial

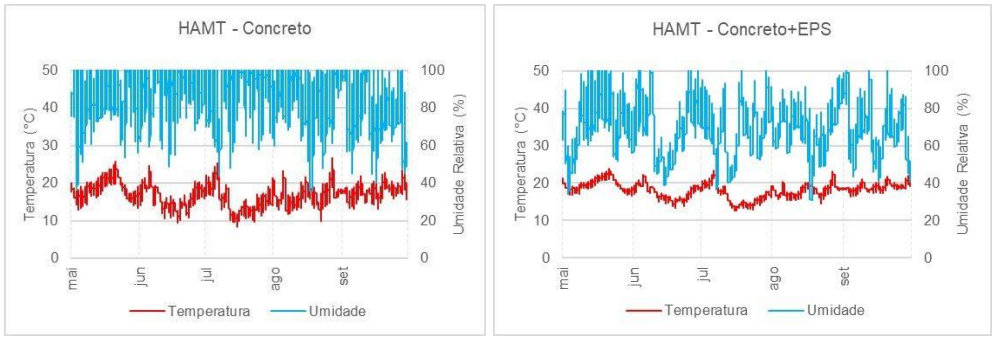
interna, da umidade e do potencial de proliferação de fungos filamentosos. Posteriormente, realiza-se uma análise comparativa entre os modelos, buscando identificar convergências e divergências e compreender suas implicações no desempenho higrotérmico dos sistemas construtivos.

RESULTADOS ENERGYPLUS

A análise dos resultados obtidos pelo EnergyPlus para o período entre maio e setembro evidencia diferenças significativas entre os sistemas analisados. No sistema de concreto sem isolamento, observa-se maior amplitude térmica, com quedas mais acentuadas de temperatura durante o inverno, além de elevada variabilidade da umidade relativa, frequentemente atingindo valores elevados. Por outro lado, o sistema com isolamento térmico em EPS apresenta comportamento mais estável, com menor variação da temperatura superficial interna e redução das oscilações da umidade relativa. Esse efeito indica maior capacidade de amortecimento térmico e higrométrico, promovendo condições internas mais estáveis.

Os resultados apresentados na Figura 6 demonstram que a incorporação do EPS contribui para a melhoria do desempenho higrotérmico da envoltória, reduzindo a variabilidade ambiental interna e mitigando riscos associados à condensação superficial e ao desenvolvimento de patologias relacionadas à umidade.

Figura 6: Comparação dos resultados de temperatura e umidade – EnergyPlus (HAMT)

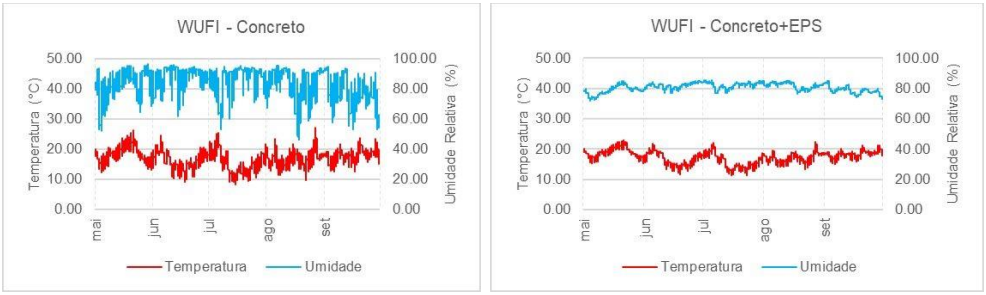


Fonte: os autores.

RESULTADOS WUFI-PRO

Os resultados obtidos no WUFI-Pro, Figura 7, apresentam comportamento semelhante em termos gerais, porém com maior detalhamento na análise higrotérmica. No sistema de concreto sem isolamento, observa-se elevada variabilidade térmica e níveis de umidade relativa persistentemente altos, indicando baixa capacidade de amortecimento das condições externas. Em contraste, o sistema com EPS apresenta temperaturas mais estáveis e menor variabilidade da umidade relativa, evidenciando um comportamento higrotérmico mais equilibrado.

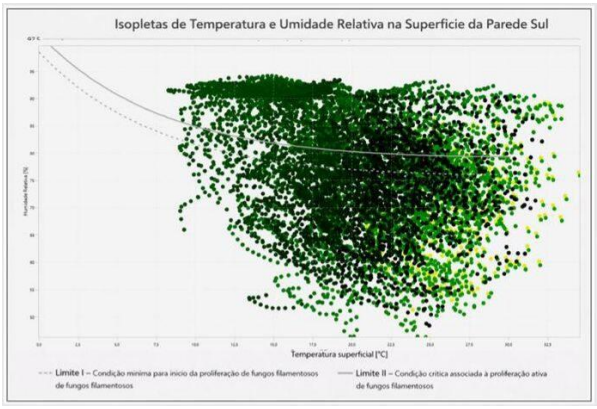
Figura 7: Comparação dos resultados de temperatura e umidade - WUFI-Pro



Fonte: os autores.

A análise por meio de diagramas de isopletas permite avaliar o risco de crescimento de fungos filamentosos. No sistema sem isolamento, há significativa concentração de pontos próximos e acima dos limites críticos, especialmente na faixa de 15 °C a 25 °C, indicando condições favoráveis ao crescimento fúngico (Figura 8).

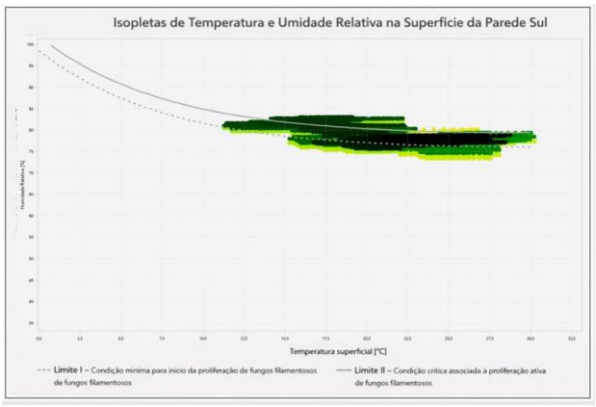
Figura 8: Diagramas de isopletas para parede de concreto sem EPS



Fonte: os autores.

Já no sistema com EPS, observa-se uma distribuição de pontos predominantemente abaixo dos limites críticos, indicando menor risco de proliferação de fungos (Figura 9). Esse comportamento está associado ao aumento da temperatura superficial interna e à redução da umidade relativa, promovidos pelo isolamento térmico. Os resultados evidenciam que o EPS reduz significativamente o risco de crescimento fúngico, ao proporcionar maior estabilidade higrotérmica da superfície interna.

Figura 9: Diagramas de isopletas para parede de concreto com EPS



Fonte: os autores.

DISCUSSÕES

A comparação entre os resultados obtidos com o WUFI-Pro e o EnergyPlus evidencia convergência nas respostas térmicas, mas diferenças relevantes no comportamento da umidade relativa. O WUFI-Pro utiliza um modelo higrotérmico acoplado, considerando transporte de vapor, fluxo capilar e armazenamento higroscópico, resultando em respostas mais estáveis e realistas [9]. Em contraste, o EnergyPlus, por meio do módulo HAMT, adota uma abordagem simplificada, com menor representação dos fenômenos de transporte de umidade, resultando em maior variabilidade dos resultados [27].

A similaridade nos resultados de temperatura pode ser atribuída ao uso de propriedades térmicas equivalentes e à modelagem consistente do balanço de energia por condução. No entanto, as diferenças na modelagem da umidade explicam as divergências observadas, especialmente na avaliação de fenômenos como condensação superficial e risco de crescimento de fungos. Dessa forma, os resultados indicam que, embora ambos os modelos sejam adequados para análise térmica, a avaliação higrotérmica detalhada requer ferramentas com modelagem mais robusta da umidade, como o WUFI-Pro, sendo importante considerar essas limitações na interpretação dos resultados. Esses resultados reforçam a importância da escolha adequada da ferramenta de simulação em análises higrotérmicas.

CONCLUSÃO

O presente estudo avaliou o desempenho higrotérmico de paredes de concreto moldado in loco, com e sem isolamento térmico externo em EPS, em habitações de interesse social em Pelotas/RS, além de comparar os resultados obtidos com os softwares EnergyPlus (HAMT) e WUFI-Pro. Os resultados indicaram convergência entre os modelos na análise térmica, com temperaturas superficiais internas semelhantes, atribuídas à modelagem equivalente do balanço de energia e às condições de contorno adotadas. No entanto, observaram-se diferenças relevantes na simulação da umidade: o WUFI-Pro apresentou comportamento mais estável, enquanto o EnergyPlus evidenciou maior variabilidade higrométrica.

Quanto aos sistemas construtivos, o uso de isolamento térmico em EPS demonstrou melhoria significativa no desempenho higrotérmico, com maior estabilidade térmica e menor permanência em condições críticas de umidade, reduzindo o risco de condensação e proliferação de fungos. Já o sistema sem isolamento apresentou maior variabilidade térmica e higrométrica. Conclui-se que, embora os modelos sejam compatíveis na análise térmica, diferem na representação da umidade, sendo essencial considerar essas limitações na interpretação.

DECLARAÇÃO

Durante a preparação deste artigo, os autores utilizaram a ferramenta NotebookLM e ChatGPT para melhoria de coesão do texto. Após a utilização da ferramenta/serviço,

os autores revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo do artigo publicado.

REFERÊNCIAS

[1] MACEDO, J. W. N. et al. **Manifestações patológicas causadas pela umidade.** Revista Thema, Pelotas, v. 24, n. 2, 2025.

[2] LI, F.; LI, Q.; MENG, Q. **Effect of moisture on thermal performance of walls.** Applied Thermal Engineering, Oxford, v. 186, 2021.

[3] ZHANG, T. et al. **Review on hygrothermal white-box models.** Energy and Buildings, Lausanne, v. 305, 2024.

[4] XUE, Y. et al. **The moisture distribution in wall-to-floor thermal bridges and its influence on mould growth.** UCL Open: Environment, v. 4, 2022.

[5] SCHROEFFER, K. G.; PAGEL, É. C. **Qualidade do ar interior em edifícios.** PARC – Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, v. 16, 2025.

[6] OLIVEIRA, R. B.; ALVES, C. **Desempenho térmico de habitações de interesse social com paredes de concreto.** PARC – Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, v. 12, 2021.

[7] SANTOS, G. H.; OLIVEIRA, R. C.; RORIZ, M. **Influência da umidade do ar no desempenho higrotérmico.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 21, n. 3, 2021.

[8] FONSECA, M. O.; MARINOSKI, D. L.; WESTPHAL, F. S. **Impacto da revisão da NBR 15575.** PARC – Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, v. 16, 2025.

[9] FRAUNHOFER IBP. **WUFI® Pro 7: hygric and thermal simulation capabilities.** Holzkirchen, 2024.

[10] BULIGON, L. B. et al. **Hygrothermal performance of masonry walls in residential buildings.** PARC – Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, v. 13, 2022.

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

[12] HENS, H. **Building Physics: heat, air and moisture.** 2. ed. Berlin: Ernst & Sohn, 2012.

[13] NEVANDER, L. E.; ELMARSSON, B. **Moisture in building materials.** Stockholm, 1994.

[14] KUMARAN, M. K. **Moisture transport properties of building materials.** Journal of Thermal Envelope and Building Science, v. 25, 2002.

[15] KUMARAN, M. et al. **Moisture management of building envelopes.** 2001.

[16] STRAUBE, J.; BURNETT, E. **Building science for building enclosures.** Westford: Building Science Press, 2005.

[17] ISO. ISO 13788: **Hygrothermal performance of building components.** Geneva, 2012.

[18] KÜNZEL, H. M.; KIESSL, K. **Calculation of heat and moisture transfer in building components.** International Journal of Heat and Mass Transfer, 1997.

[19] MENDES, N. et al. **Heat, air and moisture transfer through porous media.** 2003.

[20] VIITANEN, H. et al. **Moisture and bio-deterioration risk of building materials.** Journal of Building Physics, 2010.

[21] WHO. **WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould.** Copenhagen, 2009.

[22] COSTA, G.; FUCALE, S. **Avaliação de desempenho térmico de habitações de interesse social com concreto.** Research, Society and Development, 2022.

[23] PALANI, H. et al. **Assessing hygrothermal performance in building walls.** Sustainability, 2023.

[24] LIU, M. et al. **Hygrothermal performance of exterior wall assemblies.** Buildings, 2025.

[25] CRAWLEY, D. B. et al. **EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program.** Energy and Buildings, 2020.

[26] U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **EnergyPlus engineering reference.** Washington, DC, 2023.

[27] IBGE. **Cidades e Estados: Pelotas (RS).** Rio de Janeiro, 2022.

[28] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3: desempenho térmico de edificações – Parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.** Rio de Janeiro, 2024.

[29] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1: edificações habitacionais – desempenho – Parte 1: requisitos gerais.** Rio de Janeiro, 2022.

[30] MORISHITA, C**. On the assessment of potential moisture risks in residential buildings across Brazil.** 2020. Tese (Doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2020.

[31] DUARTE, C. M. **Simulação do comportamento higrotérmico de habitações de interesse social.** 2023. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2023.