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

Análise de sensibilidade do projeto de norma ABNT – simulação de transporte de umidade

Sensitivity analysis of the ABNT draft standard – moisture transport simulation

Luiza Coutinho Bernardes
Pontifícia Universidade Católica do Paraná | Curitiba | Brasil | luizacber@gmail.com
Eduardo Grala da Cunha
Universidade Federal de Pelotas | Pelotas | Brasil | eduardo.grala@ufpel.edu.br
Adriana Camargo de Brito
Instituto de Pesquisas Tecnológicas | São Paulo | Brasil | adrianab@ipt.br
Nathan Mendes
Pontifícia Universidade Católica do Paraná | Curitiba | Brasil | nathan.mendes@pucpr.br

Resumo

Esta pesquisa tem por objetivo analisar o projeto de norma ABNT "Simulação Computacional do Comportamento Higrotérmico de Paredes – Procedimento" quanto à sensibilidade às variações das condições de contorno de produção de umidade, uso e ocupação. O método da pesquisa consiste em aplicar as condições propostas no projeto de norma e analisar a sensibilidade às variações das condições de contorno de produção de umidade, ocupação, ventilação e chuva dirigida, por meio de simulações de desempenho higrotérmico. O projeto de norma utiliza valores de ganhos internos que foram baseados na NBR 15575, os quais se apresentam como subestimados para uma análise mais crítica considerando a alta ocupação das habitações no Brasil. Outro quesito é a abertura das janelas considerando um valor de referência pré-definido, o qual se mostrou inadequado para as análises, visto que não são consideradas condições mais críticas nem próximas da realidade de uma habitação. Em relação à chuva dirigida, os resultados mostraram a grande importância de se considerar na norma o efeito da precipitação no comportamento higrotérmico dos ambientes, especialmente por não constar em outros documentos técnicos. As variáveis mais sensíveis que influenciaram o desempenho higrotérmico da edificação foram a ocupação interna e a chuva dirigida, no entanto cada critério de análise apresentou uma variável mais influente, não podendo concluir que apenas uma variável é mais influente no desempenho higrotérmico total da edificação.

Palavras-chave: Desempenho higrotérmico. Simulação Computacional. Umidade em envoltórios de edificações. Análise de sensibilidade.

Abstract

This research aims to analyze the ABNT draft standard "Computational Simulation of the Hygrothermal Behavior of Walls – Procedure" regarding sensitivity to variations in boundary conditions for moisture production, use, and occupancy. The research method involves applying the conditions proposed in the draft standard and analyzing the sensitivity to variations in

Como citar:
BERNARDES, L.C. et. al. Análise de sensibilidade do projeto de norma ABNT – simulação de transporte de umidade. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

boundary conditions for moisture production, occupancy, ventilation, and driving rain through hygrothermal performance simulations. The draft standard uses values for internal gains based on NBR 15575. For a more critical analysis, considering the high occupancy of dwellings in Brazil, these values could be higher. Another issue is the window opening based on a defined setpoint, which proved inadequate for the analyses, as it does not consider more critical conditions nor those close to the reality of a dwelling. Regarding driving rain, the results showed the significant importance of rainfall precipitation on the assessment of hygrothermal behavior, making it relevant to be considered in the standard, especially since it is not included in other technical documents. The most sensitive variables influencing the hygrothermal performance of the building were internal occupancy and driving rain. However, each analysis criterion presented a more influential variable, so it cannot be concluded that only one variable is more influential in the total hygrothermal performance of the building.

Keywords: Hygrothermal performance. Computer Simulation. Moisture in building envelopes. Sensitivity analyses.

INTRODUÇÃO

A principal função das edificações é a proteção às intempéries climáticas [1]. Nesse sentido, as paredes externas de uma edificação desempenham um papel fundamental no comportamento da envoltória, pois estão constantemente expostas às ações do clima e propensas a degradação. Uma das principais causas da degradação de componentes construtivos é a exposição à umidade. Para a prevenção dos problemas relacionados à umidade é necessário levar em consideração o desempenho higrotérmico dos componentes e ambientes das edificações [2].

A umidade é o principal agente de deterioração nas edificações [3], causando danos à construção por meio do processo de biodeterioração provocado por micro-organismos [4]. A umidade pode levar à corrosão de componentes metálicos; à deterioração de revestimentos de gesso, telhas e madeira; alterações de volume, como inchaço e retração, que podem resultar em rachaduras; à descoloração (manchas) nos acabamentos da edificação; à formação de micro-organismos como os fungos filamentosos; entre outros efeitos [5][3].

A umidade nas edificações pode impactar tanto a durabilidade dos elementos construtivos quanto a salubridade dos ambientes [6]. Um dos problemas associados à umidade é o crescimento de fungos filamentosos que são prejudiciais à saúde. Esses fungos podem desencadear crises alérgicas, como a rinite, crises de asma, eczema de pele e conjuntivite, especialmente quando presentes em grande quantidade no ambiente [4][7].

O estudo do desempenho higrotérmico de componentes construtivos também pode influenciar o consumo de energia elétrica em ambientes que possuem elementos porosos na edificação. Devido a parcela de carga de calor latente, equipamentos de climatização mal dimensionados podem resultar em um maior gasto de energia elétrica [8].

Diversas normas internacionais tratam de questões relacionadas ao desempenho higrotérmico das edificações, como a norma ISO 13788:2012 [9], a norma BS EN 15026:2007 [10] e a norma ASHRAE 160:2016 [11]. No entanto, todas essas normas foram desenvolvidas para condições diferentes das encontradas nas edificações

nacionais, seja em relação às condições climáticas ou às características de uso da edificação [12].

No Brasil, as exigências relacionadas à umidade na norma NBR 15575:2021 [13] não contemplam processos como o transporte e armazenamento de umidade em elementos construtivos, o que é crucial para avaliar questões de durabilidade das edificações [14]. Ainda no contexto nacional, o Sistema Nacional de Avaliações Técnicas de Produtos Inovadores e Sistemas Convencionais - SiNAT aborda questões relacionadas à umidade por meio da Diretriz SiNAT-N°001:2017 [15], em que é focada exclusivamente em paredes estruturais de concreto moldadas *in loco*. Embora este método seja o único disponível atualmente em nível nacional, ainda necessita ser aprimorado [12]. Esse método tem limitações por apresentar abordagem simplificada, desconsiderando fenômenos de armazenamento de umidade que ocorrem dentro da parede e podem ser importantes para a determinação do seu desempenho higrotérmico com maior precisão [14].

Atualmente está em processo de desenvolvimento o rascunho inicial do projeto de norma ABNT "Simulação Computacional do Comportamento Higrotérmico de Paredes – Procedimento" [16], que tem como objetivo estabelecer um procedimento padrão nacional para a realização de simulação computacional do desempenho higrotérmico de edificações, proporcionando a comparação de resultados de simulações realizadas nacionalmente. Este projeto de norma foi baseado e adaptado das normas internacionais ASHRAE 160:2016 e BS EN 15026:2007. A adaptação foi realizada para contemplar as particularidades do cenário brasileiro [16].

OBJETIVO

Analisar o projeto de norma ABNT "Simulação Computacional do Comportamento Higrotérmico de Paredes – Procedimento" quanto à sensibilidade às variações das condições de contorno de produção de umidade, ventilação, chuva e ocupação.

MÉTODO

O método consiste em aplicar as condições propostas no rascunho inicial do projeto de norma ABNT e analisar a sensibilidade às variações das condições de contorno por meio de simulações computacionais de transporte de calor e umidade, conforme metodologia de Bernardes [12].

Como será mostrado a seguir, primeiramente são apresentadas as condições de contorno do projeto de norma ABNT e das variações consideradas na análise. Posteriormente são apresentados os procedimentos utilizados nas simulações computacionais com os programas *EnergyPlus* 9 e *WUFI Pro* 6.7. E por fim, são indicados os critérios de avaliação utilizados na discussão dos resultados.

ETAPA 01

A primeira etapa apresenta as condições de contorno presentes no projeto de norma ABNT e as propostas de variações das condições de contorno para análise.

No projeto de norma ABNT "Simulação Computacional do Comportamento Higrotérmico de Paredes – Procedimento" [16] as condições de contorno internas devem ser configuradas conforme o método de simulação de desempenho térmico da norma NBR 15575 [13], e é necessário incluir fontes internas de calor e umidade, como panelas com água em ebulição, chuveiro e pessoas. São considerados todos os ambientes da habitação, inclusive cozinha e banheiro, conforme condições de uso que estão especificados no projeto de norma. Foram adicionadas fontes internas de calor com maior valor com o intuito de criar condições mais rigorosas em relação a umidade do que as estabelecidas na NBR 15575 [13].

Nessa pesquisa, para analisar as condições de contorno propostas pelo projeto de norma ABNT [16], foram propostas variações com objetivo de analisar como elas afetam o desempenho higrotérmico da edificação, Figura 1. Conforme Bernardes [12], essas variações incluíram: simulações considerando ou não a incidência de chuva dirigida nas fachadas da edificação; alterações no número de pessoas na edificação (sem ocupação, 2 pessoas, 4, 6 e 8); variação na quantidade de panelas e no uso do chuveiro, medido como potência elétrica (sem vapor, 142,5W, 285W, 427,5W, 570W e mudanças no valor da temperatura de setpoint que determina a abertura e fechamento da janela (sem abertura, 19°C, 23°C e 25°C).

Figura 1: Condições de contorno do projeto de norma ABNT, e as variações para análise.

VARIAÇÕES PARA ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE CONTORNO

PROJETO DE NORMA ABNT:

variáveis:	valores:
Chuva dirigida	sim
Ocupação	4
Vapor interno	285 W
Ventilação	19 °C

VARIAÇÕES PARA ANÁLISE:

variáveis:	valores:
Chuva dirigida	sim; não.
Ocupação	0; 2; 4; 6; 8.
Vapor interno	0; 142,5; 285; 427,5; 570 W.
Ventilação	0; 19; 23; 25 °C.

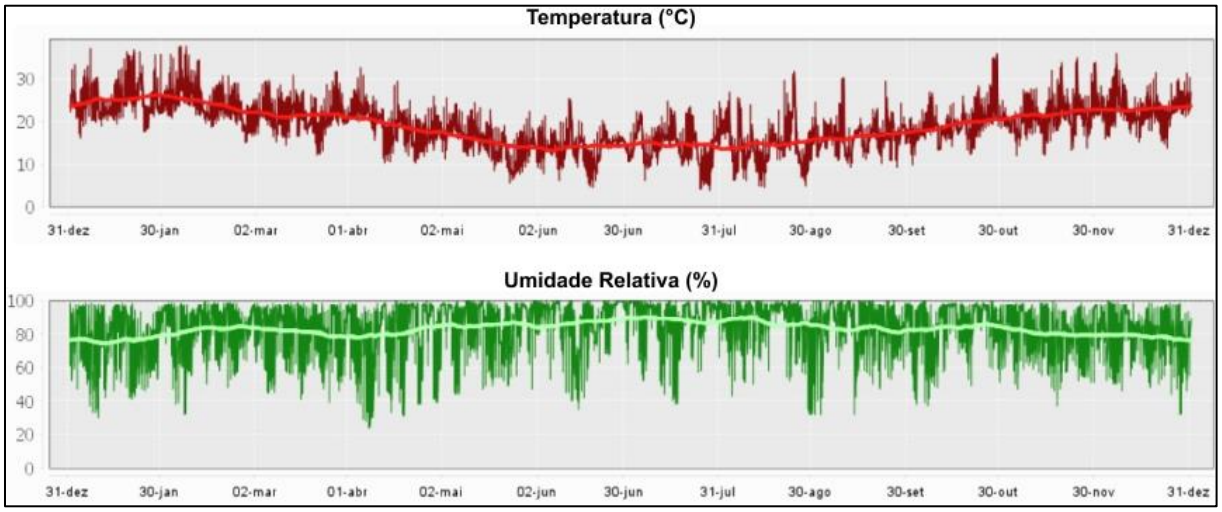
Fonte: autores, adaptado de Bernardes [12] e do rascunho inicial do projeto de norma ABNT [16].

ETAPA 02

Na segunda etapa, foram realizadas simulações computacionais analisando o comportamento da parede quanto ao transporte de umidade.

Para a pesquisa foi escolhida a cidade de Pelotas/RS, pertencente à zona bioclimática 2. A Figura 2 mostra gráficos da temperatura e umidade relativa do ar da cidade de Pelotas/RS, utilizando o arquivo climático desenvolvido por Leitzke *et al*. [17].

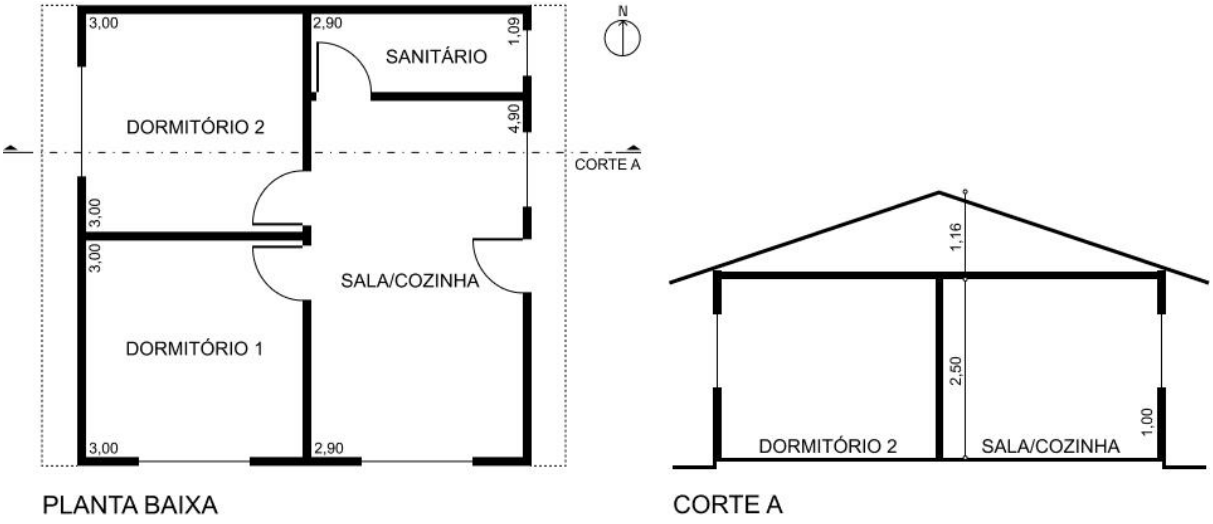
Figura 2: Análise do clima exterior *WUFI Pro* 6.7 da cidade de Pelotas/RS.



Fonte: adaptado do programa *WUFI Pro* 6.7 [18].

Foi escolhida uma edificação unifamiliar, seguindo o projeto padrão de casa térrea da Diretriz SiNAT N°001 [15]. Essa edificação é composta por laje de piso e cobertura de concreto armado, telhado com telha de fibrocimento, janelas com vidro simples e portas em madeira, como mostra a Figura 3. O sistema construtivo escolhido foi a parede maciça de concreto moldada *in loco* baseada na Diretriz SiNAT N°001 [15]. A parede possui uma espessura de 10 cm e não possui reboco. Para as propriedades do material foi considerado o "Concreto A", obtido por Belizario-Silva [14], disponíveis na base de dados do programa *WUFI Pro* 6.7 com o nome de "Cimento C35/45".

Figura 3: Planta baixa e corte da tipologia habitacional.



Fonte: autores, adaptado de Diretriz SiNAT N°001 [15].

Inicialmente, foi configurada a edificação base conforme o rascunho inicial do projeto de norma ABNT [16]. Com a configuração da edificação base pronta, foram simuladas todas as variações para análise, com todas as variações cruzando entre si, totalizando 104 modelos. São elas: a consideração da chuva dirigida, o número de ocupantes da edificação, o vapor interno do chuveiro e panelas e o padrão de ventilação natural.

Foram realizadas simulações utilizando o programa *EnergyPlus* 9 para obter os dados da temperatura e umidade relativa do ar interno dos ambientes, para ser utilizado na simulação higrotérmica do programa *WUFI Pro* 6.7. O programa *EnergyPlus* 9 foi configurado com base no projeto de norma ABNT [16], e os demais modelos conforme cada variação para análise. Para a configuração das agendas de ocupação, iluminação e equipamentos foi utilizado o projeto de norma ABNT [16]. A temperatura do solo foi configurada no item "*Ground Domain"*, de acordo com Eli *et al.* [19]. Todos os modelos foram configurados com ventilação natural, considerando o "*Air Flow Network"* do programa *EnergyPlus*, com abertura da janela quando a temperatura do ar é igual ou superior à temperatura do termostato ($T_{interna} \geq T_{termostato}$), e quando a temperatura do ar é superior à temperatura externa ($T_{interna} \geq T_{externa}$), conforme a NBR 15575 [13]. Os dados de saída, são a temperatura e umidade relativa do ar da zona térmica da Sala/Cozinha com orientação solar Sul, orientação solar mais crítica para o clima analisado conforme análise de Bernardes [12].

O programa *WUFI Pro* 6.7 foi utilizado para obtenção dos dados do comportamento higrotérmico das paredes, as simulações foram realizadas conforme o projeto de norma ABNT [16]. As simulações foram executadas por um período de três anos, e os resultados foram considerados apenas do último ano. Os materiais foram configurados com as mesmas propriedades térmicas nos dois programas de análise. Para a consideração da chuva foi adotada a norma ASHRAE 160 [11], por apresentar o modelo mais rigoroso segundo Zanoni, Sanchez e Bauer [20]. Foi utilizado o item Fator de exposição à chuva (FE) como 1,0 que caracteriza uma categoria de exposição média, e o item Fator de deposição da chuva (FD) com 0,5 que considera uma parede por debaixo de um telhado de baixa inclinação. Não foi considerado o valor "*sd"*, no qual representa um revestimento externo, para analisar a situação mais crítica de absorção de umidade. Nas condições iniciais, para a umidade, foi considerada uma umidade inicial no elemento construtivo em cada camada, calculado automaticamente com base em informações típicas de obra constantes no programa. E para a temperatura, foi considerada a temperatura inicial dos elementos constante através do elemento construtivo. Para o clima interior foi utilizado o arquivo com temperatura e umidade relativa internas criado a partir da simulação com o *EnergyPlus.*

ETAPA 03

A última etapa consiste na descrição dos critérios de avaliação. Os resultados foram analisados a partir de uma análise de sensibilidade pelo método da análise por variância fatorial completa ANOVA, utilizado o programa R e os scripts desenvolvidos por Silva [21]. A análise de sensibilidade combina todas as variáveis entre si para determinar a sensibilidade de cada variável em relação à cada critério de análise [21].

Foram considerados os seguintes critérios: teor de umidade total; condensação superficial interna das paredes; valores máximos e mínimos de temperatura e umidade relativa; e risco de formação de fungos filamentosos.

A análise pelo teor de umidade total foi obtida pela soma do teor de água das camadas das paredes multiplicadas pelas espessuras das camadas. Também foram coletados os resultados de condensação superficial interna, utilizados para identificar as camadas

dos sistemas de vedação com períodos prolongados de umidade relativa elevada. Os valores máximos e mínimos de temperatura e umidade relativa das superfícies internas das paredes externas. Como também, os resultados do risco de formação de fungos filamentosos, avaliados conforme a norma DIN 4108-8 [22], no qual indicam a quantidade de vezes em que a umidade relativa da superfície ultrapassa 80% por 12h seguidas em cinco dias consecutivos.

RESULTADOS

Foram coletados os resultados de todas as simulações para cada critério de análise e, a seguir, é apresentada uma análise de sensibilidade com a classificação das variáveis individuais e combinadas, destacando as variáveis mais sensíveis, ou seja, aquelas que afetam com maior intensidade o comportamento higrotérmico das paredes, até as variáveis menos sensíveis.

Foram realizadas duas análises de sensibilidade para os critérios de teor de umidade total e máximos e mínimos de temperatura e umidade relativa. Uma análise com os valores máximos para identificar situações críticas em curto prazo e outra com as médias para avaliar valores cumulativos e realizar uma análise a longo prazo.

Os resultados da análise de sensibilidade são mostrados no Quadro 1, apresentando o *ranking* das variáveis, os valores de 1 a 4 representam a variável mais sensível até a menos sensível para cada critério de análise.

Quadro 1: Análise de sensibilidade, resultado do *ranking* de sensibilidade.

	Teor de Umidade Total		**Condensação Superficial**	**Perfis de Temperatura**		**Perfis de Umidade Relativa**		**Fungos Filamentosos**
	(máxima)	(média)		(máxima)	(média)	(máxima)	(média)	
1	Chuva	Ocupação	Ocupação	Ventilação	Ocupação	Ocupação	Ocupação	Ventilação
2	Ocupação	Chuva	Chuva	Ocupação Ventilação	Ventilação	Ventilação	Ventilação	Ocupação
3	Chuva Ocupação	Ventilação	Ocupação Ventilação	Vapor	Chuva	Ocupação Vapor	Ocupação Vapor	Ocupação Vapor
4	Ocupação Vapor	Ocupação Ventilação	Chuva Ocupação	Ocupação	Vapor	Ocupação Ventilação	Ocupação Ventilação	Ocupação Ventilação

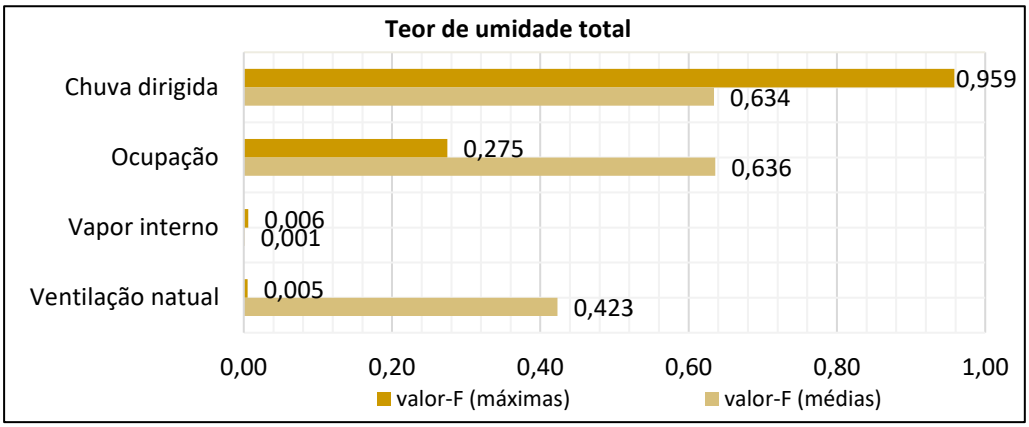
Fonte: autores.

Dentre todos os critérios de análise, pode-se observar que a variável mais sensível foi a ocupação interna. Entretanto, tanto a chuva dirigida quanto a ventilação natural também apresentaram influência significativa nos resultados. Os resultados da análise de sensibilidade variam de acordo com o critério de análise, impossibilitando a conclusão de que uma única variável seja totalmente influente no desempenho higrotérmico da edificação estudada.

Para uma compreensão mais clara desse aspecto e discussão dos resultados das variáveis mais sensíveis, a seguir serão apresentados *rankings* separados para cada critério com os resultados do valor-F, quanto maior o valor-F, maior é a influência da variável ou das variáveis combinadas.

Na análise de sensibilidade no critério de teor de umidade total, Figura 4, ao analisar os resultados máximos, a variável mais sensível foi a chuva dirigida. Já considerando as médias, a ocupação se destacou como a variável mais sensível, embora seu valor tenha sido muito próximo ao da variável chuva dirigida. A chuva dirigida foi o destaque como variável mais sensível, considerando as condições do sistema construtivo analisado e também do clima utilizado nas análises. A chuva dirigida como a variável mais sensível era esperada, pois esse critério mede a quantidade de água total no sistema construtivo em relação a espessura da parede. Como destacado por Zanoni [23], as fontes de umidade nas edificações são a chuva dirigida, a umidade relativa do ar, temperaturas superficiais e as características higrotérmicas dos materiais. Esses resultados ressaltam a importância de incluir a chuva dirigida nas simulações computacionais e o uso de ferramentas que a considerem em seus modelos matemáticos.

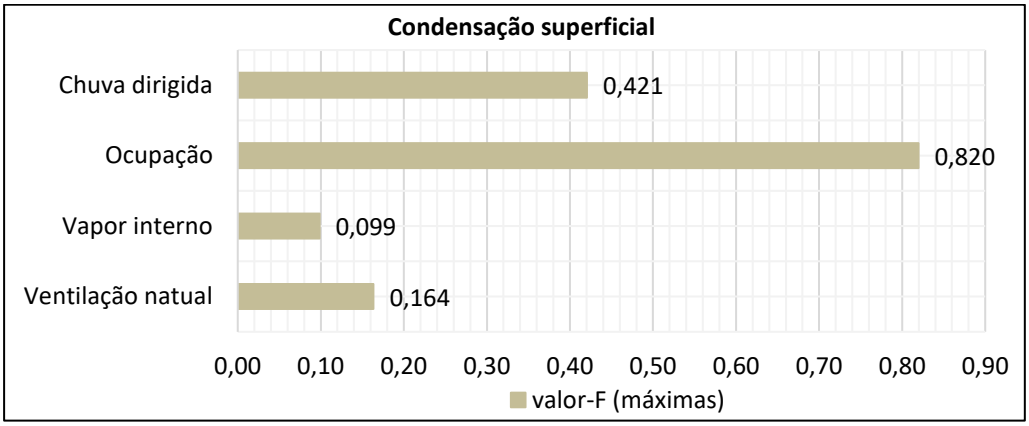
Figura 4: Análise de sensibilidade do critério teor de umidade total.



Fonte: autores.

No critério de condensação superficial da superfície interna, Figura 5, a variável mais sensível foi a ocupação interna, seguida pela chuva dirigida como segunda variável mais influente. Uma alta ocupação interna pode representar um alto risco de condensação superficial de paredes, especialmente em edificações com um volume interno reduzido, como no caso da habitação social analisada. Também pode-se observar que a variável chuva dirigida é uma variável destaque, assim como encontrado por Pires [24], em que as condições de clima externo impactaram na geração de umidade interna aumentando o risco de condensação superficial. A chuva dirigida está presente em diversos critérios de análise, reforçando o resultado do critério anterior, mostrando também a importância da escolha de um arquivo climático com condições realísticas de chuva dirigida para o local analisado.

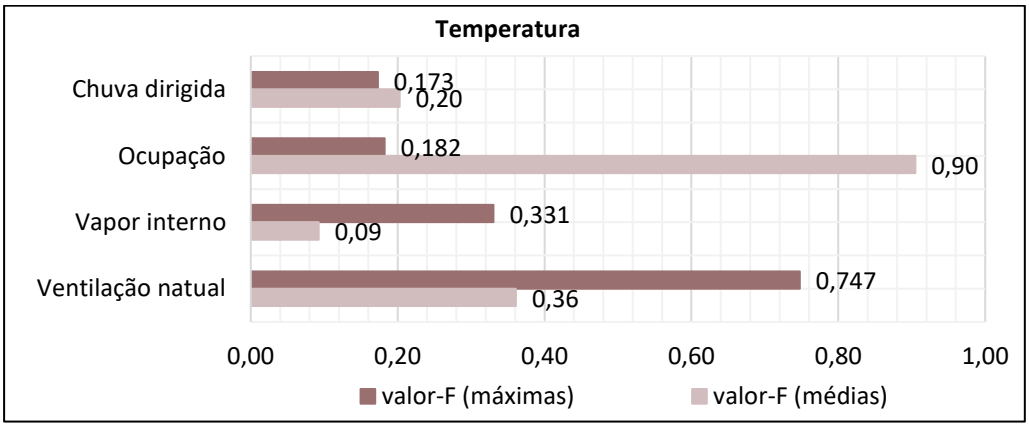
Figura 5: Análise de sensibilidade do critério de condensação superficial.



Fonte: autores.

No critério de análise de temperatura da superfície interna, na Figura 6, a análise de sensibilidade com as máximas e com as médias apresentaram diferenças significativas. Na análise com valores máximos, a variável mais sensível foi a ventilação natural, seguida pela ocupação em conjunto com a ventilação natural. Na análise com valores médios, a variável mais sensível foi a ocupação, seguida pela ventilação natural. Nos dois tipos de análise, a ocupação e a ventilação natural se destacaram como variáveis mais sensíveis. A ocupação interna da edificação resulta em uma produção significativa de calor interno, enquanto a ventilação natural desempenha um papel importante no controle da temperatura interna do ambiente. Entretanto, o *setpoint* de abertura das janelas pode tanto auxiliar no controle térmico interno quanto contribuir para um aumento indesejado da carga de calor ou perda térmica.

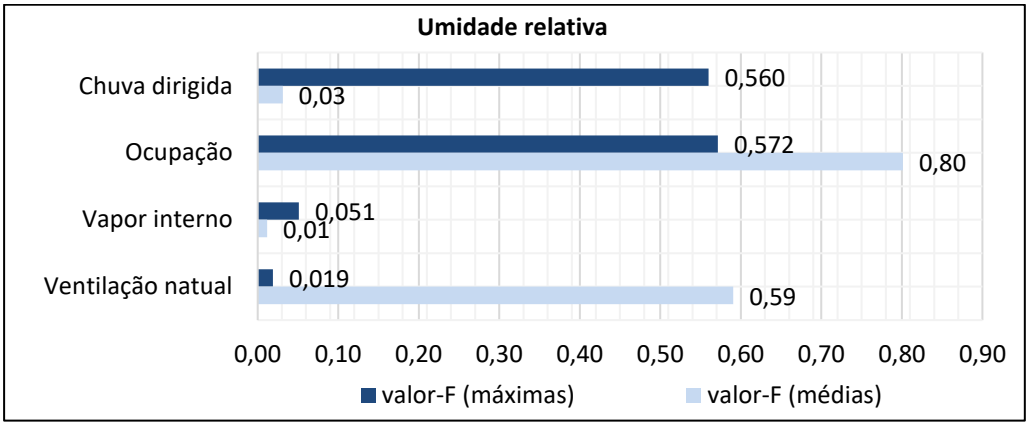
Figura 6: Análise de sensibilidade do critério de temperatura da superfície interna.



Fonte: autores.

No critério de umidade relativa da superfície interna, a Figura 7 mostra que tanto na análise com valores máximos quanto na análise com valores médios, a variável mais sensível foi a ocupação interna. No entanto, na análise com os valores máximos a ocupação interna e a chuva dirigida apresentaram valores bem próximos. Foi considerado que a ocupação e a chuva dirigida foram as variáveis mais sensíveis no critério de análise de perfis de umidade relativa da superfície interna.

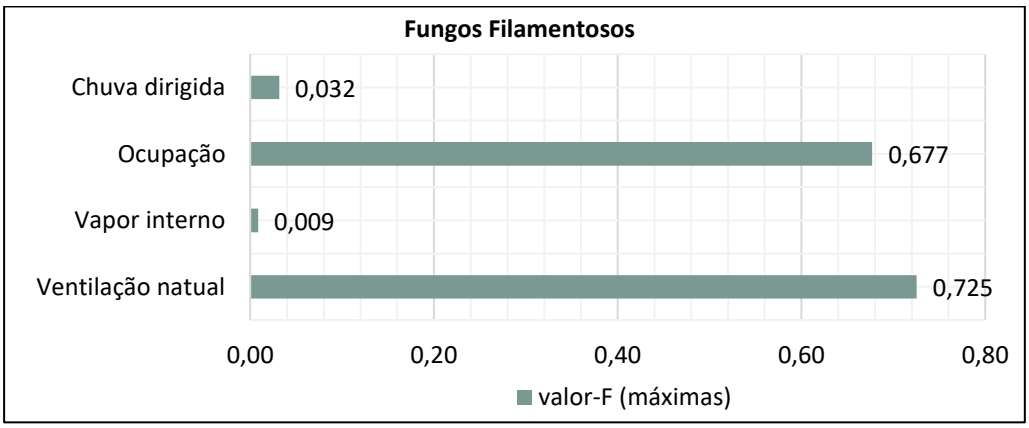
Figura 7: Análise de sensibilidade do critério de umidade relativa da superfície interna.



Fonte: autores.

No critério de risco de formação de fungos filamentosos na superfície interna, a Figura 8 mostra que a variável mais sensível foi a ventilação natural, e a próxima variável ocupação interna apresentou um valor próximo da primeira. Como visto no critério de análise de temperatura da superfície interna, ambas as variáveis são responsáveis pela alta geração de calor e vapor internos, como também pela renovação do ar e mudança na porcentagem de umidade relativa no ambiente interno. Como visto no estudo de Afonso [25], a variável ocupação interna foi determinante, apresentando um alto risco de formação de fungos filamentosos em uma análise in loco em habitações de interesse social. A umidade relativa e a temperatura em superfícies internas são pontos decisivos na formação de fungos filamentosos. A ventilação natural pode remover o excesso de umidade do ambiente, no entanto, pode também resultar no aumento de porcentagens de umidade relativa em climas muito úmidos. Com base nos resultados encontrados, ao gerar calor e vapor no interior da edificação, é crucial garantir que a edificação possua uma ventilação adequada para reduzir o risco de formação de fungos filamentosos.

Figura 8: Análise de sensibilidade do critério de risco de formação de fungos filamentosos.



Fonte: autores.

CONCLUSÕES

A partir dos resultados da análise de sensibilidade, apresentam-se conclusões e discussões deste estudo. Essa pesquisa buscou analisar a sensibilidade do projeto de norma ABNT em relação à variação das condições de contorno com simulações computacionais de desempenho higrotérmico analisando diferentes critérios de análise.

A partir da análise de sensibilidade, que destaca os fatores mais determinantes do desempenho higrotérmico das paredes, é importante ressaltar que não há uma única variável sensível para todos os critérios, pois cada critério de análise possui sua variável preponderante.

Um ponto importante que foi concluído é a necessidade de utilizar ferramentas computacionais adequadas para um cálculo higrotérmico preciso, pois a escolha da ferramenta pode impactar significativamente os resultados da análise. Além disso, é essencial utilizar uma ferramenta que inclua os cálculos de chuva dirigida nos modelos matemáticos. Pode ser destacada também, que a escolha de um arquivo climático realista, que considere as condições climáticas locais, e a inclusão da chuva dirigida são aspectos cruciais para obter resultados mais precisos.

O projeto de norma ABNT utiliza valores de ocupação e geração de vapor internos que foram baseados na NBR 15575. No entanto, para uma análise mais crítica considerando a alta ocupação das habitações de interesse social no Brasil, esses valores poderiam ser maiores, como no caso da ocupação de 6 pessoas e o vapor de panelas relativos a 6 pessoas. Outro quesito é a abertura das janelas para ventilação natural considerando um *setpoint* definido, que se mostrou inadequado para as análises, visto que não são consideradas condições mais críticas nem próximas da realidade de uma habitação. O padrão de abertura mais realista poderia ser a partir de horários fixos de abertura da esquadria, o que resolveria a problemática da escolha correta do *setpoint* de abertura para cada região climática brasileira. Em relação à chuva dirigida, a consideração no rascunho inicial do projeto de norma ABNT foi de extrema importância, visto que a NBR 15575 não considera a precipitação de chuva nas simulações computacionais, e os resultados desse estudo mostraram a grande importância da precipitação de chuva nos resultados.

De maneira geral, foi observado que a alteração nas variáveis de entrada tem um impacto significativo nos resultados, enfatizando a importância de o rascunho inicial do projeto de norma ABNT estabelecer condições de contorno adequadas com a realidade do nosso país.

REFERÊNCIAS

[1] KÜNZEL, H. M.; HOLM, A. H. Moisture control and problem analysis of heritage constructions. **Meeting on Building Pathology and Rehabilitation**, p. 85–102, 2009.

[2] LARA, R. R. Á. **Hygro–thermo–mechanical analysis of masonry: Experimental characterization and numerical simulations.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia da Universidade do Minho. Braga, PT. 2023.

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

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

[5] HENRIQUES, F. **Humidade em paredes.** Laboratório Nacional de Engenharia Civil - LNEC. Lisboa, Portugal, 1994.

[6] BERGER, J.; GUERNOUTI, S.; WOLOSZYN, M.; BUHE, C. Factors governing the development of moisture disorders for integration into building performance simulation. **Journal of Building Engineering**, v. 3, p. 1–15, 2015.

[7] SEDLBAUER, K. **Prediction of mould fungus formation on the surface of and inside building components.** Tese (Doutorado em física das construções) Fraunhofer Institute for Building Physics - Universität Stuttgart. 2001.

[8] 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 da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 1997.

[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. International Standard - ISO. 2012.

[10] BRITISH STANDARD. **BS EN 15026:** Hygrothermal Performance of Building Components and Building Elements – Assessment of Moisture Transfer by Numerical Simulation. Brussels. 2007.

[11] AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS - ASHRAE. **ASHRAE Standard 160:** Criteria for Moisture - Control Design Analysis in Buildings. Atlanta, USA. 2016.

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

[13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15575:** Edificações Habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro. 2021.

[14] BELIZARIO-SILVA, F.; BRITO, A. C. Efeito da variação das características higrotérmicas do concreto no comportamento higrotérmico de uma parede. **Ambiente Construído**, v. 24, 2024.

[15] SISTEMA NACIONAL DE AVALIAÇÕES TÉCNICAS - SINAT. **Diretriz SiNAT n°001:** Revisão 03 – Diretriz para Avaliação Técnica de paredes estruturais de concreto moldadas no local. Brasília, 2017.

[16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Rascunho Inicial do Projeto de Norma – Simulação computacional do comportamento higrotérmico de paredes – Procedimento.** Rio de Janeiro. 2023.

[17] LEITZKE, R. K.; BELTRAME, C. M.; FREITAS, J. R.; SEIXAS, J. N.; MACIEL, T. S.; CUNHA, E. G.; 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, n. 10, 2018.

[18] FRAUNHOFER IBP. **WUFI Pro 6 Manual.** Fraunhofer Institute for Building Physics - IBP. Stuttgart, DE. 2019.

[19] ELI, L. G.; KRELLING, A. F.; MENDES, L. S.; MACHADO, R. M. e S.; MAZZAFERRO, L.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. **Manual de Simulação Computacional de Edifícios com o Uso do Objeto Ground Domain no Programa EnergyPlus - Versão 9.0.1**. 2019.

[20] 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.

[21] SILVA, A. S. **Desenvolvimento de um método para avaliação do desempenho térmico e energético de edificações aplicando análise de incertezas e sensibilidade.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. 2016.

[22] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 4108-8:** Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 8: Vermeidung von Schimmelwachstum in Wohngebäuden. Berlin, Germany. 2022.

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

[24] PIRES, J. R. **Estimativa da condensação em edificações unifamiliares em território brasileiro: Simulação higrotérmica computacional.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS. 2020.

[25] 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 (Mestrado em Habitação: Planejamento e Tecnologia). Departamento de Tecnologia em Construção de Edifícios do Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT. São Paulo. 2018.