

## ESTUDO DE ESTRATÉGIAS DE CONTROLE HIGROTÉRMICO PARA A REDUÇÃO DO DESCONFORTO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES EM PELOTAS, RS

LEONARDO PERACHI POLESE<sup>1</sup>, EDUARDO GRALA DA CUNHA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Universidade Federal de Pelotas - leonardo.polese8@gmail.com*

<sup>2</sup>*Universidade Federal de Pelotas - eduardogralacunha@yahoo.com.br*

### 1. INTRODUÇÃO

Hoje em dia, o conforto térmico nas edificações vai além de isolar o ambiente interno do calor e do frio, visto que somente isso não seria possível para sanar as necessidades de conforto, saúde e bem-estar dos ocupantes. Há também o fator da umidade, que em excesso é um agente multifatorial de degradação do ambiente construído e do usuário, estando diretamente associada ao desconforto térmico, à deterioração acelerada de materiais e componentes construtivos e ao surgimento de patologias que afetam a saúde humana, como fungos filamentosos (mofo e bolor), ácaros e bactérias, que agravam alergias, asma e outros males (AKHTAR et al., 2024; KACZOREK; BASIŃSKA, 2024).

A cidade de Pelotas, localizada no estado do Rio Grande do Sul, exemplifica esse desafio, tendo em vista que seu clima é definido como subtropical úmido, sendo marcado por elevados índices de umidade relativa do ar ao longo de todo o ano. Portanto, as edificações e usuários acabam sujeitos à todos males relacionados a umidade citados anteriormente, tendo em vista que em estudos de caso em edificações históricas da cidade, caracterizadas por paredes espessas em alvenaria maciça, revelam um desempenho higrotérmico deficiente, ou seja, não conseguem proteger o usuário da alta umidade relativa do ar do ambiente externo (MACARTHY et al., 2022).

Para que essa falha no desempenho das edificações não continue ocorrendo, é necessário combater esse problema que também ocorre nas edificações atuais.

A fundamentação teórica para que isso ocorra reside na termodinâmica do ar úmido e na distinção entre calor sensível e calor latente. Enquanto o calor sensível está associado à temperatura do ar, o calor latente refere-se à energia necessária para alterar o estado da água presente no ar, ou seja, para remover o vapor da água - desumidificando o ar. No clima do município de Pelotas, a carga térmica latente pode se tornar a parcela dominante na carga de refrigeração total da edificação. Simulações computacionais para uma edificação de alto desempenho em Pelotas, através do Passive House Planning Package resultaram em um consumo energético com desumidificação de 54,3% da energia total de resfriamento (BEBER et al., 2023). Em outras zonas de clima úmido, essa carga pode consistentemente superar 60% do total (MA et al., 2024), sublinhando que qualquer conjunto de estratégias de eficiência energética que ignore a carga latente está fadado a ser ineficaz em locais de clima úmido.

Diante deste cenário, o controle higrotérmico – o gerenciamento integrado

de calor e umidade – torna-se essencial no projeto de edificações para atingir o conforto térmico do ocupante e a eficiência energética da edificação.

As estratégias de controle podem ser classificadas em duas categorias principais: passivas e ativas. As estratégias passivas utilizam as propriedades dos materiais e o design arquitetônico para adaptação das condições internas. Um exemplo proeminente é o uso de materiais com alta capacidade de "moisture buffering" (materiais higroscópicos), como argamassas de cal, gesso não revestido e certos tipos de madeira, que funcionam como "pulmões" higrométricos, absorvendo o excesso de umidade do ar e liberando-a quando o ambiente se torna mais seco (KACZOREK; BASIŃSKA, 2024; ZU; QIN, 2023). Por outro lado, as estratégias ativas dependem de sistemas mecânicos para controlar o ambiente. A mais relevante neste contexto é a Ventilação Mecânica Controlada por Demanda (DCV), que utiliza sensores para ajustar o fluxo de ar com base em parâmetros como umidade relativa, temperatura ou concentração de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), otimizando a remoção de umidade e poluentes enquanto minimiza o consumo de energia (KACZOREK; BASIŃSKA, 2024).

Este trabalho tem como objetivo realizar uma análise comparativa de diferentes estratégias de controle higrotérmico, tanto passivas quanto ativas, para propor soluções para mitigar o desconforto térmico e problemas construtivos associados à elevada umidade nas edificações da cidade de Pelotas.

## 2. METODOLOGIA

A análise foi baseada em uma revisão bibliográfica analítica de pesquisas científicas recentes, focadas no desempenho higrotérmico das edificações e no impacto da umidade no consumo energético.

Dentre os estudos analisados, foram priorizados trabalhos que empregaram softwares consolidados na comunidade científica internacional para análise de transferência de calor e massa em edificações, sendo eles o *WUFI® Pro* - Software capaz de simular transporte de umidade em fase líquida e de vapor, considerando fenômenos como capilaridade, difusão e convecção (ARRIAGADA-BUSTOS et al., 2025; MACARTHY et al., 2022) e o Passive House Planning Package (PHPP) - desenvolvido para análises de edificação de alto desempenho, que seguem o padrão Passive House, incluindo módulos específicos para cálculo de carga de desumidificação (BEBER et al., 2023).

Para uma análise estruturada, as estratégias de controle higrotérmico investigadas na literatura foram classificadas em duas categorias principais:

1. Estratégias Passivas: Esta categoria focou na influência da envoltória e dos materiais de acabamento no balanço de umidade interno. A análise aprofundou-se no conceito de "moisture buffering" trazido por (KACZOREK; BASIŃSKA, 2024), que avaliam a capacidade de materiais como gesso acartonado e reboco de cimento-cal em absorver vapor d'água, modulando assim a umidade relativa do ar. Além do impacto de revestimentos superficiais, como

tintas, na permeabilidade ao vapor e, consequentemente, na eficácia desta estratégia.

2. Estratégias Ativas: Esta categoria focou no papel dos sistemas de ventilação. Foram analisados diferentes cenários de Ventilação Controlada por Demanda (DCV), por (BEBER et al., 2023; KACZOREK; BASIŃSKA, 2024) comparando lógicas de controle baseadas em sensores de umidade relativa (UR), temperatura e concentração de CO<sub>2</sub>. Que também exploraram estratégias de ventilação noturna como método para arrefecimento passivo e purga de umidade, considerando tanto a ventilação natural (através da abertura de janelas) quanto à ventilação mecânica, com uma análise específica sobre o impacto da variação das taxas de fluxo de ar no consumo energético total.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A literatura científica confirma a importância crítica da gestão da umidade em Pelotas, sendo carga latente o desafio central, impactando diretamente no conforto e a eficiência energética (BEBER et al. 2023) mostraram que em uma residência termicamente isolada em Pelotas, a energia para desumidificação representou 56% da carga total de refrigeração. Este dado é reforçado por MA et al. (2024), que indicam cargas latentes de até 66,4% em climas semelhantes, e por MACARTHY et al. (2022), que evidenciam o acúmulo de umidade em edifícios históricos locais. Isso prova que a umidade é o principal fator a ser gerenciado na região.

No que diz respeito às estratégias passivas, materiais com capacidade de “moisture buffering”, como o reboco de cimento-cal, são eficazes na modulação da umidade interna e na melhoria da qualidade do ar (KACZOREK; BASIŃSKA, 2024). No entanto, há um “trade-off” energético: materiais com essa característica podem aumentar o consumo de energia para aquecimento, pois parte da energia é usada para evaporar a umidade absorvida. Além disso, revestimentos de baixa permeabilidade, como tintas acrílicas, podem anular esses benefícios, “selando” a superfície e impedindo a troca de umidade. Isso destaca a necessidade de um projeto de acabamento que considere a permeabilidade ao vapor.

Para as estratégias ativas, a ventilação controlada é crucial para a remoção eficaz da umidade. KACZOREK e BASIŃSKA (2024) concluíram que a Ventilação Controlada por Demanda (DCV) baseada em sensores de umidade relativa (UR) é a mais eficiente, ajustando o fluxo de ar precisamente quando necessário. Um achado importante para Pelotas veio do estudo de BEBER et al. (2023) sobre ventilação noturna: as menores vazões de ar resultaram no menor consumo total de energia. Isso ocorre porque a alta umidade externa durante a noite em Pelotas pode, na verdade, introduzir mais umidade do que remover se a ventilação for excessiva, sobrecarregando o sistema de climatização no dia seguinte.

A análise geral dos resultados aponta para uma solução mais robusta através da sinergia entre as abordagens passivas e ativas. Um sistema ideal para

Pelotas combinaria materiais de acabamento com alta capacidade de “moisture buffering” com um sistema de ventilação mecânica com recuperação de energia, controlado por demanda com base na umidade relativa. Nesse modelo, os materiais atuariam como um “pulmão” para as flutuações internas, enquanto a ventilação gerenciaria a carga de umidade externa e os picos internos, garantindo conforto e qualidade do ar com eficiência energética.

#### 4. CONCLUSÕES

Este estudo consolidou a evidência de que a alta umidade do ar em Pelotas é o principal desafio para projetar edificações confortáveis e eficientes, devido ao alto consumo de energia comprovado pelas simulações apresentadas.

A inovação e recomendação principal que emerge deste estudo é a necessidade de um projeto higrotérmico integrado para obter eficiência energética, que deve ser elaborado combinando a capacidade de amortecimento dos materiais higroscópicos (estratégia passiva) com a precisão de um sistema de ventilação mecânica controlado pela umidade (estratégia ativa). Tal sistema integrado permitiria que os materiais lidem com as flutuações internas de umidade, enquanto a ventilação gerenciaria a carga externa e interna, criando um ambiente não só mais confortável termicamente, como também mais saudável e durável. Como trabalho futuro, sugere-se a implementação das estratégias e a avaliação do seu desempenho.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKHTAR, M. U. S.; FADLALLAH, S. O.; KHAN, M. I.; ASFAND, F.; AL-GHAMDI, S. G.; MISHRA, R. **Sustainable humidity control in the built environment: Recent research and technological advancements in thermal driven dehumidification systems.** *Energy & Buildings*, v. 304, 2024.
- ARRIAGADA-BUSTOS, R.; BOBADILLA-MORENO, A.; RUBIO-BELLIDO, C.; PÉREZ-FARGALLO, A. **Study of interior hygrometry profiles for the hygrothermal assessment of social housing envelopes in humid temperate climates.** *Journal of Building Engineering*, v. 103, 2025.
- BEBER, L. A.; BERNARDES, L. C.; CUNHA, E. G.; MENDES, N. **Análise da influência da umidade no consumo de climatização de edificação isolada termicamente.** In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., São Paulo, 2023. *Anais...* São Paulo: ANTAC, 2023.
- KACZOREK, D.; BASIŃSKA, M. **Effect of Using Moisture-Buffering Finishing Materials and DCV Systems on Environmental Comfort and Energy Consumption in Buildings.** *Energies*, v. 17, n. 16, 3937, 2024.
- MA, Z.; CUI, S.; CHEN, J. **Demand Response through Ventilation and Latent Load Adjustment for Commercial Buildings in Humid Climate Zones.** *Applied Energy*, 2024.
- MACARTHY, M. R.; BERNARDES, L. C.; DUARTE, C. M.; BEBER, L. A.; GRIGOLETTI, G. C.; CUNHA, E. G. **Análise comparativa do desempenho térmico em edifício histórico segundo dois algoritmos de cálculo de condução térmica.** In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., Canela, 2022. *Anais...* Porto Alegre: ANTAC, 2022.
- ZU, K.; QIN, M. **Development of a fast moisture prediction model based on the moisture buffer value theory.** *Journal of Physics: Conference Series*, v. 2654, 2023.