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

Comportamento higrotérmico de uma parede de concreto na zona bioclimática 2

Hygrothermal behavior of a concrete wall in the bioclimatic zone 2

Luciane Andreola Beber
UFPel | Pelotas | Brasil | E-mail: luandreolabeber@gmail.com
Eduardo Grala da Cunha
UFPel | Pelotas | Brasil | E-mail: eduardo.grala@ufpel.edu.br
Nathan Mendes
PUCPR | Curitiba | Brasil | E-mail: nathan.mendes@pucpr.br
Luiza Coutinho Bernardes
PUCPR | Curitiba | Brasil | E-mail: luizacber@gmail.com
Angela Borges Masuero
UFRGS| Porto Alegre| Brasil | E-mail: angela.masuero@ufrgs.br
Jéssica Bersch
UFRGS | Porto Alegre | Brasil | E-mail: jessicadbersch@gmail.com
Liliane Bonadiman Buligon
PUCPR | Curitiba | Brasil | E-mail: libbonadimam@gmail.com

Resumo

A compreensão do comportamento higrotérmico em edifícios ressalta como as condições de temperatura e de umidade podem desenvolver problemas patológicos e afetar a saúde e o bem-estar dos ocupantes. Destaca-se a escassez de estudos sobre umidade no Brasil, evidenciando a necessidade de uma análise mais crítica das propriedades higrotérmicas de materiais de construção em simulações computacionais. O objetivo é comparar os dados obtidos nos ensaios com os dados padrões do programa *WUFI-Pro 6.7*, com o intuito de aprimorar a precisão das simulações no Brasil. O método foi definido em 3 etapas: 1ª - Bibliografia, 2º - Caracterização das variáveis higrotérmicas em laboratório como: resistência ao vapor de água, absorção de água por capilaridade e isotermas de adsorção e dessorção, 3º - Simulações. Os resultados das simulações com os dados padrões superestimaram os valores dos ensaios em cerca de 20%, em relação tanto ao risco de condensação superficial como ao de crescimento de fungos filamentosos. Conclui-se que os dados de materiais disponíveis na base de dados do programa podem distorcer a realidade local de comportamento higrotérmico, destacando a importância do levantamento dessas propriedades higrotérmicas dentro do contexto nacional.

Palavras-chave: Propriedades higrotérmicas. Materiais porosos. Simulações. Umidade.

Como citar:
BEBER, L. A. et. al. Comportamento higrotérmico de uma parede de concreto na zona bioclimática 2. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

Abstract

Understanding hygrothermal behavior in buildings highlights how temperature and humidity conditions can lead to pathological issues and affect the health and well-being of occupants. There is a notable scarcity of studies on humidity in Brazil, underscoring the need for a more critical analysis of the hygrothermal properties of construction materials through computer simulations. The goal is to compare the data obtained from experiments with the standard data from the WUFI-Pro 6.7 program to enhance the accuracy of simulations in Brazil. The method was defined in three stages: 1-Literature review,2-Characterization of hygrothermal variables in the laboratory such as water vapor resistance, capillary water absorption, and adsorption and desorption isotherms,3 - Simulations. The simulation results using the standard data overestimated the experimental values by about 20%, concerning both the risk of surface condensation and the growth of filamentous fungi. It is concluded that the material data available in the program's database can distort the local reality of hygrothermal behavior, highlighting the importance of assessing these hygrothermal properties within the national context.

Keywords: Hygrothermal properties. Porous materials. Simulations. Moisture.

INTRODUÇÃO

A compreensão do comportamento higrotérmico em edifícios destaca como as condições de temperatura e umidade podem causar problemas patológicos e afetar a saúde e o bem-estar dos ocupantes. A umidade favorece o desenvolvimento de fungos, impactando negativamente a saúde dos ocupantes [1], amplificando o desconforto térmico e aumentando o consumo de energia, além de contribuir para a deterioração dos materiais [2].

No contexto brasileiro, há relato de pesquisadores que têm se empenhado em examinar o desempenho higrotérmico de sistemas construtivos. Através de diversas abordagens metodológicas, como observações em campo (por exemplo, DANTAS *et al*. [3]; ZANONI *et al*. [4]), análises da ocorrência de condensação superficial em estruturas [5][6], estudos sobre a presença de mofo [7], investigações sobre a influência dos elementos climáticos na deterioração de fachadas [1][8][9], e exploração dos riscos de umidade em diferentes regiões do Brasil [10][11], têm-se destacada a relevância de considerar cuidadosamente o desempenho higrotérmico das construções no País, bem como a necessidade premente de implementar medidas preventivas para mitigar os potenciais problemas relacionados à umidade.

A investigação das propriedades higrotérmicas dos materiais é um campo recente no Brasil, resultando em uma lacuna na base de dados nacional [1]. A simulação do desempenho higrotérmico de edifícios é precisa, mas sua confiabilidade depende dos dados de entrada e do modelo numérico utilizados. A escassez de dados adequados sobre as características higrotérmicas dos materiais de construção limita a eficácia dessa ferramenta, tornando fundamentais os estudos experimentais sobre materiais brasileiros [12].

Conforme apontado por Zanoni [1], características como resistência ao vapor de água, coeficiente de absorção de água líquida e isotermas de equilíbrio (curvas de

adsorção/dessorção) desempenham um papel crucial na compreensão dos mecanismos de transferência de calor e umidade durante simulações computacionais de desempenho higrotérmico.

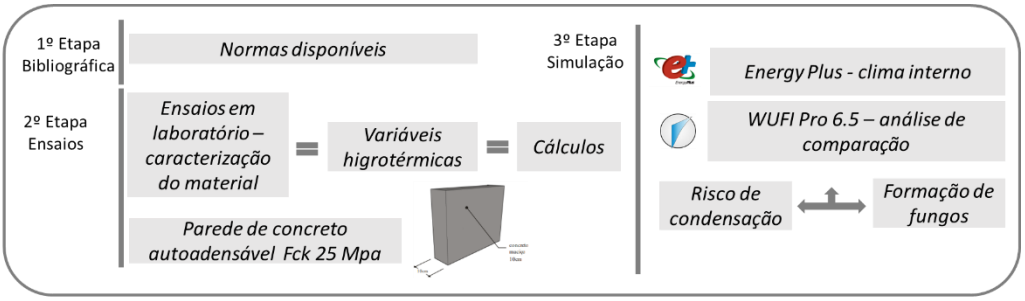
Segundo Beber [13], devido à limitada disponibilidade de dados higrotérmicos específicos para o Brasil e à dependência dos bancos de dados globais de programas de simulação, é essencial realizar testes laboratoriais para obter informações precisas. Beber et al. [14] destacam que diversos modelos matemáticos foram desenvolvidos para simular a transferência de umidade e calor em construções, muitos integrados em programas como Domus*, BSim, DELPHIN, MOIST e WUFI. O WUFI*, validado pela EN 15026 [15] e amplamente utilizado mundialmente, é considerado uma ferramenta confiável. Este artigo utilizou o WUFI Pro, com base no modelo de Künzel [16], para examinar condições higrotérmicas, inserindo manualmente ou obtendo do banco de dados as propriedades higrotérmicas dos materiais, sob condições climáticas da zona bioclimática 2.

Este artigo apresenta resultados de simulação higrotérmica de paredes de concreto autoadensável moldado in loco, utilizando dados do programa *WUFI Pro 6.7* e testes laboratoriais. Avalia a condensação superficial e formação de fungos, explorando as vantagens e obstáculos do uso do banco de dados do software para modelar o transporte de umidade em paredes de concreto no Sul do Rio Grande do Sul, Brasil. Assim, o estudo busca contribuir para uma melhor compreensão do impacto das propriedades higrotérmicas dos materiais, medidas em laboratório, na transferência de umidade em ambientes construídos.

METODOLOGIA

Esse estudo usou a mesma metodologia de Beber [13], dividida em 3 etapas distintas: (1) Pesquisa bibliográfica, (2) Ensaios em laboratório e (3) Simulações, conforme Figura 1.

Figura 1: Infográfico do método



Fonte: BEBER *et al.* [14]. Adaptação do autor.

1ª ETAPA BIBILIOGRÁFIA: NORMAS DISPONÍVEIS

A primeira fase envolve a definição das propriedades higrotérmicas essenciais para as simulações computacionais, juntamente com os ensaios laboratoriais para coletar

dados sobre o fator de resistência ao vapor de água, absorção de água e isotermas de adsorção e dessorção.

Para garantir a qualidade e consistência dos produtos, registros e procedimentos, foram seguidas normas ISO, conforme recomendado pela ABNT NBR 13281-1 [17], para os ensaios laboratoriais relacionados às propriedades higrotérmicas. Estas normas incluem a ISO 12572 [18] que aborda o desempenho higrotérmico de materiais de construção e produtos, além da BS EN ISO 15148 [19] e BS ISO 24353 [20] que tratam da determinação do coeficiente de absorção de água por imersão parcial e das propriedades de adsorção/dessorção de umidade em resposta a variações de umidade, respectivamente.

As amostras foram preparadas e os ensaios conduzidos no laboratório LAMTAC-NORIE da UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul), utilizando os equipamentos necessários dentro de câmaras com temperatura e umidade controladas de acordo com as normas específicas para cada propriedade higrotérmica.

2ª ETAPA ENSAIOS: CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL - VARIÁVEIS HIGROTÉRMICAS

O concreto escolhido como amostra neste estudo é um concreto autoadensável com resistência característica à compressão de 25 MPa (Fck 25MPa), amplamente empregado na construção de paredes de concreto *in loco* na cidade de Pelotas, RS. A seleção desse material foi motivada por pesquisas recentes realizadas pelo Núcleo Parede de Concreto (é um ambiente criado pela SIGNO – Engenharia de Processos para organizar informações, serviços e discussões, além de mostrar boas soluções e resultados no uso do sistema construtivo parede de concreto moldada no local), que observaram um notável aumento na utilização de paredes de concreto como elemento de vedação em projetos de construção na região de Pelotas. Estudos acadêmicos têm corroborado essa tendência ascendente, ressaltando as vantagens técnicas e econômicas desse método construtivo [21].

Com o intuito de realizar simulações comparativas entre os resultados dos testes realizados e os dados padrão do programa, foi estabelecido um critério para a seleção do concreto na base de dados do software de simulação, conforme discutido por Brito e Silva [22] em uma análise sobre a sensibilidade do comportamento higrotérmico de paredes a diferentes características do concreto.

Dessa forma, visando garantir uma comparação precisa e consistente entre os resultados dos dois conjuntos de testes, procurou-se escolher um tipo de concreto que se aproximasse ao máximo das características normativas do concreto utilizado na amostra do ensaio.

Para a realização do ensaio, as amostras foram concretadas no local em recipientes que asseguraram uma espessura constante de 10 cm, representando as paredes concretadas em diversos empreendimentos em Pelotas, RS.

A seguir, serão apresentados os ensaios conduzidos e os cálculos numéricos realizados para CP de concreto autoadensável FCK 25 MPa, acompanhados por uma análise detalhada dos cálculos numéricos, juntamente com uma descrição dos procedimentos

metodológicos adotados, ressaltando as adaptações essenciais realizadas para a condução eficaz dos ensaios.

RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA

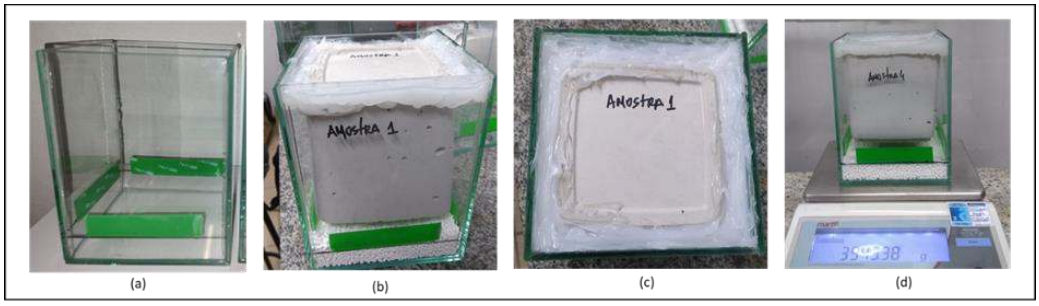
Para avaliar a resistência ao vapor de água na amostra de concreto, foi empregada a metodologia proposta por Salomão [23]. As amostras foram concretadas em moldes de plástico, conforme as dimensões estabelecidas pela norma correspondente ao número de amostras por metro quadrado. Após o processo de concretagem, as amostras foram expostas ao meio ambiente durante 24 horas para cura. Posteriormente, foram desmoldadas e armazenadas em uma caixa, permanecendo expostas ao ambiente por mais 60 dias antes dos ensaios.

A preparação das amostras para o ensaio é detalhada na Figura 2. Inicialmente, foram preparados recipientes de vidro específicos para o tamanho das amostras de concreto, com o objetivo de preservar a espessura original da amostra, representativa de uma parede de concreto. Para manter uma distância de 2 cm entre a amostra e o cloreto de cálcio ($CaCl_2$), utilizado como agente dessecante, foi aplicada uma fita dupla face verde, como mostrado nas imagens. Dessa forma, a amostra de concreto foi posicionada sobre as fitas para evitar o contato direto com o sal.

No interior dos recipientes, foi disposta uma camada de 2 cm de cloreto de cálcio (CaCl2) granulado, seguida por uma camada de ar de 2 cm, e então a amostra de concreto. As laterais da amostra foram vedadas ao recipiente para permitir apenas a passagem de vapor pelas faces do concreto.

O ensaio foi realizado de acordo com as diretrizes estabelecidas na norma ISO 12572 [18], utilizando 3 amostras. Por fim, as amostras preparadas foram pesadas antes do início do ensaio.

Figura 2: Preparo das amostras de concreto. (a) recipiente de vidro com fita dupla face para garantir a distância de 2 cm entre o sal e a amostra; (b) amostra com cloreto de sódio; camada de ar e amostra; (d) pesagem das amostras.



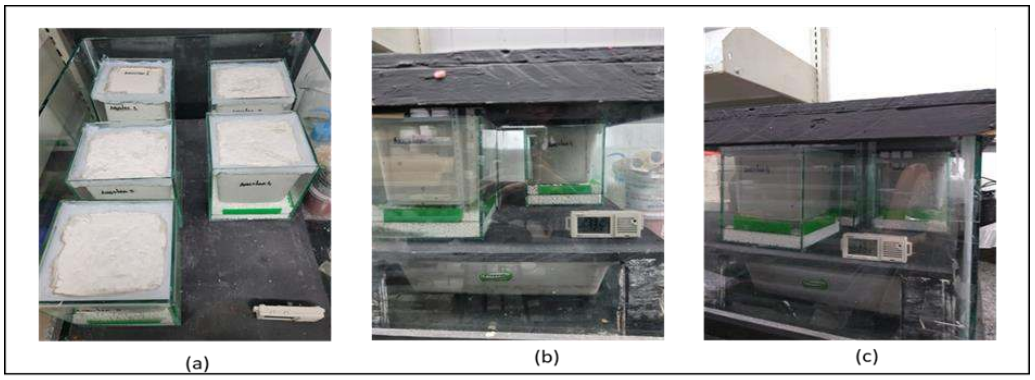
Fonte: Beber [13].

A Figura 3 apresenta o ensaio conduzido na amostra de concreto, conforme prescrito pela normativa correspondente. Após a devida preparação, as seis amostras foram dispostas em uma câmara climatizada contendo uma solução saturada de nitrato de magnésio Mg $(NO_3)_2$, conforme ilustrado na Figura 3a. A umidade relativa foi ajustada para 85%, em conformidade com a média observada na cidade de Pelotas, RS. O monitoramento e controle da umidade foram efetuados por meio de um dispositivo

do tipo datalogger, que registra e controla a temperatura e a umidade, como exemplificado nas Figuras 3b e 3c.

As amostras foram submetidas a pesagens diárias no mesmo horário, até que se verificasse a estabilização na variação de massa.

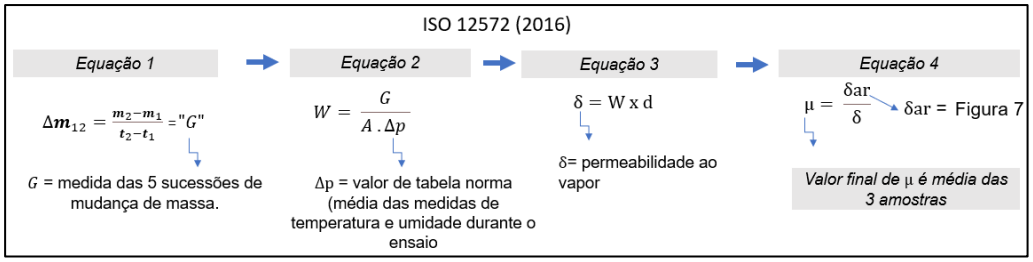
Figura 3: Ensaio da resistência à difusão de vapor de água do concreto, (a) amostras prontas dentro da câmara; (b e c) amostras dentro da câmara com a tampa fechada e controle de umidade e temperatura pelo *datalogger.*



Fonte: Beber [13].

Após a conclusão do ensaio, os cálculos e expressões de resultados foram aplicados para determinar o Fator de Resistência ao vapor de água [μ], conforme figura 4.

Figura 4: Fluxograma das equações e sequências dos cálculos numéricos para determinação da resistência à difusão de vapor de água.



Fonte: Beber, 2023.

ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

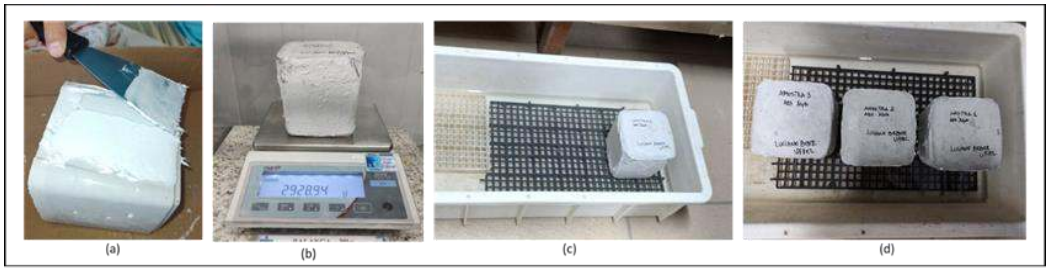
Nesse ensaio, as amostras foram submetidas a um processo de imersão parcial em água, sem alteração de temperatura, com o propósito de calcular o coeficiente de absorção de água líquida em um período breve. Esse método proporciona dados precisos sobre a capacidade de absorção de água das amostras, o que contribui para a avaliação das propriedades relacionadas à durabilidade e desempenho do material.

Na Figura 5, é ilustrada a preparação das amostras e o equipamento utilizado para conduzir o ensaio dos corpos de prova. Inicialmente, as faces das amostras foram vedadas com silicone (Figura 5a), seguido pela etapa de pesagem individual das amostras (Figura 5b). Em seguida, cada amostra foi colocada na grelha, uma por vez, com um intervalo de 3 minutos entre cada inserção, garantindo a uniformidade do

processo. A grelha continha uma lâmina de água de 5 mm de espessura, controlada por uma régua metálica (Figura 5c).

Conforme estabelecido pela norma BS EN ISO 15148 [19], em relação ao número de corpos de prova, foram testados neste caso três exemplares (Figura 5d). Cada amostra foi cuidadosamente vedada com um selante resistente à água, deixando a parte superior livre, enquanto a face inferior permaneceu em contato com a água. Além disso, as amostras foram devidamente pesadas e condicionadas de acordo com as diretrizes estabelecidas na norma, garantindo a condução adequada do ensaio.

Figura 5: Ensaio de absorção de água por capilaridade do concreto. (a) amostras sendo seladas;(b) pesagem das amostras;(c) início da colocação das amostras na grelha;(d) teste realizados com três amostras.

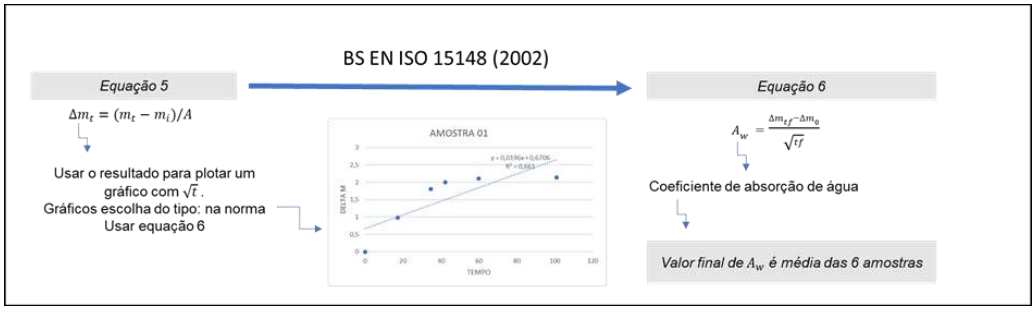


Fonte: Beber [13].

Os corpos de prova de concreto foram submetidos a um processo de imersão, seguido pela remoção e secagem da superfície, sendo que o excesso de água foi retirado apenas com uma esponja. As pesagens foram realizadas em intervalos de tempo definidos: 20 minutos, 1 hora, 2 horas, 4 horas e 8 horas, com medições adicionais após 24 e 48 horas, visando obter uma série de massas correspondentes a diferentes períodos.

Após a conclusão do ensaio, os cálculos e expressões de resultados foram aplicados para determinar o valor do coeficiente de absorção de água por capilaridade, conforme Fig. 6.

Figura 6: Fluxograma das fórmulas dos cálculos numéricos para a determinação da absorção de água por capilaridade.



Fonte: Beber [13].

ISOTERMAS DE ADSORÇÃO E DESSORÇÃO

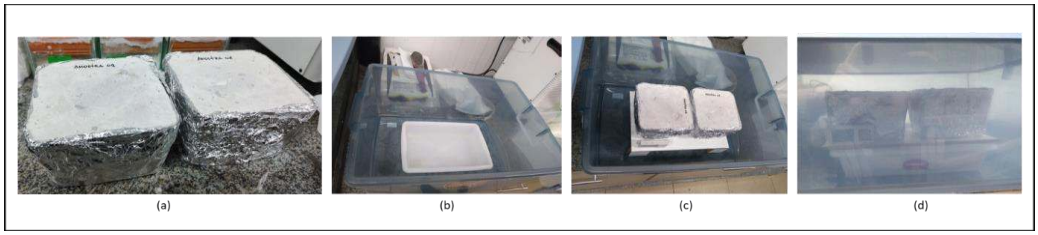
O ensaio das Isotermas foi conduzido de acordo com a norma BS ISO 24353 [20], que aborda o desempenho higrotérmico de materiais e produtos de construção,

especificamente na determinação das propriedades de adsorção/dessorção de umidade em resposta a variações a umidade.

Para a preparação do ensaio, seguindo as orientações da norma, foram selecionadas duas amostras, mantendo a espessura original do produto. Na Figura 7a, é possível visualizar os Corpos de Prova (CPs) selados com papel alumínio, acompanhados da bandeja contendo água e cloreto de sódio (NaCl), utilizado para atingir uma umidade relativa de 75% dentro da caixa selada (Figura 7b e 7c).

O ensaio teve início com a colocação das amostras dentro de uma caixa com tampa, cuja umidade relativa foi controlada por um datalogger responsável pelo registro de temperatura e umidade relativa (Figura 7d). As amostras permaneceram dentro da caixa fechada, em uma câmara adaptada, com umidade relativa de 60% ± 5% e temperatura de 23°C ± 2ºC, durante 24 horas. Essa etapa é fundamental para estabilizar as condições iniciais das amostras antes do início do ensaio principal.

Figura 7: Ensaio das Isotermas de equilíbrio do concreto. (a) amostras seladas com papel alumínio; (b e c) bandeja com água e cloreto de sódio; (d) caixa adaptada com controle de temperatura e umidade.

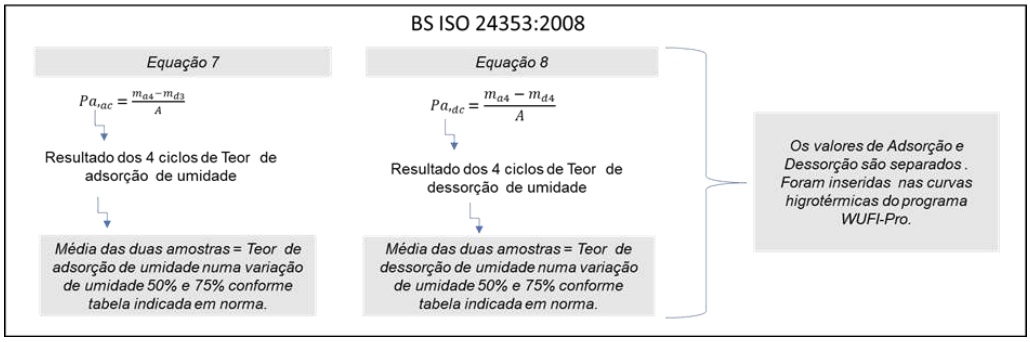


Fonte: Beber [13].

Após esse período, a caixa foi transferida para outra câmara com umidade relativa de 50% ± 5% e mesma temperatura, porém com a tampa aberta. Nessa segunda câmara, a caixa também permaneceu por 24 horas. Esse ciclo de 24 horas em cada câmara foi repetido por um total de 4 vezes, conforme estabelecido pela norma no teste cíclico.

Ao término dos 4 ciclos de 24 horas, foram obtidos os valores do "Teor de umidade de adsorção" e do "Teor de umidade de dessorção", assim como suas diferenças, através das equações pertinentes. Estes valores foram então inseridos no programa *WUFI Pro 6.7*, na curva higroscópica do material, dentro das propriedades higrotérmicas. A Figura 8 abaixo mostra o fluxograma dos cálculos realizados, conforme norma.

Figura 8: Fluxograma dos cálculos das Isotermas



Fonte: Beber [13].

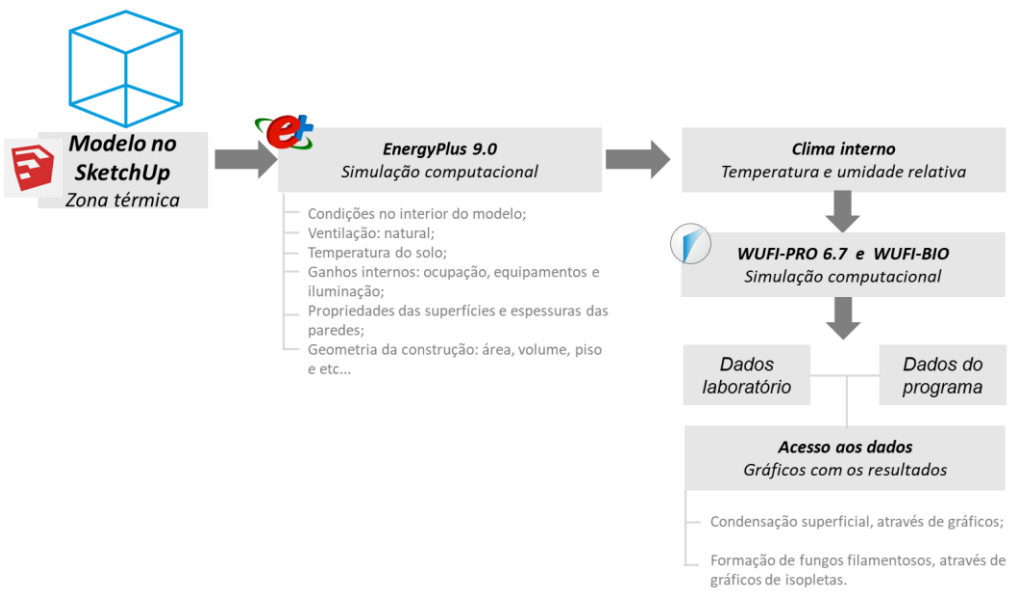
3ª ETAPA SIMULAÇÕES: ENERGY PLUS E WUFI PRO 6.7

Dois programas, EnergyPlus 9.0 e WUFI Pro 6.7, foram utilizados para simulação. Os modelos de simulação foram definidos de acordo com norma ABNT [24], do Grupo de Trabalho de Umidade da Comissão de Eficiência Energética da ABNT.

O arquivo meteorológico utilizado para Pelotas, zona bioclimática 2, conforme norma NBR 15220-3 [25], foi o arquivo meteorológico TRY desenvolvido por Leitzke *et al.* [26]. Na Figura 9, fluxograma das simulações.

A edificação simulada possuía 36,15 m², com dimensões de 6,0 m x 5,9 m, e foi dividida em quatro zonas térmicas. Este edifício incluía sala e cozinha integradas, dois quartos e um banheiro, baseado no SINAT, Sistema Nacional de Avaliações Técnicas de Produtos Inovadores e Sistemas Convencionais, Diretriz nº 001 [27].

Figura 9: Fluxograma das simulações



Fonte: Beber, 2023. Adaptação do autor.

Na etapa inicial das simulações, foi adotada uma abordagem que se baseou na ventilação natural dos ambientes, empregando duas ferramentas diferentes: o *EnergyPlus 9.0* e o *WUFI Pro 6.7*. O objetivo da primeira simulação, realizada com o *EnergyPlus 9.0*, foi adquirir informações referentes à temperatura e umidade relativa interna da zona térmica única escolhida para o estudo de caso. Essas informações

foram registradas em intervalos de horários, criando um arquivo de clima interno. Este arquivo será posteriormente utilizado na simulação higrotérmica executada por meio do *WUFI Pro 6.7*, que utiliza dados ambientais internos e externos. Os resultados obtidos por esses programas de simulação são diretamente aplicáveis à análise proposta neste trabalho.

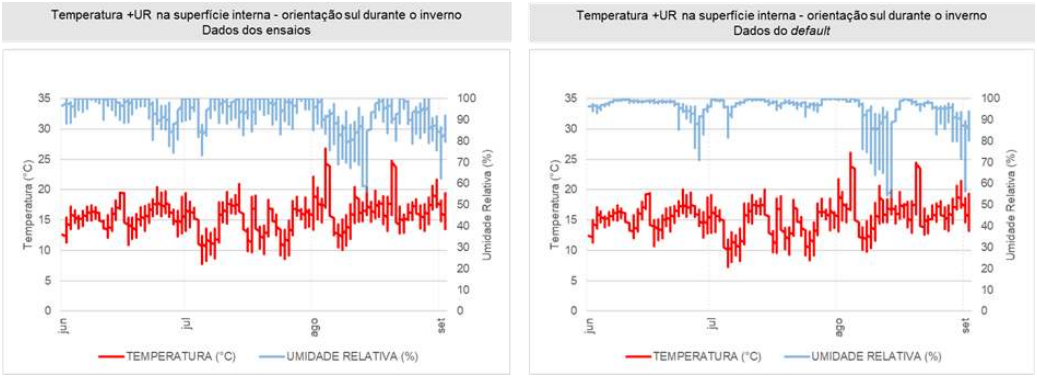
RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como resultado, foram analisadas variáveis higrotérmicas nas simulações no WUFI Pro, evidenciando diferenças, por meio de gráficos, e identificando locais propensos à condensação superficial e ao desenvolvimento de fungos filamentosos. Diante esses resultados, foi investigado o impacto das diferenças entre os dados coletados em laboratório com os dados do banco de dados do programa, na simulação de desempenho higrotérmico do edifício.

RISCO DE CONDENSAÇÃO SUPERFICIAL

Na Figura 10, o gráfico da simulação utilizando os dados das variáveis higrotérmicas obtidos nos ensaios representa o risco de condensação superficial na superfície interna durante o período de inverno, na orientação Sul.

Figura 10: Risco de condensação superficial, no período de inverno, na orientação Sul em ambos os cenários



(a) (b)

Fonte: Beber, 2023.

A Figura 10 (a) demonstra que, durante o inverno, os sinais de condensação superficial são mais evidentes no cenário com dados de ensaios, como indicado pela maior frequência de picos de 100% de umidade relativa (UR). Em contraste, a utilização de dados padrão (Figura10b) reduz os períodos de condensação superficial, conforme mostrado no gráfico. Essa observação ressalta a importância da criação de um banco de dados nacional.

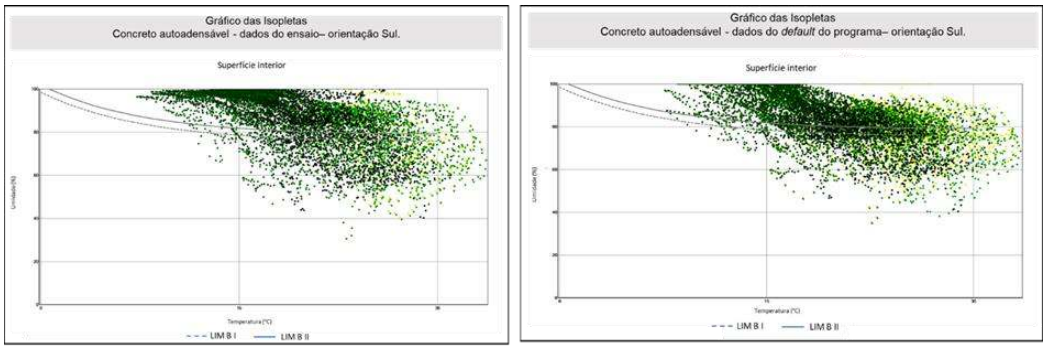
Observa-se que, embora a temperatura da superfície no cenário com dados de ensaio seja ligeiramente superior aos picos de temperatura nos cenários com configurações padrão do programa, a condensação superficial é mais comum durante os períodos frios nos cenários com dados locais.

Entretanto, é crucial destacar que a Figura 10 não oferece uma compreensão completa do fenômeno físico, pois a maior temperatura da superfície está associada a níveis menores de UR. Isso sugere que pode haver uma barreira imposta pelo material da parede, devido a um coeficiente de permeabilidade ao vapor mais baixo, resultando em uma UR mais baixa na parede.

FORMAÇÃO DE FUNGOS FILAMENTOSOS.

A Figura 11, representa o risco de formação de fungos filamentosos para ambos os cenários.

Figura 11: Gráfico das Isopletas – ambos cenários, Orientação Sul



Fonte: Beber, 2023.

A nuvem de pontos representa as condições higrotérmicas nas superfícies externa e interna do componente construtivo em um determinado momento. As curvas limitantes (LIM B I e LIM B II) representam os limites aceitáveis para cada tipo de material de construção e a indicação de cor mostra o momento em que cada ponto ocorreu durante a simulação, sendo os amarelos correspondentes ao início do cálculo higrotérmico, seguidos pelos tons de verde e, por fim, pelos pontos de cor preta, que representam o final do cálculo [28].

Na Figura 11, confirma o que foi visto anteriormente na situação de risco de condensação superficial. Embora as temperaturas sejam mais altas, o nível da UR foi alto, consequentemente ocorreu maior condensação, o que aumenta o risco de formação de fungos filamentosos, repercutindo no gráfico das isopletas com uma concentração de pontos próximos a 100% UR e um pequena concentração de pontos no gráfico das isopletas com os dados do programa.

O concreto autoadensável foi analisado para os dois cenários utilizando o modelo bio-higrotérmico (*WUFI Bio 4.0*), que teve um resultado de alerta vermelho para ambos os casos, conforme mostrado na Tabela I.

Tabela I: Avaliação do WUFI- Bio

Modelos	**Mould Growth (mm/ano)**	**Mould Index (MI)**	**Avaliação WUFI Bio**
Ensaio	980	5,90	Vermelho: Não aceitável
Default	730	5,2	Vermelho: Não aceitável

Fonte: Beber, 2023.

De acordo com Schmidt [28], a análise pelo modelo bio-higrotérmico confirma a alta formação de fungos em ambos os cenários, como mostra a Figura 11.

Concluiu-se que para esse material, concreto autoadensável Fck 25MPa, aplicado na cidade de Pelotas/RS, o banco de dados do programa subestimou em quase 20% a formação de fungos filamentosos, como também o risco de condensação superficial na superfície.

CONCLUSÕES

Este estudo foi conduzido com o objetivo de avaliar as variáveis higrotérmicas do concreto autoadensável com resistência característica de Fck 25 MPa. O intuito foi comparar os dados obtidos nos ensaios com os dados padrão fornecidos por programas de simulação, destacando a importância de criar um banco de dados nacional, uma vez que os dados padrão não são brasileiros e os resultados dos ensaios mostraram-se significativos.

Ao examinar os resultados relativos ao risco de condensação superficial e à formação de fungos filamentosos no concreto autoadensável, observa-se que a formação de fungos foi cerca de 20% maior com base nos dados dos ensaios.

Da mesma forma, os números relevantes em relação à condensação superficial observados, mostraram uma grande diferença quando os dados dos ensaios foram comparados com os dados padrão do programa.

Como sugestão para trabalhos futuros, é importante aprofundar a compreensão do fenômeno físico, considerando as diferenças no transporte de umidade entre a configuração padrão e os dados obtidos em ensaios.

Portanto, os resultados apresentados reforçam a importância de estudar o comportamento higrotérmico dos materiais em relação às condições climáticas brasileiras. Isso inclui o desenvolvimento de ensaios e pesquisas sobre as propriedades higrotérmicas dos materiais, bem como a criação de um banco de dados nacional. Essas ações são essenciais para compreender o desempenho higrotérmico das construções no Brasil e prevenir problemas relacionados à umidade e patologias associadas.

Por fim, os estudos sobre o transporte de umidade e comportamento higrotérmico têm ganhado significativa relevância no cenário atual. Além disso, essas pesquisas incentivam outros pesquisadores a realizar ensaios em laboratório, com o objetivo de construir um banco de dados nacional com materiais adequados às diversas zonas bioclimáticas brasileiras.

REFERÊNCIAS

[1] ZANONI, V. A. G. **Influência dos agentes climáticos de degradação no comportamento higrotérmico de fachadas em Brasília**. Universidade de Brasília, 2015. Disponível em: http://dx.doi.org/10.26512/2015.12.T.19579

[2] MENDES, N. **Modelos para Previsão da Transferência de Calor e de Umidade em Elementos Porosos de Edificações**. Universidade Federal de Santa Catarina. p. 1–219, 1997.

[3] DANTAS, A. L. F.; ZANONI, V. A. G. Simulação Computacional e Medições in loco: um Estudo do Desempenho Higrotérmico em um Edifício Alto em Brasília. **CBPAT - Congresso Brasileiro de Patologia das Construções.** p. 3143–3150, 2020.

[4] ZANONI, V. A. G. DANTAS, A.; NUNES, L. S.; RIOS, R. B. Estudo higrotérmico na autoconstrução: simulação computacional e medições em campo. **Ambiente Construído**, v. 20, p. 109–120, 2020. Disponível em: https://www.scielo.br/j/ac/a/YSwMKtht9S3vbP3ztChtRYt/?lang=pt#.

[5] BULIGON, L. B. **Comportamento higrotérmico e energético de painéis de vedação vertical externa em madeira para zona bioclimática 2**. Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil. Santa Maria, RS, 2021. Disponível em: http://repositorio.ufsm.br/handle/1/23381.

[6] PIRES, J. R. **Estimativa da condensação em edificações unifamiliares em território brasileiro: Simulação higrotérmica computacional**. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2020. Disponível em: http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/9454.

[7] 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**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, 2018. Disponível em: https://sapiens.ipt.br/Teses/2018_HAB_Thiago_Afonso.pdf.

[8] NASCIMENTO, M. L. M. **Aplicação da simulação higrotérmica na investigação da degradação de fachadas de edifícios.** Universidade de Brasília, 2016. Disponível em: http://repositorio2.unb.br/jspui/handle/10482/22199.

[9] VON EYE, F.; BRAGA, N.; ZANONI, V. A. G.; BAUER, E. Quantificação da ação do clima na degradação de fachadas em argamassa empregando a simulação higrotérmica. **SBTA - XII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas**, 2017.

[10] MORISHITA, C.; BERGER, J.; CARNEIRO, A.; MENDES, N. Issues about moisture in residential buildings of Brazil. **CIB World Building Congress 2016**, n. September, 2016.

[11] MORISHITA, C. **On the assessment of potential moisture risks in residential buildings across Brazil.** Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2020. Disponível em: https://archivum.grupomarista.org.br/pergamumweb/vinculos/00009a/00009a35.pdf

[12] 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.

[13] BEBER, L. A. **Viabilidade do uso de dados normatizados na simulação de desempenho higrotérmico de paredes.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) Pós- Graduação em Arquitetura e Urbanismos**.** Universidade Federal de Pelotas, 2023.

[14] BEBER, L. A.; BERNARDES, L. C.; BERSCH, J.; BULIGON, L. B.; MASUERO, A. B.; CUNHA, E. G. Comportamento higrotérmico de tijolo cerâmico de olaria do Sul do Brasil. **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, 19., 2022, Canela. Anais. Porto Alegre: ANTAC, 2022.

[15] **EN 15026:** Hygrothermal performance of building components and building elements - Assessment of moisture transfer by numerical simulation. 2007.

[16] KÜNZEL, H. M. **Transporte simultâneo de calor e umidade em componentes de edifícios: cálculo uni e bidimensional usando parâmetros simples.** Disponível: Fraunhofer IBR Verlag Estugarda, 1995.

[17] ABNT NBR **13281-1:** Argamassas inorgânicas – Requisitos e métodos de ensaio de Edificações. Rio de Janeiro, 2023.

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

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

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

[21] TUTIKIAN, B. F. et al. Viabilidade Técnica e Econômica do Concreto Autoadensável em Empresas de Pré-Moldado. **Concreto & Construções**, v. 34, n. 43, p. 30-35, jun./ago. 2006.

[22] BRITO, A. C.; BELIZARIO-SILVA, F. Análise de sensibilidade do comportamento higrotérmico de paredes com diferentes tipos de concreto. **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, 19., 2022, Canela. Anais. Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 1-14. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/2038/1952.

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

[24] Rascunho do Projeto de Norma ABNT – **Simulação computacional do comportamento higrotérmico de paredes** – Procedimento. Rio de Janeiro, 2023.

[25] ABNT **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático. Rio de Janeiro, 2003.

[26] 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.

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

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