XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Análise da sensibilidade do comportamento higrotérmico de uma parede a diferentes características higrotérmicas de concreto

Analysis of the sensitivity of the hygrothermal behaviour of a wall to different concrete hygrothermal characteristics

Adriana Camargo de Brito
Instituto de Pesquisas Tecnológicas | São Paulo | Brasil | adrianab@ipt.br
Fernanda Belizario-Silva
Instituto de Pesquisas Tecnológicas | São Paulo | Brasil | fbsilva@ipt.br

Resumo
Analisou-se a sensibilidade do comportamento higrotérmico de uma parede ao uso de quatro conjuntos de dados de características higrotérmicas de concreto disponíveis na base de dados do software WUFI-Pro. Os dados selecionados têm a mesma ordem de grandeza de massa específica e condutividade térmica, mas diferentes características e funções higrotérmicas. Considerou-se uma habitação térrea, nas condições desocupada e ocupada com ventilação natural. Os resultados mostram o efeito determinante das características higrotérmicas no teor de umidade da parede, na umidade relativa superficial interna e na proliferação superficial de bolor, indicando a importância de determinar experimentalmente tais características para materiais brasileiros.

Palavras-chave: Desempenho higrotérmico. Concreto. Bolor. Simulação computacional.

Abstract
We analysed the sensitivity of the hygrothermal behaviour of a wall to the use of four datasets of hygrothermal characteristics of concrete available in the WUFI-Pro software database. Selected data have the same order of magnitude of specific mass and thermal conductivity, but different hygrothermal characteristics. A ground floor dwelling was considered, both unoccupied and occupied with natural ventilation. The results show the determining effect of hygrothermal characteristics on the wall moisture content, internal surface relative humidity and surface mould proliferation, thereby indicating the importance of measuring experimentally such characteristics for Brazilian materials.

Keywords: Hygrothermal behaviour. Concrete. Mould. Computational simulation.

Como citar:
BRITO, A. C.; BELIZARIO-SILVA, F. Análise de sensibilidade do comportamento higrotérmico de paredes com diferentes tipos de concreto. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 1-14.

INTRODUÇÃO

A estanqueidade à água é um requisito de desempenho importante para os elementos construtivos que compõem a envoltória do edifício e para aqueles em contato com áreas molhadas e molháveis. Além disso, a água é um conhecido fator de degradação de diferentes materiais de construção. A norma brasileira de desempenho de edifícios, ABNT NBR 15575 [1], estabelece requisitos, critérios e métodos de avaliação da permeabilidade e estanqueidade à água de edifícios habitacionais e suas partes. Entretanto, os ensaios consideram apenas a penetração de água líquida, por um tempo relativamente curto (horas ou dias), desconsiderando a ação do vapor d'água e efeitos de longa duração (anos).

Para complementar essa avaliação, que considerada somente a água em seu estado líquido, é possível realizar simulações computacionais para análise do comportamento higrotérmico de elementos construtivos [2], que consideram trocas transientes (não-estacionárias) e simultâneas de calor e umidade e permitem avaliar o comportamento do elemento construtivo ao longo de anos, o que seria inviável por meio de ensaios.

Os resultados das simulações possibilitam avaliar o risco de condensação superficial e intersticial, calcular os teores de umidade de cada camada do elemento construtivo (entre outros parâmetros), que podem ser comparados aos valores considerados aceitáveis para cada tipo de material para evitar situações que propiciem sua degradação. Há ainda ferramentas que utilizam os resultados da simulação higrotérmica para avaliar o risco de desenvolvimento de bolores em edificações [4].

Em alguns países, a simulação higrotérmica já é requerida por norma para sistemas construtivos cujo comportamento higrotérmico não é bem conhecido, visando principalmente à comprovação do atendimento aos requisitos de eficiência energética da envoltória [3], uma vez que a presença de umidade afeta negativamente o isolamento térmico. Entretanto, apesar do nível avançado de desenvolvimento dessas ferramentas no exterior, o histórico de realização de simulações higrotérmicas no Brasil ainda é incipiente. Há falta de dados de entrada importantes, dos quais destacam-se os arquivos climáticos com anos higrotérmicos típicos [5] [6] e as características higrotérmicas dos materiais de construção brasileiros, sobretudo as que dizem respeito ao transporte de umidade (por exemplo, isotermas de sorção).

O objetivo deste artigo é apresentar uma análise de sensibilidade do comportamento higrotérmico de uma parede de concreto ao uso de diferentes conjuntos de dados de características higrotérmicas do material, utilizando o software WUFI-Pro. Trata-se de uma análise exploratória, que visa compreender a influência dos dados que descrevem as características e funções higrotérmicas dos materiais nos resultados de simulações higrotérmicas, utilizando uma parede de concreto a título de exemplo. Como isso, busca-se embasar a definição de prioridades para a obtenção de dados brasileiros sobre características higrotérmicas de materiais de construção.

MÉTODO

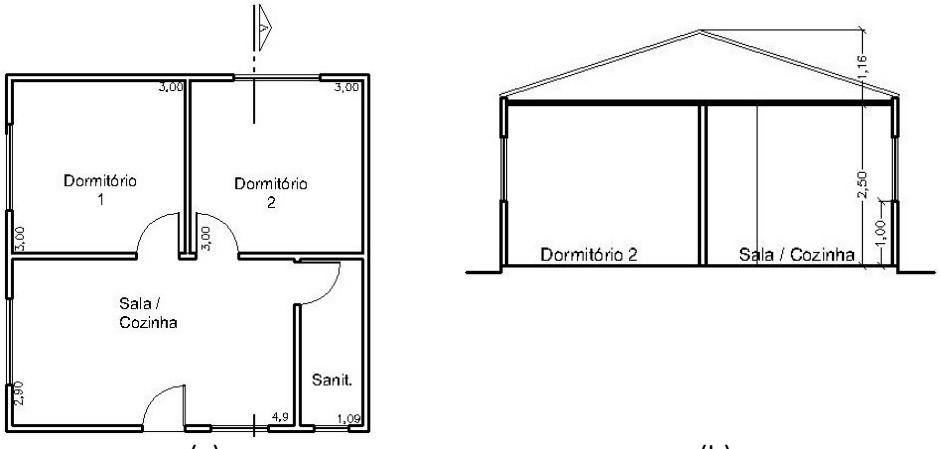
Foram realizadas simulações do comportamento higrotérmico de uma parede de fachada de uma casa térrea típica de interesse social (**Figura 1**), composta por lajes de piso e de cobertura de concreto armado com 10 cm de espessura, paredes de concreto com 10 cm de espessura, telhado com telhas de fibrocimento com 6 mm de espessura, portas de 2 cm de madeira e janelas com vidros comuns com espessura de 3 mm.

Foi utilizado o programa EnergyPlus (versão 9.4) para obter as condições internas de temperatura e umidade relativa do ar para o "dormitório 1" com janela voltada para a direção Sul, por ser a condição mais crítica em termos de temperatura e umidade. O dormitório foi selecionado para análise, por ser um ambiente com maior ocorrência de patologias associadas à umidade e bolor em unidades habitacionais de interesse social [7].

As condições ambientais internas extraídas do EnergyPlus foram então inseridas no programa de simulação higrotérmica WUFI-Pro (versão 5.3), considerando um período de três anos. Foram adotados dados de quatro tipos diferentes de concreto disponíveis na base de dados do programa WUFI-Pro. A verificação da proliferação de bolor foi feita com o programa de pós-processamento WUFI-BIO [4], para o primeiro ano, em que se verificaram os maiores teores de umidade nas paredes analisadas.

É importante mencionar que este artigo não tem como objetivo avaliar o desempenho do sistema construtivo de paredes de concreto, tão pouco dos diferentes tipos de concreto selecionados para a análise. O objetivo consiste em analisar a sensibilidade dos resultados da simulação higrotérmica a diferentes características higrotérmicas dos materiais. Optou-se por utilizar uma parede de concreto como objeto de estudo, por ser um elemento construtivo constituído de um único material e, portanto, apropriados à simulação unidimensional feita no WUFI-Pro.

Figura 1 - Projeto da habitação, sem escala: a) planta; b) corte.



(a) (b)

Fonte: CDHU, 1997.

CONDIÇÕES AMBIENTAIS INTERNAS

A habitação foi simulada no EnergyPlus com modelo de cálculo *Conduction Transfer Functions - CTF*, que não considera a umidade no interior de elementos construtivos, em duas situações:

1. Desocupada, com renovação do ar apenas através de frestas, para analisar a interação da envoltória com o clima isoladamente;
2. Ocupada, com fontes internas de calor e umidade e ventilação natural, para analisar também o efeito das condições de uso.

As características das janelas e horários em que ocorre a ventilação natural são conforme a NBR 15575-1 [1], considerando 50% da área da janela. As fontes de calor e umidade consideradas são apresentadas na **Tabela 1**.

Tabela 1 – Fontes de calor e umidade consideradas na condição ocupada.

Ambiente	Fonte de calor e/ou umidade	Horário de ocupação	Potência	Fração radiante	Geração de vapor d'água
Sala/cozinha	4 pessoas	13h às 22h	130 W/pessoa [8]	0,5	-
	Iluminação		5 W/m² [1]	0,3	-
	1 televisor		120 W [1]	0,3	-
	4 panelas c/ água fervente	13h às 14h	-	-	456 g/h [9]
		19h às 20h			
Dormitórios	2 pessoas	22h às 08h	80 W/pessoa [8]	0,5	-
Banheiro	1 pessoa	18h às 19h	130 W/pessoa [8]	0,5	-
	Iluminação		5 W/m² [1]	0,3	-
	1 chuveiro		-	-	450 g/h [9]

Fonte: os autores.

CONDIÇÕES CLIMÁTICAS

Na ausência de arquivos climáticos do tipo *Hygrothermal Reference Year – HRY,* que representem um ano com condições de umidade mais desfavoráveis do que a média, foi adotado um arquivo climático da cidade de São Paulo, do tipo *Typical Meteorological Year – TMY,* com dados médios obtidos do INMET e informações horárias de precipitação, velocidade e direção do vento, como outros autores brasileiros [10] [11] [12] [14].

CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS

Para as paredes, selecionaram-se quatro concretos disponíveis na base de dados do programa WUFI-Pro, com características higrotérmicas diferentes. A Tabela 2 apresenta as principais características desses materiais, além das telhas de fibrocimento e da porta de madeira consideradas na simulação no EnergyPlus.

Tabela 2 - Características dos materiais.

Descrição	Condutividade térmica (W/(m.K))	Calor específico (J/(kg.K))	Emissividade	Densidade (kg/m³)	Porosidade	Fator de resistência à difusão de vapor d´água
Concreto A[1]	1,6	850	0,9	2220	0,18	248
Concreto B	1,6	850	0,9	2200	0,18	92
Concreto C[1]	1,6	850	0,9	2200	0,18	180
Concreto D[1]	1,37	776	0,9	2104	0,22	76
Fibrocimento[2]	0,65	840	0,9	1700	-	-
Madeira[2]	0,18	840	0,9	800	-	-

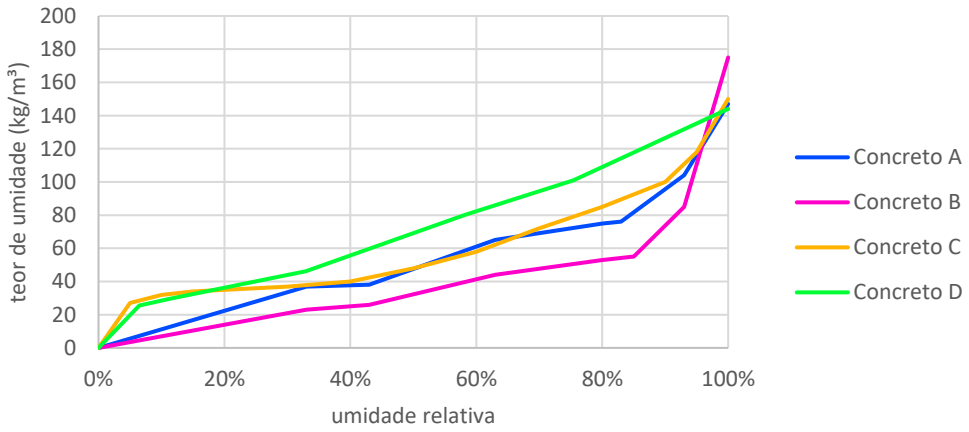
Fonte: [1] Biblioteca do programa WUFI-Pro; [2] NBR 15220 [13]

A Figura 2, Figura 3 e Figura 4 apresentam as funções higrotérmicas dos concretos considerados na análise, quais sejam:

- Isoterma de sorção: expressa o teor de umidade do material em função da umidade relativa do ar, considerando a absorção higroscópica de vapor d'água pelo material;
- Coeficiente de transporte capilar de sucção (D_{ws}) versus teor de umidade: o coeficiente D_{ws} é uma medida indireta da velocidade de absorção de água líquida por capilaridade do material e varia conforme seu teor de umidade;
- Coeficiente de transporte capilar de redistribuição (D_{ww}) versus teor de umidade: o coeficiente D_{ww} é uma medida indireta da velocidade de redistribuição da água líquida absorvida pelo material em seu interior (por efeito da capilaridade) e varia conforme seu teor de umidade.

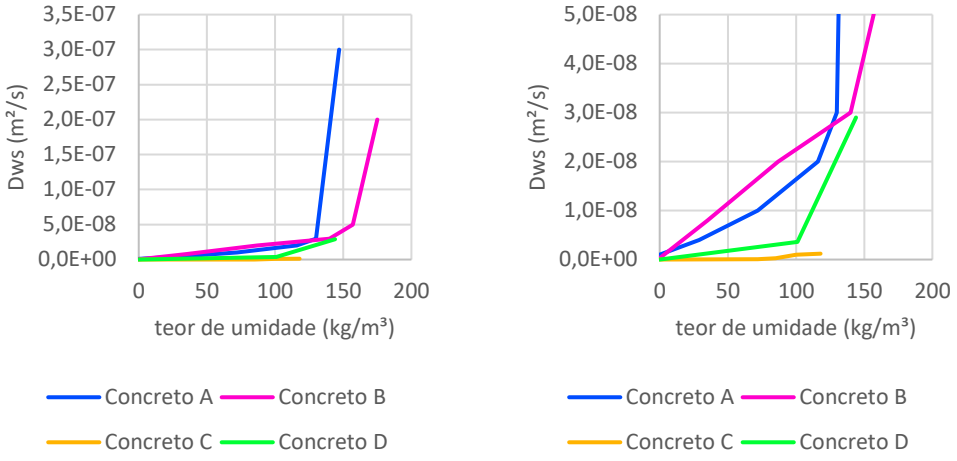
Materiais expostos à água líquida absorvem a água por capilaridade pelos poros maiores em um primeiro momento (D_{ws}) e depois a "redistribuem" internamente pelos poros menores (D_{ww}).

Figura 2 – Isotermas de sorção dos concretos considerados.



Fonte: adaptado da biblioteca do WUFI-Pro pelos autores.

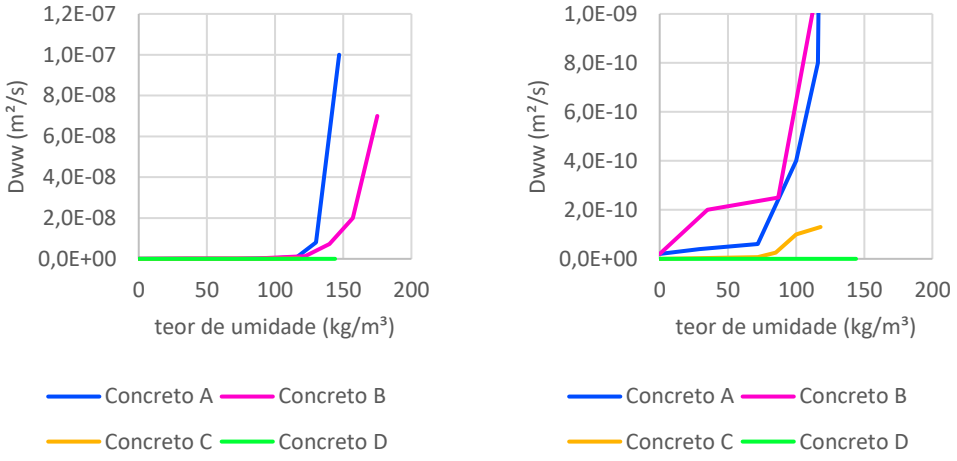
Figura 3 – Coeficiente de transporte capilar de sucção (D_{ws}) versus teor de umidade: a) curva total; b) ampliação do início da curva.



(a) (b)

Fonte: adaptado da biblioteca do WUFI-Pro pelos autores.

Figura 4 – Coeficiente de transporte capilar de redistribuição (D_{ww}) versus teor de umidade: a) curva total; b) ampliação do início da curva.



(a) (b)

Fonte: adaptado da biblioteca do WUFI-Pro pelos autores.

Para o vidro, considerou-se o fator solar de 0,87. As faces das paredes têm absortância à radiação solar de 0,5 e foram simuladas no WUFI-Pro sem pintura, por representar uma condição mais crítica de absorção de umidade. Considerou-se umidade inicial do concreto de 147 kg/m³, conforme dados da biblioteca do WUFI-Pro, o que equivale a um teor de umidade aproximado entre 6% e 7% (em massa).

PROCEDIMENTOS ESPECÍFICOS DO WUFI-PRO

Foi adotada malha fina, com modelo de cálculo que considera dependência da umidade e temperatura para cálculos da condutividade térmica dos materiais, além da opção de aumento da precisão de cálculos e adaptação de convergência.

Para consideração da chuva dirigida na fachada, adotou-se o modelo da ASHRAE 160, por resultar em índices mais rigorosos [6]. Considerou-se fator de exposição à chuva igual a 1 e fator de deposição igual a 0,5, devido às características da habitação [14].

PROCEDIMENTOS ESPECÍFICOS DO WUFI-BIO

Os dados de temperatura e umidade superficiais foram inseridos no programa WUFI-Bio para a verificação do risco de ocorrência de bolor na superfície interna da parede da fachada. De acordo com este modelo [4], ocorre bolor quando o teor de umidade no interior do esporo é superior ao teor de umidade crítico dependendo do substrato (classe I para materiais biodegradáveis e classe II para materiais porosos).

Os resultados são apresentados em função do índice de crescimento de bolor, considerando uma escala de 0 a 6 (Tabela 3), sendo 0 a não ocorrência de bolor e 6 a cobertura de 100% da superfície por bolor [15].

Tabela 3 – Índice de crescimento de bolor.

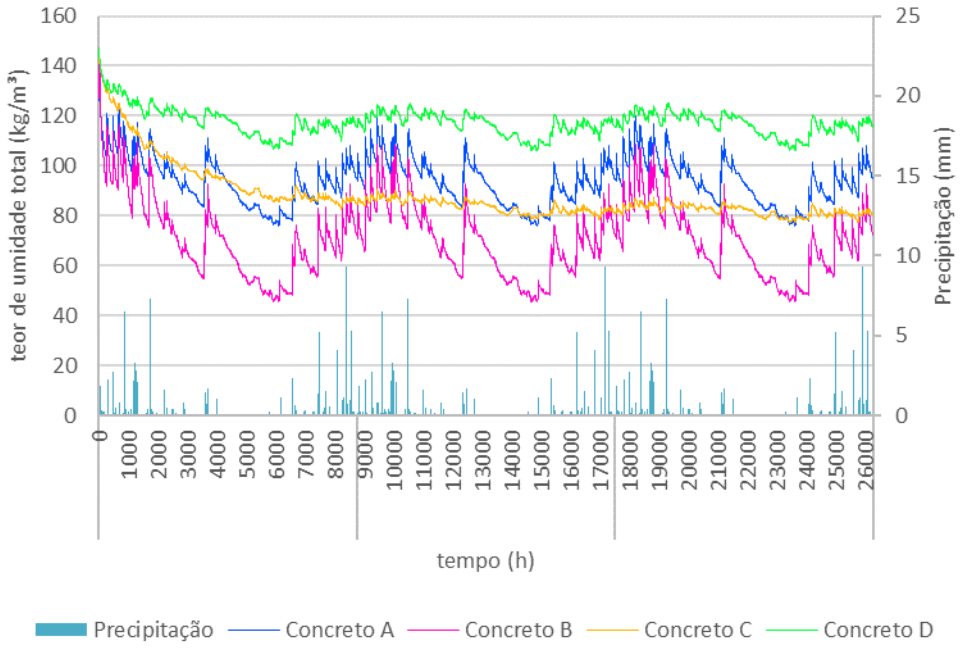
Índice de crescimento de bolor	Descrição da taxa de crescimento do bolor
0	Sem crescimento
1	Pequena quantidade de bolor na superfície visível com microscópio
2	Quantidade moderada de bolor na superfície visível com microscópio em até 10% da superfície
3	Fungos visíveis a olho nu, hifas vistas em microscópio
4	Fungos visíveis a olho nu em porcentagem da superfície maior que 10%
5	Fungos visíveis a olho nu em mais de 50% da superfície
6	Fungos visíveis a olho nu em 100% da superfície

Fonte: Manual do Programa WUFI-BIO

RESULTADOS

A Figura 5 apresenta o teor de umidade total das paredes na condição desocupada da edificação, considerando os quatro tipos de concreto analisados, junto com os dados de precipitação horária.

Figura 5 – Teor de umidade total nas paredes, para condição desocupada.



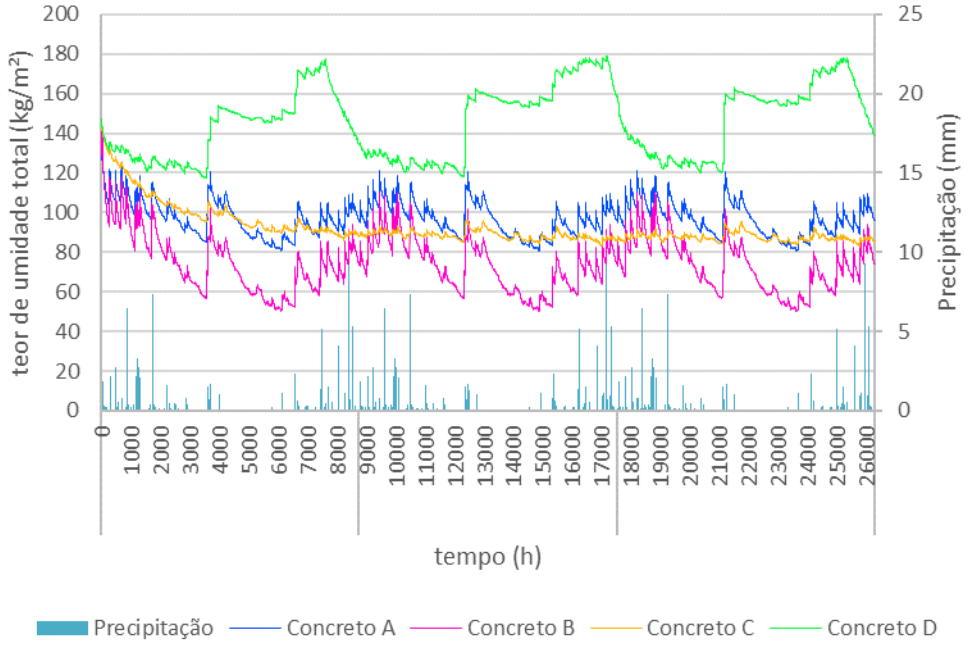
Fonte: os autores.

Observa-se que os concretos A e B se mostram mais sensíveis ao efeito da chuva dirigida, apresentando alguns picos mais pronunciados de aumento de umidade logo após eventos de chuva do que os demais. Entretanto, esses concretos também secam mais rápido. O concreto C quase não absorve água de chuva, apresentando uma redução do teor de umidade até uma condição de estabilidade após o primeiro ano de simulação. O concreto D é o que apresenta menor redução no teor de umidade inicial. Todos os concretos têm uma redução do teor de umidade em relação ao teor inicial de 147 kg/m³, com teores finais variando entre 80 kg/m³ e 116 kg/m³, ou entre 3% e 5% em massa.

A maior absorção de água de chuva dos concretos A e B se explica por apresentarem maior velocidade de absorção de água por capilaridade, conforme mostra a Figura 3. A maior capacidade de secagem se explica pelo seu maior coeficiente de transporte capilar de redistribuição, conforme mostra a Figura 4. O concreto C é o que apresenta a menor velocidade de absorção de água por capilaridade; de fato, há um comentário na biblioteca do programa informando que esse concreto é equivalente a concretos pouco permeáveis. Observa-se que o fator de resistência à difusão de vapor d'água (μ) não pode ser usado isoladamente para explicar esses resultados, uma vez que concretos com fatores de difusão relativamente próximos (A/C e B/D) apresentam comportamentos higrotérmicos muito diferentes.

A Figura 6 apresenta os teores de umidade das paredes na condição de ocupação e ventilação natural.

Figura 6 - Teor de umidade total nas paredes, para condição ocupada com ventilação natural.



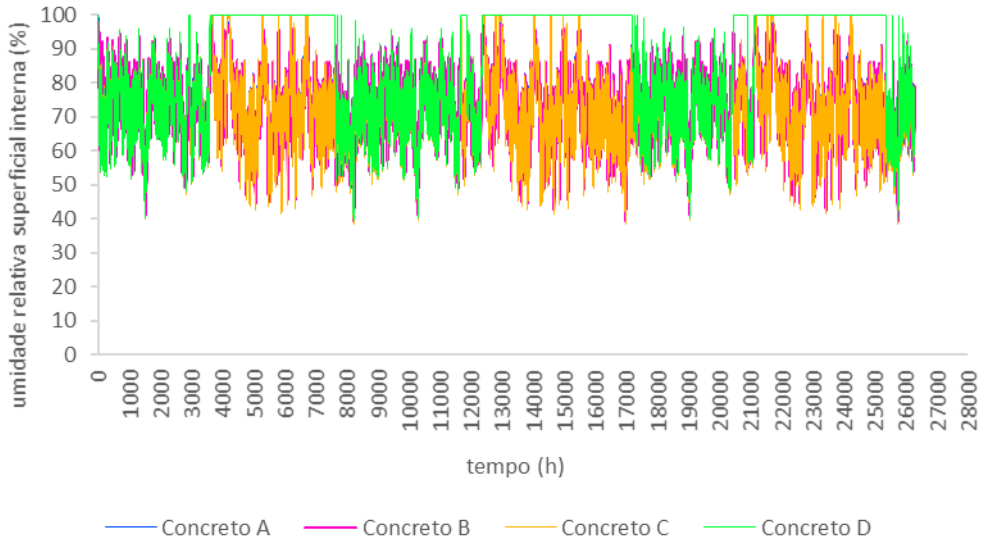
Fonte: os autores.

O comportamento higrotérmico das paredes na condição ocupada é muito semelhante ao comportamento observado para a condição desocupada, exceto para o concreto D, que apresenta um grande aumento do teor de umidade no início de junho, ultrapassando o teor de umidade inicial e permanecendo com um alto teor de umidade

(chegando a um máximo de 180 kg/m³ ou 8% em massa) até o início do ano seguinte, quando começa a secar. Para os demais concretos, os teores de umidade da condição ocupada são ligeiramente superiores aos da condição desocupada, e a tendência de redução do teor de umidade ao longo do tempo se mantém.

Observa-se que esse aumento abrupto de umidade do concreto D ocorre quando a umidade relativa superficial interna fica igual a 100%, ou seja, quando ocorre condensação superficial. Os resultados da simulação higrotérmica mostram que esse patamar de umidade relativa igual a 100% se mantém por meses para este concreto (Figura 7), o que é um comportamento atípico. Além disso, o concreto atinge teores de umidade superiores ao teor de saturação livre, que é de 144 kg/m³; na teoria, esse valor só pode ser ultrapassado mediante aplicação de pressão, o que não ocorre neste caso. Ou seja, trata-se de um comportamento higrotérmico anormal.

Figura 7 – Teor de umidade relativa superficial interna, para condição ocupada com ventilação natural.



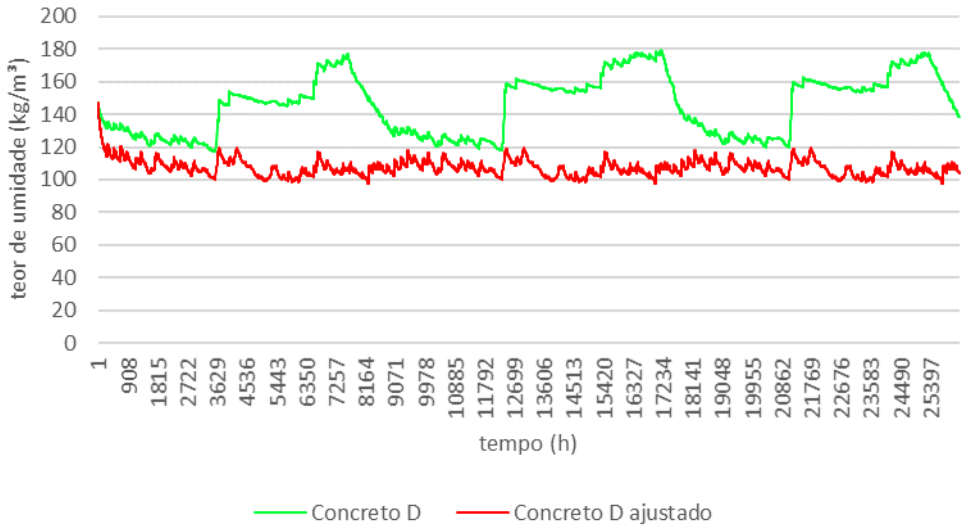
Fonte: os autores.

A única característica do concreto D que é muito diferente dos demais concretos analisados é a curva do coeficiente de transporte capilar de redistribuição (D_{ws}) (Figura 4), que apresenta valores entre 6 e 9 ordens de grandeza inferiores aos demais concretos. Registra-se que não há nenhuma observação quanto a esse dado no programa, que indique se tratar de um concreto especial, por exemplo. Ou seja, a água condensa sobre a superfície do concreto, é absorvida por capilaridade, mas depois não é redistribuída e, assim, não ocorre a secagem do material.

Para confirmar esta hipótese, repetiu-se a simulação, alterando o coeficiente D_{ww} do concreto D, considerando a aproximação recomendada por Künzel [16], em que $D_{ww}(w) = D_{ws}(w)/10$. Os resultados são apresentados na Figura 8 e na Figura 9 (na condição desocupada, não há alteração significativa dos resultados). Observa-se que o concreto com o coeficiente D_{ww} ajustado tem uma curva de teor de umidade próxima à do concreto D para a condição desocupada, entrando em um regime de equilíbrio. A umidade relativa superficial do concreto D ajustado não apresenta aquele período longo no patamar de 100% observado para o concreto D original. Sendo assim,

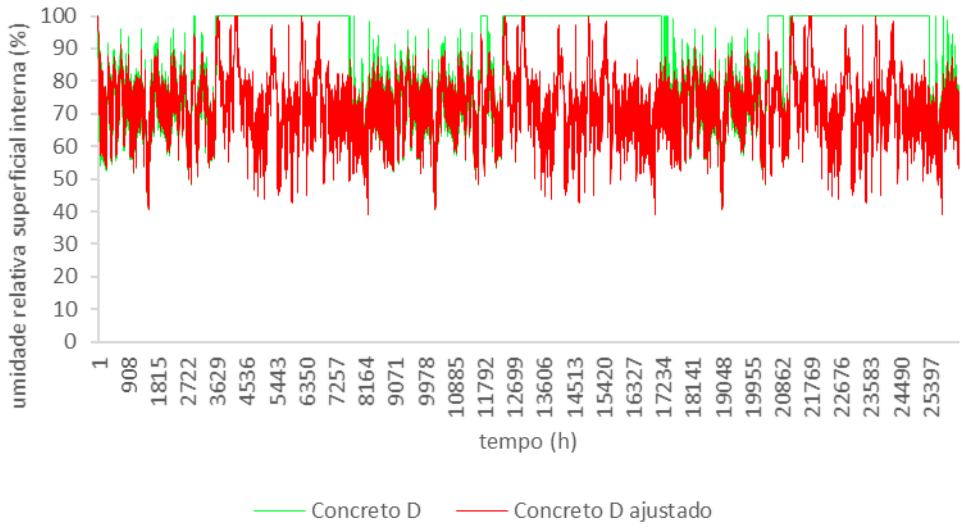
confirma-se a hipótese de que a função higrotérmica de redistribuição de água por capilaridade é a responsável pelo comportamento higrotérmico atípico da parede com o concreto D.

Figura 8 – Teor de umidade da parede com o concreto D original e com a função higrotérmica de redistribuição ajustada, para condição ocupada com ventilação natural.



Fonte: os autores.

Figura 9 – Umidade relativa superficial interna da parede com o concreto D original e com a função higrotérmica de redistribuição ajustada, para condição ocupada com ventilação natural.

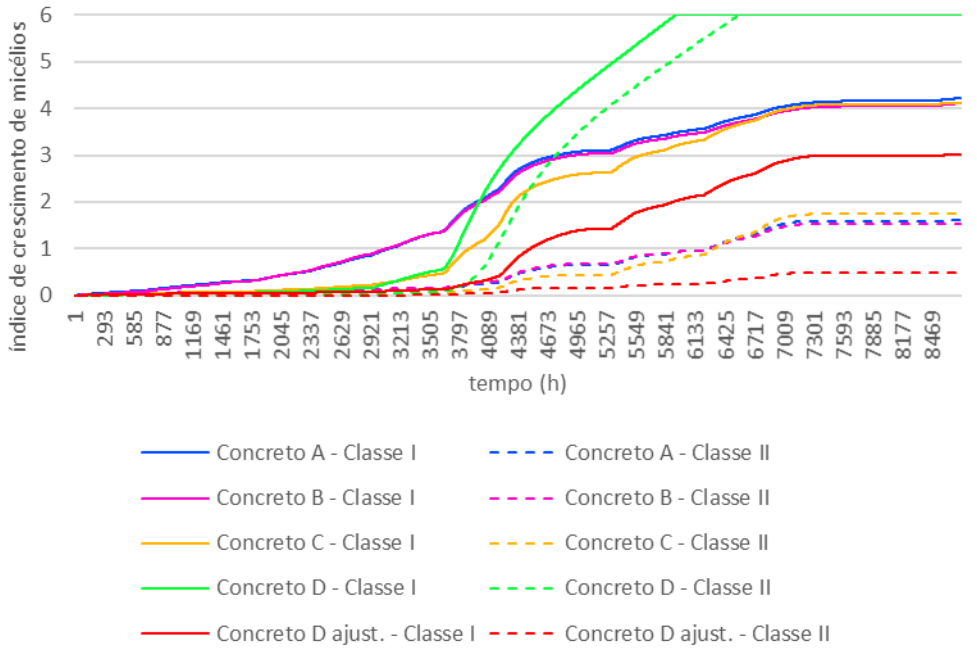


Fonte: os autores.

Com relação ao risco de ocorrência de bolor, na condição desocupada, todos os concretos analisados apresentam índice inferior a 0,35 durante o primeiro ano, o que equivale a uma quantidade não significativa de bolor na superfície, tanto para materiais classe I (biodegradáveis) quanto para materiais classe II (não biodegradáveis) – considerando-se materiais que possam ser aplicados sobre a parede de concreto. Por sua vez, na condição ocupada (cujos resultados estão apresentados na Figura 10), o índice de crescimento de micélios é de aproximadamente 4 para materiais classe I

(fungos visíveis a olho nu em mais de 10% da área da superfície) e inferior a 2 para materiais classe II (fungos visíveis em microscópio em até 10 % da superfície), considerando os concretos A, B e C. O concreto D sem correção do coeficiente D_{ww} apresenta o índice máximo (6), tanto para materiais classe I quanto classe II, com a presença de fungos visíveis a olho nu em 100% da superfície. O concreto D com D_{ww} ajustado apresenta índices de crescimento de micélios inferiores aos dos demais concretos (3 para materiais classe I, poucos fungos visíveis, e abaixo de 0,5 para materiais classe II, que é quantidade não significativa). Ou seja, as características higrotérmicas dos materiais interferem no resultado de risco de ocorrência de bolor, mantidas as condições climáticas e ambientais internas.

Figura 10 – Índice de crescimento de micélios, para condição ocupada com ventilação natural.



Fonte: os autores.

DISCUSSÃO

Os resultados das simulações higrotérmicas realizadas com o software WUFI-Pro são sensíveis aos dados de características higrotérmicas dos materiais. Em especial, as funções higrotérmicas têm uma influência relevante: a maior velocidade de sucção e redistribuição de água por capilaridade dos concretos A e B, dada pela inclinação das curvas D_{ws} x w e D_{ww} x w, determinam uma maior sensibilidade ao efeito da chuva dirigida das paredes com esses concretos, enquanto a baixa capacidade de sucção do concreto C o torna muito pouco permeável à água de chuva.

Na face interna, que está exposta à presença de vapor d'água decorrente da ocupação e da ventilação do imóvel, e à água líquida em caso de condensação superficial, todos os concretos analisados apresentaram comportamento semelhante, muito embora tenham fatores de resistência à difusão de vapor diferentes. Todos os concretos, no entanto, são pouco permeáveis ao vapor d'água, com espessuras de camada de ar equivalente que variam entre 7,6 m e 24,8 m. A característica que determinou um

comportamento diferente e atípico do concreto D foi a sua função higrotérmica de redistribuição da água absorvida por capilaridade (D_{ww} x w).

As diferenças observadas na face externa não acarretam uma avaliação diferente para os quatro concretos, uma vez que todos apresentam uma tendência de secagem ao longo do tempo. Entretanto, o comportamento atípico do concreto D observado na face interna poderia levar a uma diferença de avaliação, sobretudo considerando-se o risco de ocorrência de bolor, que resultou muito alto para este concreto, inclusive para acabamentos não biodegradáveis. Portanto, a depender dos dados que descrevem as características higrotérmicas dos materiais, as conclusões que podem ser depreendidas de simulações podem ser significativamente diferentes.

Esses resultados apontam para a importância de se verificar todas as características dos materiais, inclusive suas funções higrotérmicas, quando da escolha de dados de materiais disponíveis em bases de dados de programas de simulação higrotérmica. Idealmente, indica-se realizar a caracterização experimental dos materiais efetivamente utilizados nos elementos construtivos sob análise. Entretanto, em análises exploratórias, ou quando isso não for possível, análises de sensibilidade, como a apresentada neste estudo, podem ajudar na seleção dos materiais a serem considerados na simulação.

Observa-se que as conclusões depreendidas das análises apresentadas neste artigo se limitam ao software de simulação higrotérmica utilizado (WUFI-Pro). O uso de outros softwares, com outros algoritmos, pode levar a resultados diferentes no que diz respeito à sensibilidade dos resultados de simulações higrotérmicas a dados de características higrotérmicas dos materiais. Conforme exposto inicialmente, não é escopo do presente artigo a análise do comportamento higrotérmico de paredes de concreto para fins de especificação técnica. Por esse motivo, e devido à escassez de dados brasileiros de características e funções higrotérmicas de materiais, optou-se pela realização deste trabalho com conjuntos de dados estrangeiros disponíveis na biblioteca do software. Uma situação ideal seria ter dados de materiais nacionais para efetuar estudos específicos no contexto brasileiro.

CONCLUSÕES

Este artigo avaliou a sensibilidade do comportamento higrotérmico de uma parede de concreto a quatro diferentes conjuntos de dados de características higrotérmicas de concreto, disponíveis na base de dados do software WUFI-Pro. Evidenciou-se a influência determinante das funções higrotérmicas sobre os resultados da simulação e sobre as diferentes conclusões que podem ser depreendidas destas simulações. Isso mostra a importância de analisar globalmente os dados de características higrotérmicas dos materiais ao selecioná-los em uma bases de dados, bem como a necessidade de aumentar a disponibilidade de dados sobre características higrotérmicas de materiais de construção brasileiros, por meio de caracterização experimental.

REFERÊNCIAS

[1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2021.

[2] BOMBERG, M. T.; SHIRTLIFFE, C. J. **Hygrothermal characteristics of materials and components used in building enclosures.** In: TRECHSEL, H. R.; BOMBERG, M. T. (eds.). Moisture Control in Buildings: The Key Factor in Mold Prevention. 2 ed. West Conshohocken: ASTM International, 2009. p. 16–36.

[3] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 4108-3** - Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz - Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung. Berlim, 2018.

[4] SEDLBAUER, K. **Prediction of Mould Fungus Formation on the Surface of and Inside Building Components**. Tese (Doutorado). Fraunhofer Institute for Building Physics, Holzkirchen, 2001.

[5] COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION. **EN 15026** - Hygrothermal performance of building components and building elements - Assessment of moisture transfer by numerical simulation. Brussels, 2007.

[6] AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE; AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE Standard 160** - Criteria for Moisture-Control Design Analysis in Buildings. 2016.

[7] AFONSO, Thiago Martin. **Desempenho higrotérmico de edificações e procedimentos para previsão de ocorrência de bolores em ambientes internos: estudo de caso de habitações construídas com paredes de concreto.** Dissertação (Mestrado). Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, 2018.

[8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401**: Instalações de ar condicionado – Sistemas Centrais e Unitários. Rio de Janeiro, 2008.

[9] SISTEMA NACIONAL DE AVALIAÇÕES TÉCNICAS. **Diretrizes para a Avaliação de Produtos. Diretriz SINAT 001**. Diretriz para Avaliação Técnica de paredes estruturais de concreto moldadas no local (Concreto Leve ou Concreto Reforçado com Fibra de Vidro). SINAT: Brasília, 2017.

[10] NASCIMENTO, M. L. M.; BAUER, E.; DE SOUZA, J. S.; ZANONI, V. A. G. Wind-driven rain incidence parameters obtained by hygrothermal simulation. **Journal of Building Pathology and Rehabilitation**, , v. 1, n. 1, p. 5, 2016.

[11] SANTOS, Alexandre Cordeiro. **Avaliação do desempenho potencial de duas soluções de revestimentos argamassados em função do risco de formação de fungos emboloradores no interior de edificações na cidade de São Paulo.** Dissertação (Mestrado). Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, 2019.

[12] ZANONI, Vanda Alice Garcia; DANTAS, André Luís de Faria; NUNES, Layane Soares; RIOS, Rafael Barbosa. Estudo higrotérmico na autoconstrução: simulação computacional e medições em campo. **Ambiente Construído**, v. 20, n. 3, p. 109–120, 2020

[13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho Térmico de Edificações. Rio de Janeiro, 2008.

[14] ZANONI, Vanda Alice Garcia; SANCHEZ, José Manoel Morales; BAUER, Elton. 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.

[15] VIITANEN, H.; KRUS, M.; OJANEN, T.; EITNER, V.; ZIRKELBACH, D. Mold Risk Classification Based on Comparative Evaluation of Two Established Growth Models. **Energy Procedia**, v. 78, p. 1425–1430, 2015.

[16] KÜNZEL, H. Simultaneous heat and moisture transport in Building components: one- and two-dimensional calculation using simple parameters. Tese (Doutorado). Fraunhofer Institute for Building Physics, Holzkirchen, 1995.