4° Workshop de tecnologia de sistemas e processos construtivos
TECSIC 2023

Porto Alegre, RS, Brasil, 23 e 24 de agosto de 2023

Comportamento higrotérmico da parede de concreto da biblioteca central da UNB

HYGROTHERMAL PERFORMANCE OF THE CONCRETE WALL OF UNB'S CENTRAL LIBRARY

Cinthia Cavalcante
Universidade de Brasília, Brasil, cinthia103alca@gmail.com
André Luís Faria Dantas
Universidade do Porto, Portugal, andreldants@gmail.com
Rafael Barbosa Rios
Universidade de Brasília, Brasil, rafaelb.rios@gmail.com
Vanda Zanoni
Universidade de Brasília, Brasil, vandazanoni@unb.br

Resumo
Este artigo apresenta os resultados da simulação computacional do comportamento higrotérmico da parede de concreto aparente da Biblioteca Central da UnB. O estudo envolveu a análise do potencial de degradação da fachada relacionada às condições de exposição da fachada e às características dos elementos construtivos. A pesquisa relacionou dois tipos de concreto, diferenciando as propriedades higrotérmicas e o tipo de acabamento externo (com e sem pintura), para duas orientações de fachada (Norte e Nordeste). Foi utilizando o programa de simulação higrotérmica WUFI Pro para avaliar o conteúdo de umidade dos sistemas modelados. Os resultados apresentaram maiores variações nos teores de umidade no sistema de parede de concreto pintado com tinta acrílica, indicando maior potencial para a degradação.

Palavras-chave: Simulação Higrotérmica. Concreto Aparente. Teor de umidade.

Abstract
This article presents the results of the computer simulation of the hygrothermal performance of the exposed concrete wall of the Central Library of the University of Brasília. The study involved the analysis of the facade degradation potential related to the exposure conditions of the facade and the characteristics of the constructive elements. The research related two types of concrete, differentiating the hygrothermal properties and the type of external finish (with and without painting), for two facade orientations (North and Northeast). The WUFI Pro hygrothermal

Como citar:
CAVALCANTE, C.; DANTAS, A.L.F.; RIOS, R.B.; ZANONI, V. Comportamento Higrotérmico da parede de concreto da Biblioteca Central da UnB. TECSIC 2023. In: WORKSHOP DE TECNOLOGIA DE SISTEMAS E PROCESSOS CONSTRUTIVOS, 23 e 24 AGO 2023, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2023. p. 74-81.

simulation program was used to evaluate the moisture content of the modeled systems. The results showed greater variations in moisture content in the concrete wall system painted with acrylic paint, indicating a greater potential for degradation.

Keywords: Hygrothermal Simulation. Apparent Concrete. Moisture content.

INTRODUÇÃO

A Universidade de Brasília - UnB constitui-se de um parque edificado com cerca de duas mil edificações destinadas a abrigar as atividades acadêmicas, administrativas, residenciais e comerciais. As edificações projetadas e construídas ao longo dessas seis últimas décadas possuem características próprias, atributos relevantes, usos diversificados, distintos estados de conservação e demandam diferentes necessidades de manutenção. Parte dessas edificações construídas nas décadas de 60, 70 e 80 foram executadas em concreto aparente e demandam ações de conservação e manutenção que, nem sempre, consideram as características higrotérmicas de seus sistemas.

A escolha do edifício da Biblioteca Central da Universidade de Brasília (BCE-UnB) foi motivada pela sua relevante função e importância histórica. Passados 50 anos de vida útil, as fachadas em concreto aparente encontram-se em um estado de envelhecimento natural que demandam intervenções para a sua conservação. Por isso, faz-se necessário estudos que mostrem como o comportamento higrotérmico dos sistemas em paredes de concreto podem afetar as condições do ambiente interior. Além disso, essas paredes podem ser afetadas por intervenções que não consideram os fenômenos de transporte de calor e umidade que influenciam o seu desempenho higrotérmico.

Estudos sobre o comportamento higrotérmico de paredes de concreto foram conduzidos por Brito e Belizario-Silva (2022) que avaliaram uma habitação e evidenciaram a importância de se estabelecer as características dos materiais, inclusive suas funções higrotérmicas. Santos (2019) constatou em sua pesquisa que os materiais dos sistemas de revestimentos das envoltórias e as condições de uso podem contribuir no aumento do teor de umidade da parede e, consequente, no desenvolvimento de fungos emboloradores, afetando de forma decisiva a habitabillidade das edificações. Morishita et al. (2020) elaboraram um método com indicadores de chuva dirigida baseado no clima. O estudo aplicado no Brasil mostra a relevância da chuva dirigida como fonte de umidade, indicando alto potencial de risco aos edifícios.

Nesse contexto, este artigo apresenta uma pesquisa realizada nas fachadas Norte e Nordeste da Biblioteca Central da Universidade de Brasília, localizada no Campus Darcy Ribeiro, Zona Bioclimática 4. O objetivo foi analisar o teor de umidade das paredes de concreto, por meio da simulação computacional higrotérmica com o WUFI Pro 6.5, possibilitando a comparação entre as paredes de concreto que apresentam variações no fator de difusão ao vapor de água, com e sem aplicação de pintura externa.

MÉTODO

DADOS CLIMÁTICOS DE ENTRADA - CLIMA EXTERNO

Para a simulação computacional é necessário um arquivo climático que seja representativo do local e apresente um ano completo com dados horários, contabilizando as 8760 horas, com a extensão epw (energyplus weather data). O arquivo climático adotado (BRA_DF_Brasilia.867150_INMET.epw) foi obtido no repositório de acesso gratuito do site Climate One Building (climate.onebuilding.org). Entre os arquivos climáticos disponíveis para Brasília, o TMY INMET 2018 - série 86170 da Estação A001 do Instituto Nacional de Meteorológica é o mais representativo quando analisadas as variáveis climáticas e, principalmente, quando verificados o somatório e o comportamento da chuva dirigida.

CONDIÇÕES AMBIENTAIS INTERNAS

Para avaliar as condições do ambiente interno no regime transiente e nas condições brasileiras, optou-se por obter o clima interior a partir do clima exterior, utilizando o software EnergyPlus, por meio da interface gráfica OpenStudio e seu plugin para o SketchUp - software de modelagem 3D. O algoritmo de cálculo do EnergyPlus permite ao usuário simular as condições da edificação modelada, caracterizando as geometrias, os materiais, os sistemas mecânicos e de ventilação e, por fim, o clima da localidade a partir da introdução de um arquivo climático com extensão epw. Como a interface gráfica do EnergyPlus é numérica, a associação entre os dois softwares fornece os significados físicos, considerando portas como objetos de fenestração, janelas como fontes de iluminação, aberturas para a renovação de ar pelo modo natural e os objetos exteriores como sombreamentos – brises soleil e o entorno urbano.

SIMULAÇÃO NO PROGRAMA ENERGYPLUS - PLUGIN OPENSTUDIO

Para investigar o comportamento higrotérmico da fachada em concreto aparente da Biblioteca Central da Universidade de Brasília foi modelada uma sala de trabalho condicionada mecanicamente, considerando duas orientações críticas e sem sombreamento: orientação Norte por estar mais exposta à chuva dirigida e a orientação Nordeste por estar exposta às variações térmicas ao longo do ano, para o contexto climático da cidade de Brasília

Após a modelagem geométrica da edificação, foram definidos seus padrões de uso e ocupação, por meio de um template, e o tipo de construção a ser analisada. O template utilizado contempla o esquema típico fornecido pelo programa, selecionando o Office Conference, por compreender a atividade funcional do projeto. A zona climática escolhida foi a CZ1-3, de acordo com os critérios da ASHRAE (2013) e que apresenta dados similares ao zonamento climático brasileiro. As salas apresentam ventilação mecânica, com um sistema de ar-condicionado instalado, já que as janelas não permitem aberturas efetivas para as renovações de ar conforme as normativas da ASHRAE.

Para os dados de entrada referentes às cargas térmicas, energéticas e de usuários, foram utilizados os dados padrão apresentados pelo template do programa, considerando o ambiente fechado, apenas com ventilação mecânica. Foram adotados os dados de infiltração padronizados pelo EnergyPlus, com taxa de infiltração de 1 ren/h - uma renovação de ar por hora (ABNT NBR 15575-4: 2021). Baseado na ASHRAE 160: 2016, o setpoint do sistema de condicionamento de ar para Brasília (arrefecimento) foi o valor padrão de 24°C para a temperatura interna. Utilizando a ocupação de usuários conforme padrão do programa, foi definido o ambiente como setor administrativo para 5 a 15 ocupantes, com cronograma de atividades operando entre 8 h e 20 h, diariamente. As aberturas foram consideradas de vidro comum 4 mm, fator solar 0,87 e transmitância à luz visível de 0,89.

O sistema construtivo consiste em paredes em concreto aparente, sem revestimento interno e externo. As paredes foram simuladas com 20 cm de espessura. Os parâmetros de entrada para a simulação no OpenStudio foram compostos por materiais da base de referência da ABNT NBR 15220-1:2005. As propriedades físicas dos materiais do sistema em concreto aparente foram alimentadas com as informações do Anexo D da ABNT NBR 15220-1:2005 e os dados da biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus (WEBER et al., 2017). O Quadro 1 apresenta os dados dos materiais das paredes de concreto que foram configuradas no OpenStudio.

Quadro 1 – Dados do sistema construtivo para a configuração no OpenStudio.

Descrição	Material	Espessura (m)	Condutividade [W/m.K]	Calor Específico [J/kg.K]	Densidade [kg/m³]
Parede em concreto maciço	Concreto	0,20	1,75	1000	2200
Cobertura	Laje maciça de concreto	0,20	1,75	1000	2400
Piso Cerâmico	Piso cerâmico	0,15	1,05	920	2000

Fonte: Elaborado pelos autores, baseado em dados de Weber et al. (2017) e ABNT NBR 15220-1:2005.

Após a simulação no EnergyPlus, os dados horários de saída selecionados para compor o clima interior a ser inserido no WUFI Pro foram as variáveis Umidade Relativa (%) e Temperatura do ar (°C).

SIMULAÇÃO HIGROTÉRMICA NO WUFI PRO – CONDIÇÕES DE CONTORNO

O comportamento higrotérmico das paredes da fachada em concreto aparente foram analisados a partir de simulação computacional com o WUFI Pro 6.5 *(Wärme -und Feuchtetransport Instationär – Transient Heat and Moisture Transport)* que é uma ferramenta de cálculos computacionais desenvolvida pelo *Fraunhofer Institute for Building Physics* (FAUNHOFER, 2018). O WUFI Pro apresenta um modelo unidirecional para os estudos do transporte de calor e de massa. O modelo adotado segue a DIN EN-15026:2007 *Hygrothermal performance of building components and building elements – Assessment of moisture transfer by numerical simulation.* O Quadro 2 mostra as condições de contorno exigidas pelo programa WUFI Pro que foram definidas com base nas caraterísticas da edificação em estudo.

Quadro 2 – Parâmetros de entrada para a simulação higrotérmica no WUFI Pro.

	Parâmetros de Entrada	Valor	Unidade
Sistema Construtivo - SC1 Referência: Cimento C12/15	espessura	0,20	m
Sistema Construtivo – SC2 Referência: Cimento C 35/45	espessura	0,20	m
Orientação, Inclinação, Altura e Chuva Dirigida			
Orientação	Norte; Nordeste	-	-
Inclinação	i	90	º
Altura	h	≤10	m
Chuva Dirigida	Modelo da ASHRAE 160 - edifício com altura até ou menor a 10 m (Fe= 1,4) e fachada exposta sujeita ao escoamento de água (Fd= 1,0)	Condição severa: parede sujeita a escoamento de água	mm/a
Coeficiente de transferência à superfície			
Resistência Térmica-Superfície Externa	Parede Externa	0,0588	W/(m²K)
Valor de Sd	Sd para tinta acrílica	0,3	m
Absortância	α	0,6 cinza, DIN 4108-3 tonalidade média	-
Refletividade do solo	$_r$	0,2	-
Fator de redução da chuva dirigida	F_r	0,7	-
Resistência superficial interna	R_{si}	0,13	-
Condições iniciais de contorno			
Umidade inicial	-	0,8	-
Temperatura inicial	ºC	20	-
Período de simulação	3 anos	01/01/2022 a 31/12/2024	Horas
Clima			
Clima Exterior	TMY INMET 2018 – Série 867150 – Estação A001 - Brasília		
Clima Interior	Dados obtidos pela modelagem e simulação no *EnergyPlus.*		

Fonte: Elaborado pelos autores, baseado em dados do WUFI Pro.

Foram simulados dois tipos de parede de concreto, considerando a parede interna em concreto aparente e a parede externa com duas situações de acabamento: com e sem pintura acrílica. O Quadro 3 mostra os materiais aplicados na simulação que foram obtidos na base de dados do WUFI Pro.

Quadro 3 – Caracterização dos sistemas construtivos e propriedades higrotérmicas do concreto.

Casos simulados	Caracterização	ρ	ε	μ	*Sd* (externo)	Orientação
		Kg/m³	m³/m³	[-]	[m]	[-]
SC1 Cimento 12/15	Espessura: 0,20 m Transmitância Térmica: 3,46 W/m².K	2200	0,18	92	Sem pintura	Norte Nordeste
SC2 Cimento 12/15	Espessura: 0,20 m Transmitância Térmica: 3,46 W/m².K	2200	0,18	92	0,3	Norte Nordeste
SC3 Cimento 35/45	Espessura: 0,20 m Transmitância Térmica: 3,54 W/m².K	2200	0,18	248	Sem pintura	Norte Nordeste
SC4 Cimento 35/45	Espessura: 0,20 m Transmitância Térmica: 3,54 W/m².K	2200	0,18	248	0,3	Norte Nordeste
Sendo:	ρ = densidade; ε = porosidade; μ = fator de resistência à difusão de vapor de água; *Sd* = espessura da camada de ar de difusão equivalente.					

Fonte: Elaborado pelos autores, baseado em dados do WUFI Pro.

RESULTADOS

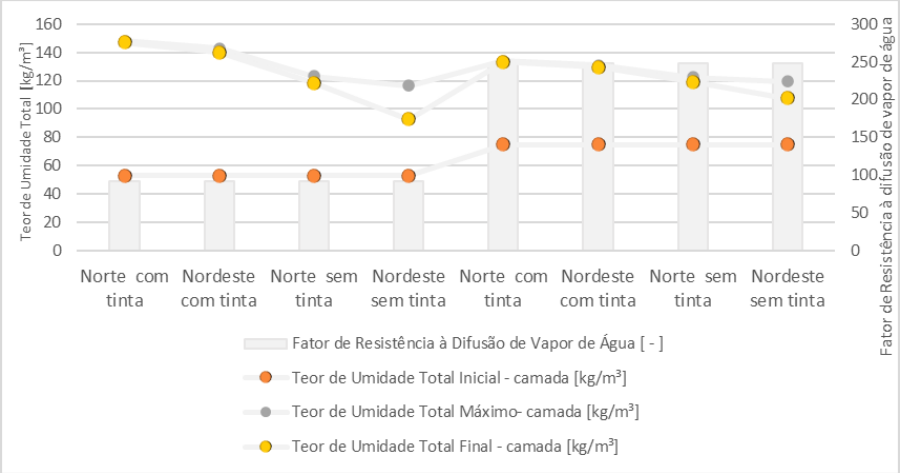
A Tabela 1 e a Figura 2 mostram os resultados do comportamento higrotérmico dos sistemas e suas variações entre o teor de umidade em relação à resistência de difusão a vapor, obtidos nas simulações no WUFI Pro.

Tabela 1 – Valores do teor de umidade em relação ao fator de resistência a difusão a vapor.

	Norte com tinta	Nordeste com tinta	Norte sem tinta	Nordeste sem tinta	Norte com tinta	Nordeste com tinta	Norte sem tinta	Nordeste sem tinta
	SC2	**SC2**	**SC1**	**SC1**	**SC4**	**SC4**	**SC3**	**SC3**
	C12/15	**C12/15**	**C12/15**	**C12/15**	**C35/45**	**C35/45**	**C35/45**	**C35/45**
Fator de Resistência à Difusão de Vapor de Água [-]	92	92	92	92	248	248	248	248
Teor de Umidade Total Inicial [%]	53	53	53	53	75	75	75	75
Teor de Umidade Total Máximo [kg/m³]	147,99	142,91	123,18	116,44	133,82	131,03	122,35	119,33
Teor de Umidade Total Final [kg/m³]	147,00	140,00	118,43	92,69	133,09	129,45	119,02	107,41

Fonte: Elaborado pelos autores, baseado em dados de saída do WUFI Pro.

Figura 2 – Comparativo do comportamento higrotérmico do sistema e suas variações.



Fonte: Os autores.

O teor de umidade total inicial é constante entre os sistemas SC1 e SC2 (ambos C12/15), mas é mais elevado nos sistemas SC3 e SC4 (ambos C35/45) por terem um maior fator de resistência à difusão de vapor de água. A variação do teor de umidade final dos sistemas SC1 e SC2 para a fachada Norte apresentou um pico maior no sistema SC2 - com pintura externa. O fator de resistência à difusão ao vapor de água (μ) é um parâmetro higrotérmico relacionado à adsorção do material e influencia a capacidade de molhagem e secagem, observados pelos teores de umidade inicial e final.

Comparando os sistemas em relação às orientações, o SC2 (com tinta) apresentou o teor de umidade final mais elevado para a fachada Norte (maior chuva dirigida). O sistema SC4 (com tinta) apresentou um elevado teor de umidade para as fachadas Norte e Nordeste, comparado ao sistema SC3 (sem tinta). Os sistemas com a aplicação de pintura na superfície externa (tinta acrílica) indicam teores mais elevados quando comparados aos que não apresentam a camada de tinta. Isto ressalta que a pintura dificulta a evaporação da umidade.

CONCLUSÃO

Os resultados da simulação higrotérmica obtidos para os sistemas em concreto, no contexto climático de Brasília, permitiram verificar as características higrotérmicas dos elementos e compará-los. Entre os sistemas analisados, o sistema SC2 com acabamento externo em pintura e menor resistência à difusão do vapor de água apresentou maior potencial à degradação por presença de umidade, tanto na orientação Norte (maior chuva dirigida) como na orientação Nordeste. Em todos os casos, a fachada Norte apresentou maior teor de umidade que a fachada Nordeste, devido à influência da chuva dirigida mais intensa ao longo do ano.

Conclui-se que nem sempre a renovação e a proteção com pintura podem contribuir para a melhoria do desempenho dos sistemas construtivos. É preciso avaliar as propriedades higrotérmicas dos materiais, visando beneficiar a qualidade do ambiente interno para os usuários e a vida útil das edificações. O desempenho higrotérmico, baseado nas características dos materiais e nas condições climáticas deve ser considerado nas ações de conservação e manutenção, pois podem alterar a resposta higrotérmica do ambiente construído. Além da importância da simulação computacional, é fundamental as normativas técnicas com critérios, parâmetros e padrões para a simulação e a avaliação do comportamento higrotérmicos dos sistemas construtivos.

REFERÊNCIAS

[1] AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. ASHRAE 160: criteria for moisture-control design analysis in buildings. Atlanta, 2016.

[2] AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS – ASHRAE. Standard 55: thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, 2013.

[3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220 Desempenho térmico de edificações. Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005.

[4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15575-4. Edificações habitacionais - Desempenho. Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE. Emenda 1. Rio de Janeiro, 2021.

[5] 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 AMBIENTECONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 1-14.

[6] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. DIN EN 15026 Hygrothermal performance of building components and building elements – Assessment of moisture transfer by numerical simulation. CEN, Brussels, Belgium, 2007.

[7] FRAUNHOFER IBP - INSTITUTE FOR BUILDING PHYSICS. WUFI Pro 6.5. Holzkirchen, Germany, 2018.

[8] MORISHITA, C.; BERGER, J.; MENDES, N. Weather-based indicators for analysis of moisture risks in buildings. Science of the Total Environment, 709, p. 1348500, 2020. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134850

[9] SANTOS, A. C. 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 em Habitação: Planejamento e Tecnologia) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. São Paulo, 2019. 193p.

[10] WEBER, F.S; MELO, A.P; MARINOSKI D.L; LAMBERTS, R. Desenvolvimento de um modelo equivalente de avalição de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus - Anexos. Florianopólis, 2017. 52 p.

[11] ZANONI, V. A. G.; DANTAS, A. L. de F.; NUNES, L. S.; RIOS, R. B. Estudo higrotérmico na autoconstrução: simulação computacional e medições em campo. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 20, n. 3, p. 109-120, jul./set. 2020. http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212020000300420

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Universidade de Brasília e à Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal (FAPDF) pelos recursos financeiros aplicados nas bolsas de fomento e auxílio à pesquisa.