

# ANÁLISE DO DESEMPENHO HIGROTÉRMICO DE PAREDES DE FACHADA POR MEIO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL – ESTUDOS DE CASO<sup>1</sup>

SANTOS, A. C., IPT – LMCC, e-mail: alexcord@ipt.br; OLIVEIRA, L. A., IPT – LCSC, e-mail: luciana@ipt.br; BECERE, O. H., IPT – LMCC, e-mail: becere@ipt.br; SOUZA, J. C. S., IPT – LCSC, e-mail: sabadini@ipt.br

## ABSTRACT

*The moisture can make the building environment unhealthy and affecting the user's health and the durability of building and furniture. Current Brazilian technical standards are still insufficient to deal with this issue and one of the alternatives is the computer simulation, which, although limited, can be useful.*

*The aim of this manuscript is to show the results of the hygrothermal assessment (temperature and moisture content) of the two facades section of two different buildings, which is part of the case studies. This assessment was done through computer simulation with WUFI-Pro software. The follow activities were done: Bibliographical review, laboratory tests for collecting the hygrothermal characteristics of the building materials used in the facades of the case studies and collected of the temperature and moisture in the apartments (housing) of the case studies.*

*The use of a computer simulation to evaluate the moisture transfer through a wall is feasible. The data obtained show that the percentage of moisture occurrence in the case studies is consistent with the results obtained in the simulation.*

**Keywords:** *Moisture. Facade. Hygrothermal assessment.*

<sup>1</sup> SANTOS, A. C., OLIVEIRA, L. A., BECERE, O. H., SOUZA, J. C. S. Análise do desempenho higrotérmico de paredes de fachada por meio de simulação computacional – estudos de caso. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17, 2018, Foz do Iguaçu. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2018.

## 1 INTRODUÇÃO

A presença de umidade na face interna dos elementos que compõe as envoltórias das edificações pode tornar os ambientes insalubres e comprometer a saúde dos usuários e a durabilidade das edificações e do mobiliário. Parte dessas manifestações patológicas poderia ser evitada, uma vez que estão relacionadas à concepção do projeto. Entretanto, as normas técnicas brasileiras em vigor ainda são insuficientes para suprir essa demanda. Frente a isso as simulações computacionais com sistemas avançados de modelagem, embora possuam algumas limitações, são cada vez mais uma alternativa para a análise do comportamento das envoltórias quanto à possível presença de umidade. Entende-se que é um tema de grande relevância, pois assim como ocorreu em países desenvolvidos, como exemplo a Alemanha (KUNZEL, 1994), pesquisadores brasileiros (MENDES, 1997; SATO, 1998; MENDES et al., 2003) tem desenvolvido estudos relacionados à umidade em elementos porosos de edificações e no desenvolvimento de software de simulação higrotérmica desde a década de 90.

Nesse contexto a simulação higrotérmica computacional permite reproduzir o processo de transferência de calor e de transporte de umidade através da seção de uma parede, considerando um sistema construtivo real, o que permite analisar se existe potencial de surgimento de eventuais patologias devido à umidade nas edificações, como exemplo os fungos. TRECHSEL (2009) e ANSI/ASHRAE 160 (2006) apresentam os principais conceitos relacionados à umidade e a seu transporte, ou seja, transporte de água no estado líquido ou de vapor, adotados neste trabalho.

Assim, o objetivo deste artigo é mostrar os resultados da análise do comportamento higrotérmico unidirecional (temperatura e teor de umidade) da seção de duas paredes de fachada de duas edificações diferentes, ambas objeto de estudos de caso. Tal análise foi feita por meio de simulação computacional com o software WUFI Pro. Os principais dados de entrada requisitados para a simulação são: temperatura interna e externa, umidade relativa interna e externa, velocidade do vento e características higrotérmicas dos materiais da fachada. A umidade e temperatura internas foram coletadas num ambiente real (estudo de caso), as temperaturas e umidade relativa externa, bem como velocidade do vento, foram coletadas de um arquivo climático, considerando o local de implantação das fachadas dos estudos de caso. Para obtenção das características higrotérmicas dos materiais foram feitos ensaios.

## 2 MÉTODO DE PESQUISA

Para o desenvolvimento do trabalho as seguintes atividades foram desenvolvidas: Revisão bibliográfica, ensaios laboratoriais para verificação das características higrotermicas de materiais de construção, dois estudos de casos e a simulação computacional.

Quanto aos ensaios laboratoriais, a tabela 1 mostra os tipos de ensaios e respectivos métodos adotados. Foram realizados ensaios em componentes construtivos similares aos utilizados nas fachadas estudadas, visando possibilitar a criação de banco de dados de entrada para a simulação computacional.

Quanto aos estudos de caso, foram monitoradas a temperatura e umidade relativa da superfície das paredes de dois apartamentos, um construído com o sistema de parede de concreto e outro de alvenaria estrutural de blocos de concreto. Resumindo-se, as principais atividades para compor o estudo de caso foram:

- Análise dos projetos de implantação e arquitetura dos edifícios e dos apartamentos monitorados. Os seguintes aspectos foram analisados: orientação dos apartamentos com relação ao Norte, entorno, ventilação, dimensões dos caixilhos, área de ventilação, pé-direito, possibilidade de renovação de ar pela existência de ventilação cruzada, etc.;
- Instalação de dispositivos para monitoramento remoto das condições de temperatura e umidade nos dois apartamentos objeto dos estudos de caso. Foram posicionados sensores ao menos em uma parede de cada ambiente;
- Coleta de dados do microclima interno das edificações em estudo com os sensores, basicamente, temperatura, umidade relativa e temperatura potencial de condensação.

Quanto à simulação, foram inseridas no software as características dos materiais das paredes para permitir a análise do comportamento higrotérmico a partir de dados reais de temperatura e umidade relativa, considerando um período de três anos de simulação. Também foi feita uma comparação entre os dados coletados (temperatura e umidade) em campo com os existentes na base de dados do WUFI. Para os dados de temperatura e umidade externa foi utilizado o arquivo climático TMY da base EPW-ANTAC (RORIZ, 2012).

### **3 Características dos materiais e componentes das envoltórias**

Apesar da base de dados do WUFI PRO 5.3 disponibilizar uma grande quantidade de dados de materiais de construção, não contempla todos os materiais usuais na construção civil brasileira. Dessa forma, as características dos materiais não contemplados nessa base de dados, para fins de utilização como dados de entrada do software, foi obtida da caracterização física de materiais similares aos que compõem as fachadas dos edifícios estudados (Tabela 1), a saber: blocos de concreto, paredes de concreto, argamassa de revestimento, tinta látex PVA, textura acrílica e gesso de revestimento. Os ensaios de caracterização realizados foram:

- Densidade de massa aparente no estado endurecido -  $\rho$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );
- Porosidade aberta -  $\epsilon$  ( $\text{m}^3/\text{m}^3$ );
- Fator de resistência à difusão do vapor de água -  $\mu$  (-);
- Coeficiente de absorção de água líquida  $W$  -  $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \sqrt{\text{s}})$ .

Por sua vez, as propriedades relativas a calor específico –  $c$  -  $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$  e Condutividade térmica –  $\lambda$  -  $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  foram obtidas da literatura disponível, a saber: NBR 15220-2: 2005, ISO 10456: 2005 e NIT 2: 2000.

A Tabela 1 mostra os resultados da caracterização dos materiais e componentes.

Tabela 1 – Características dos materiais e componentes

Métodos de ensaios		NBR 13280 : 2005	ASTM D4404: 2010	NBR 15220-2: 2005	NBR 15220-2: 2005	EN ISO 12572: 2001	EN ISO 15148: 2002
Material	Espessura (m)	Características					
		$\rho$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	$\epsilon$ ( $\text{m}^3/\text{m}^3$ )	$c$ ( $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ )	$\lambda$ ( $\text{W}/\text{mK}$ )	$\mu$ (-)	$w$ ( $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \sqrt{\text{s}})$ )
Pintura látex PVA (interior)	0,00009	1100	0,25 (*)	2835 (*)	0,6 (*)	345 (*)	0,017
Revestim ento de gesso (interior)	0,005	1200 (*)	0,41	840 (*)	0,53 (*)	10	0,29
Bloco de concreto (14x19x39 ) cm	0,14	2007	0,17	1000 (*)	1,75 (*)	14	0,013
Parede de concreto	0,15	2200 (*)	0,22 (*)	1000 (*)	1,75 (*)	76 (*)	0,013 (*)
Emboço industriali zado (interior/ exterior)	0,015	1800	0,39	1000 (*)	1,15 (*)	10	0,02
Textura acrílica (exterior)	0,003	1288	0,35 (*)	2557 (*)	0,74 (*)	548	0,0017

(\*) Valor obtido de normas, publicações e/ou catálogos de fabricantes.

Fonte: Os autores

#### 4 Estudo de caso - obtenção de dados de microclima

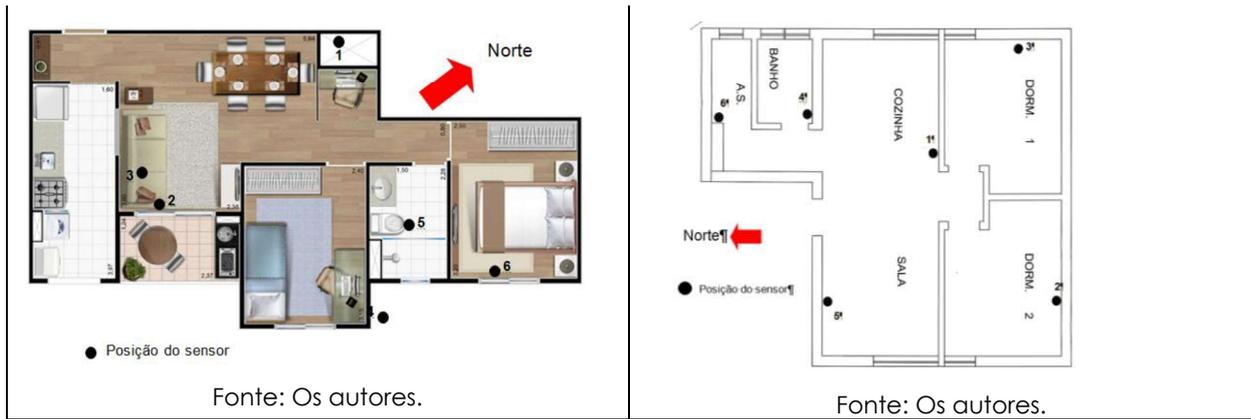
As principais características dos dois edifícios e dos apartamentos objeto dos estudos de caso, bem como a localização dos sensores instalados são descritas no Quadro 1. Esses dados foram utilizados para a simulação.

Quadro 1 – Informações dos estudos de caso.

Estudo de caso 1 (S1)	Estudo de caso 2 (S2)
<p>Sistema construtivo: Paredes de concreto com textura acrílica nas fachadas. No interior, pintura látex aplicada sobre gesso (Figura 5).                      Quantidade de torres: 06 (Figura 1).                      Pavimentos : 10                      Unidades por pavimento: 6                      Total de Unidades: 360                      Andar monitorado: 4º andar – Torre 5 –                      Orientação: Noroeste (Figura 2)                      Total de ocupantes do apartamento: 03 (2 adultos e uma criança)                      Data de instalação dos sensores: 23.02.2017                      Quantidade de sensores instalados: 6                      Período de coleta de dados na posição 1: 01.03.2017 a 05.05.2017                      Posição dos sensores: Figura 2.</p>	<p>Sistema construtivo: Paredes de alvenaria estrutural de blocos de concreto com emboço e textura acrílica nas fachadas. No interior, pintura látex interna aplicada sobre emboço (Figura 6).                      Quantidade de torres: 30 (Figura 2).                      Pavimentos : 6                      Unidades por pavimento: 6                      Andar monitorado: 4º andar (último pavimento) – Torre 28 – Orientação: e Oeste <b>(Erro! Fonte de referência não encontrada.)</b>                      Total de ocupantes do apartamento: 02 adultos                      Data de instalação dos sensores: 22.02.2017                      Quantidade de sensores instalados: 6                      Período de coleta de dados na posição 1: 01.03.2017 a 04.05.2017                      Posição dos sensores: Figura 4.</p>
<p>Figura 1 – Implantação do edifício do Estudo de caso 1<sup>2</sup>.</p>  <p>Fonte: Os autores.</p>	<p>Figura 2 – Implantação do edifício do Estudo de caso 2<sup>3</sup>.</p>  <p>Fonte: Os autores.</p>
<p>Figura 3 – Instalação dos sensores no apartamento do estudo de caso 1.</p>	<p>Figura 4 – Instalação dos sensores no apartamento do estudo de caso 2.</p>

<sup>2</sup> Fonte: [www.even.com.br/sp/guarulhos/vila-augusta/residencial/shop-club-guarulhos](http://www.even.com.br/sp/guarulhos/vila-augusta/residencial/shop-club-guarulhos)

<sup>3</sup> Fonte: [www.archdaily.com.br/br/01-182522/favela-nova-jaguare-setor-3-slash-boldarini-arquitetura-e-urbanismo](http://www.archdaily.com.br/br/01-182522/favela-nova-jaguare-setor-3-slash-boldarini-arquitetura-e-urbanismo) (eu não colocaria essas fontes)

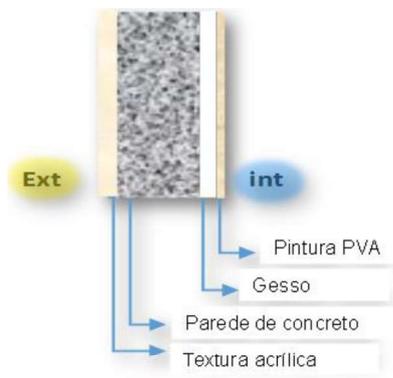


Fonte: Os autores.

Fonte: Os autores.

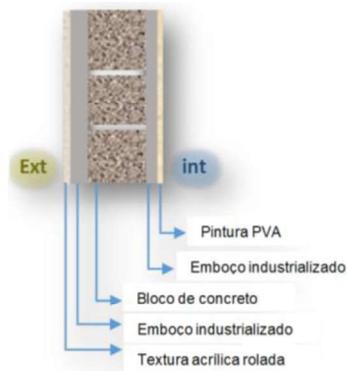
Continuação

Figura 5 – Sistema construtivo do apartamento do estudo de caso 1.



Fonte: Os autores.

Figura 6 – Sistema construtivo do apartamento do estudo de caso 2.



Fonte: Os autores.

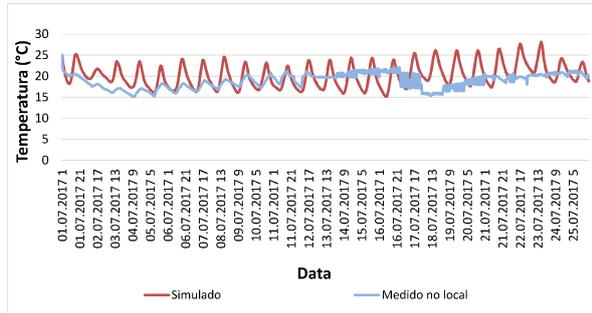
Fonte: Os autores

## 5 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Nas figuras **Erro! Fonte de referência não encontrada.**7, 8, 9 e 10 são apresentados os dados das temperaturas e umidade medidas no local, comparados com os dados calculadas no WUFI Pro, em regime transiente, com base na norma EN 15026. Embora haja certa diferença entre os dados reais e os simulados, os resultados tiveram a mesma tendência.

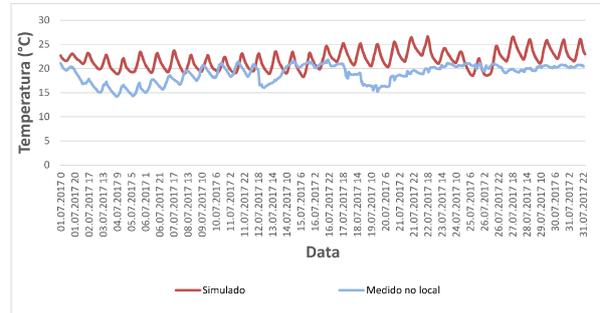
Nas figuras 9 e 10 são apresentados os resultados da simulação com relação ao teor de umidade total de um trecho (seção) de parede (1m<sup>2</sup>) considerado ao longo do tempo, para ambos os estudos de casos. Nesses gráficos percebe-se que a parede tem potencial de secagem, por conta dos materiais que a compõem os quais permitem a difusão de vapor; além disso, esse potencial de secagem é válido somente para as condições de macro e microclima analisadas. Ao término das simulações o perfil de ganho de umidade praticamente foi igual ao medido inicialmente (Figuras 11 e 12).

Figura 7 – Comparativo entre dados de temperaturas calculados e medidos in loco (S1).



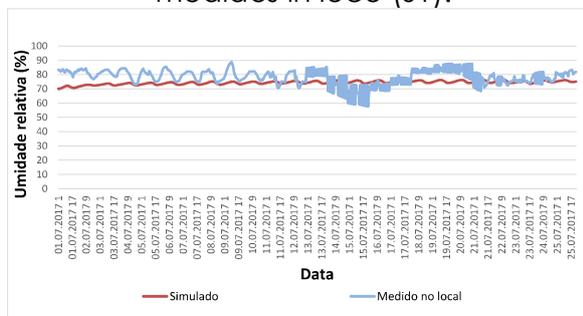
Fonte: Os autores.

Figura 8 – Comparativo entre dados de temperaturas calculados e medidos in loco (S2).



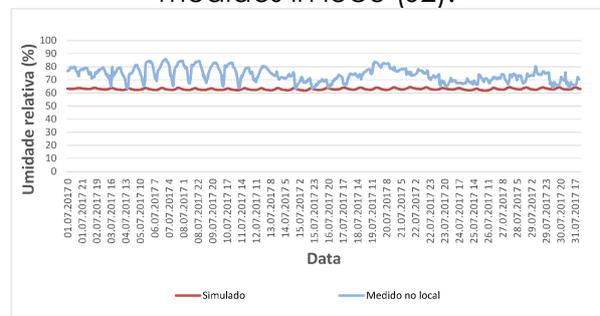
Fonte: Os autores.

Figura 9 – Comparativo entre dados de umidades relativas calculadas e medidos in loco (S1).



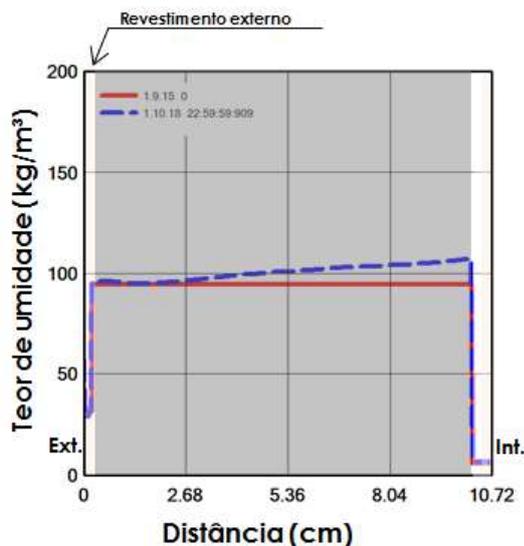
Fonte: Os autores.

Figura 10 – Comparativo entre dados de umidades relativas calculadas e medidos in loco (S2).



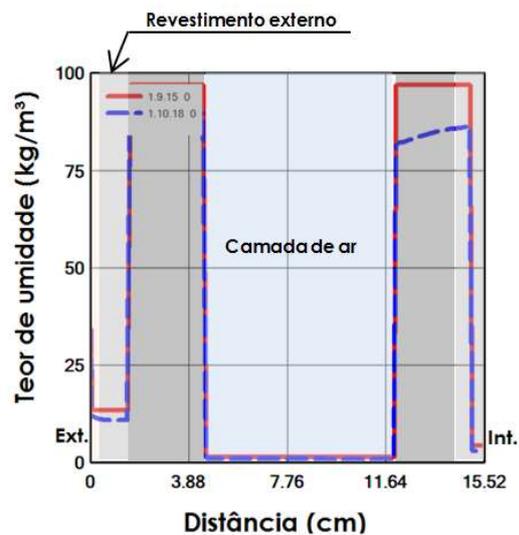
Fonte: Os autores.

Figura 11 – Teor de umidade da seção da parede (S1).



Fonte: Os autores.

Figura 12 – Teor de umidade da seção da parede (S2).



Fonte: Os autores.

## 6 Conclusão

Conclui-se que é possível usar a simulação computacional para avaliar a transferência de umidade através da parede, até porque o percentual de umidade observado nas paredes dos estudos de casos é condizente com o resultado obtido na simulação. A simulação higrotérmica permite reproduzir o processo de transferência de calor e umidade em um sistema construtivo real, permitindo estudos de sensibilidade sobre composição, características dos materiais e condições climáticas.

Embora essa ferramenta computacional possua algumas limitações, ela permite a possibilidade de avaliação das questões de umidade ainda em fase de projeto, bem como pode contribuir para a seleção de materiais mais adequados para cada situação.

## 7 REFERÊNCIAS

ANSI/ASHRAE - American National Standards Institute & American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers. **ANSI/ASHRAE 160 - Criteria for Moisture-Control Design Analysis in Buildings**. Atlanta, 2016.

ABNT NBR 13280:2005 Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa no estado endurecido (Procedimento CT-OBRAS-LMCC-R-PE-005).

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING. **ASTM D4404** Determination of Pore Volume and Pore Volume Distribution of Soil and Rock by Mercury Intrusion Porosimetry. Philadelphia, 2010.

EN ISO 12572: 2001, Higrothermal Performance of Buildings Materials and Products: Determination of Water Vapour Transmission Properties (Procedimento CT-OBRAS-LMCC-R-PE-035).

EN ISO 15148: 2002, Higrothermal Performance of Buildings Materials and Products: Determination of Water Absorption Coefficient by Partial Immersion(Procedimento CT-OBRAS-LMCC-R-PE-036).

EPW-ANTAC (RORIZ, 2012).

FREITAS, V. P.; PINTO, P. S. **Permeabilidade ao vapor de materiais de construção – condensações internas**. 2.ed. Nota de informação técnica - NIT – 002 do Laboratório de Física das Construções - LFC da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, 2000.

KÜNZEL, H. M. **Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components. One and two dimensional calculation using simple parameters.** Fraunhofer IRB Verlag Stuttgart, 1995. <[www.dec.fct.unl.pt/seccoes/smtc/pub1.pdf](http://www.dec.fct.unl.pt/seccoes/smtc/pub1.pdf)>. Acesso em 19.fev.2018. 65p.

MENDES, N. Modelos para Previsão da Transferência de Calor e de Umidade em Elementos Porosos de Edificações. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1997.

MENDES, N.; OLIVEIRA, R. C. L. F.; Santos, G. H. . **Domus. 2003. Patente: Modelo de Utilidade.** Número do registro: 05270-5, data de depósito: 01/07/2003, título: "Domus" , 2003a.

TRECHSEL, H.R. (Ed.). Moisture Control in Buildings: The Key Factor in Mold Prevention. 2. ed. Philadelphia: Trechsel, Trechsel R, 2009. 485 p.