ANÁLISE COMPARATIVA DO POTENCIAL DE OCORRÊNCIA DE BOLORES EM DIFERENTES SISTEMAS CONSTRUTIVOS

AFONSO, Thiago M. (1); BRITO, Adriana C. (2); AKUTSU, Maria (3)

(1) Mestrado Profissional em Habitação, IPT- SP, eng.thiagoafonso@gmail.com

(2) Laboratório de Conforto Ambiental e Sustentabilidade, IPT- SP, adrianab@ipt.br

(3) Laboratório de Conforto Ambiental e Sustentabilidade, IPT - SP, akutsuma@ipt.br

Resumo: *Diante de problemas recorrentes relacionados à proliferação de bolores em edificações construídas com paredes de concreto, neste trabalho é feita uma análise comparativa do potencial de ocorrência de bolores para diferentes configurações de paredes, visando identificar se o surgimento de bolor está relacionado ao sistema construtivo. Foi utilizado o modelo de previsão 'Bio-higrotérmico', aplicado a uma habitação típica de interesse social, sob condições de baixa ventilação e alta ocupação. Constatou-se que o sistema com paredes de concreto apresenta maior potencial para proliferação de bolores, sob as condições analisadas.*

Abstract: *In the face of recurrent problems related to mold proliferation in buildings constructed with solid concrete walls, this work aims to analyze if these problems are directly related to this constructive system, by making a comparative of the potential for molds formation on different walls configurations. Using the Biohygrothermal model applied to a typical project of social housing, under conditions of low ventilation and high occupancy, it was verified that the system with solid concrete walls presents greater potential for mold proliferation, under the conditions analyzed.*

Palavras-chave: *Micologia das edificações; fungo; bolor; desempenho higrotérmico.*

Área do Conhecimento: *Qualidade e desempenho de produtos e sistemas construtivos*

1 INTRODUÇÃO

A ocorrência de bolores no interior de edificações é um fenômeno que pode acarretar a deterioração das construções, bem como danos à saúde dos moradores. Atualmente no Brasil, tem se destacado a ocorrência de bolores no interior de edificações construídas com paredes de concreto, especialmente em empreendimentos habitacionais de interesse social. Este fenômeno foi estudado por Afonso (2018), onde se analisou sob quais situações é esperada a ocorrência de bolores nestes empreendimentos, bem como as principais causas do problema.

O objetivo deste trabalho é realizar uma análise comparativa do potencial de ocorrência de bolores em habitações com diferentes tipologias de paredes, a fim de verificar se os problemas ocorridos nos empreendimentos com paredes de concreto são diretamente associados ao seu sistema construtivo.

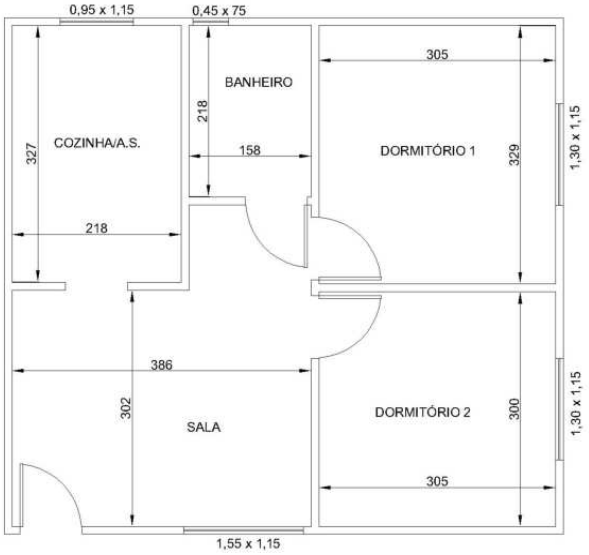
2 MÉTODO

Foram realizadas simulações computacionais com o software WUFI-Plus® (IBP, 2019), para obtenção das condições higrotérmicas sobre as superfícies das paredes (temperatura e umidade relativa) de uma unidade habitacional típica de interesse social (Figura 1). Foi adotada uma situação considerada crítica, com alta taxa de ocupação e baixa taxa de ventilação, porém plausível de ocorrer neste tipo de edificação.

Para a previsão da ocorrência de bolores, foi utilizado o modelo "Bio-higrotérmico" (SEDLBAUER, 2001), que quantifica a umidade necessária no interior dos esporos dos fungos para que ocorra sua germinação. Para calcular o balanço de umidade no interior dos esporos, assume-se que os esporos são distribuídos sobre as paredes, formando uma "camada biológica", conforme Figura 2. Os esporos dos fungos absorvem umidade do ambiente por meio de difusão, em razão das condições do microclima sobre a superfície das paredes, ou seja, a temperatura e a umidade relativa superficiais. A difusão é movida por um potencial osmótico existente no interior dos esporos, descrito através de duas propriedades: a função de armazenamento de umidade do esporo e a resistência à difusão do septo do esporo. A aplicação do modelo

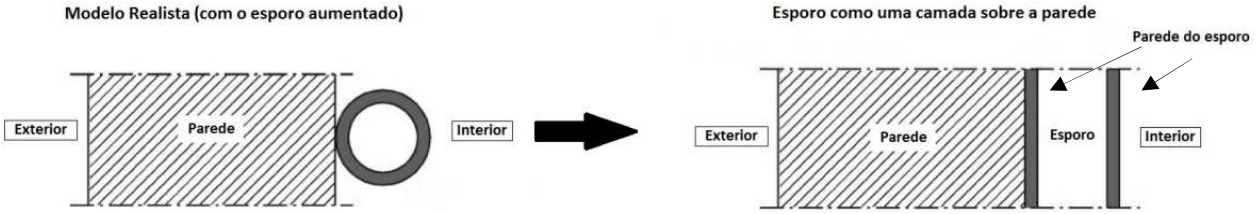
é efetuada comparando-se o teor de umidade calculado no interior do esporo ao teor de umidade crítico (umidade necessária para germinação dos esporos). Sempre que o teor de umidade no interior do esporo, em determinado intervalo, for superior ao teor de umidade crítico, considera-se que os fungos estão se desenvolvendo.

Figura 1: Planta considerada para as simulações computacionais.



Fonte: Projeto de autor desconhecido.

Figura 1: Adaptação dos esporos dos fungos considerados por Sedlbauer (2001) como uma "camada biológica" sobre a superfície das paredes.



Fonte: Sedlbauer (2001).

As simulações foram realizadas para períodos de um ano, com intervalos de uma hora, adotando-se as seguintes premissas:

- Apartamento em pavimento intermediário, sem contato com solo ou cobertura, com acabamento da fachada em cores médias (absortância à radiação solar α=0,4) e orientação geográfica das paredes externas dos dormitórios para a direção Sul; teor de umidade inicial nos componentes equivalente a 75% de umidade relativa, conforme analisado por Afonso (2018); não foi considerada absorção de água das chuvas pelas fachadas, devido ao seu revestimento hidrofugante.
- Foram analisados os dormitórios, considerando 3 ocupantes em repouso, das 22:00 às 8:00, o que corresponde a uma taxa de liberação de calor em 255 W/h e de umidade em 135 g/h; os ambientes foram ventilados com taxa de 1 renovação do volume de ar do ambiente por hora (Ren/h), situação com janelas fechadas conforme NBR 15.575 (ABNT, 2013).
- As simulações foram realizadas para as cidades de São Paulo (ZB 3), Campinas (ZB 3), Curitiba (ZB 1) e Manaus (ZB 8). O termo “ZB” refere-se a “Zona Bioclimática”, conforme a norma NBR 15220 (ABNT, 2008). Os arquivos climáticos foram obtidos da base de dados do programa EnergyPlus[1] (USDOE, 2019).

Foram analisadas as seguintes configurações de parede, sem considerar pintura interna, que pode

[1] Obtidos no acervo do Software EnergyPlus- https://energyplus.net/weather (acessado em 05/04/2019).

aumentar ou diminuir a susceptibilidade do substrato ao desenvolvimento de bolores, em decorrência da sua composição e propriedades higroscópicas (ADAN, 1991; NIELSEN, 2002).

1) Parede de concreto (10 cm), com revestimento externo em textura acrílica (2,5 mm) e interno em gesso liso (5 mm).
2) Parede com tijolo maciço comum assentado na menor dimensão (10 cm), revestimento externo em argamassa (2,0 cm) e textura acrílica (2,5 mm) e interno em gesso liso (0,5 cm)
3) Parede com blocos cerâmicos furados (14 cm), revestimento externo em argamassa (2,0 cm) e textura acrílica (2,5 mm) e interno em gesso liso (0,5 cm)
4) Parede com blocos vazados de concreto (14 cm), revestimento externo em argamassa (2,0 cm) e textura acrílica (2,5 mm) e interno em gesso liso (0,5 cm)

A Tabela 1 apresenta um resumo das propriedades dos materiais. Na Tabela 2 são indicadas as propriedades das paredes: Transmitância térmica (U), Capacidade térmica (CT) e Camada de ar com resistência à difusão equivalente (S_d). Na Tabela 3 são indicados critérios de avaliação da Transmitância Térmica e da Capacidade Térmica de paredes externas segundo a norma NBR 15575 (ABNT, 2013).

Tabela 1: Propriedades dos materiais constituintes das paredes em estado seco: densidade aparente (ρ), condutividade térmica (λ), calor específico (c) e fator de resistência à difusão de vapor d'água (μ).

Material	ρ (kg/m³)	λ (W/m.K)	c (J/kg.K)	μ (-)
Concreto (moldado in loco)	2300[a]	1,75[a]	1000[a]	180[b]
Cerâmica (bloco e tijolo	1800[a]	1,0[a]	920[a]	9,5[b]
Concreto (bloco)	2300[a]	1,75[a]	1000[a]	14[b]
Argamassa	1800[a]	1,15[a]	1000[a]	19,0[b]
Gesso liso	1100[a]	0,5[a]	840[a]	8,3[b]
Textura acrílica	1795[b]	0,37[b]	840[b]	86,7[b]

Fonte: [a]NBR 15.220-2 (ABNT, 2008); [b]Banco de dados do software WUFI Plus®

Tabela 2: Propriedades das paredes: Transmitância térmica (U), Capacidade térmica (CT) e Camada de ar com resistência à difusão equivalente (S_d).

Parede	U (W/m².K)	CT (kJ/m².K)	S_d (m)
1	4,10	238	18,25
2	3,29	210	1,63
3	1,59	131	1,22
4	2,71	181	1,55
Legenda: células coloridas indicam atendimento ou não de critérios do método simplificado de avaliação do desempenho térmico de paredes constantes na NBR 15575 (Tabela 3): vermelho não atende; amarelo, atende para cores claras e médias; verde			

Fonte: Autores.

Tabela 3: Limites de Transmitância térmica estabelecidos pelo critério simplificado da Norma de Desempenho (NBR 15.575, ABNT 2013) para paredes externas.

Transmitância térmica - U (W/m².K)			Capacidade Térmica (kJ/m².K)
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8		Zonas 1 a 7**
U ≤ 2,5	α* ≤ 0,6	α* ≤ 0,6	CT ≥ 130
	U≤ 3,7	U ≤ 2,5	
Observações: *absortância à radiação solar da superfície externa da parede; **Exigência para zonas 1 a 7 somente.			

Fonte: NBR 15.575 (ABNT, 2013).

Para aplicação do modelo Bio-higrotérmico foi utilizado o software WUFI-Bio (IBP, 2019). Os resultados são analisados para o período de 1 ano e apresentados em um "Índice de crescimento dos micélios", conforme proposto por SEDLBAUER, KRUS, SEIDLER (2010), conforme descrito no Quadro 1.

Quadro 1: Índice de crescimento dos micélios

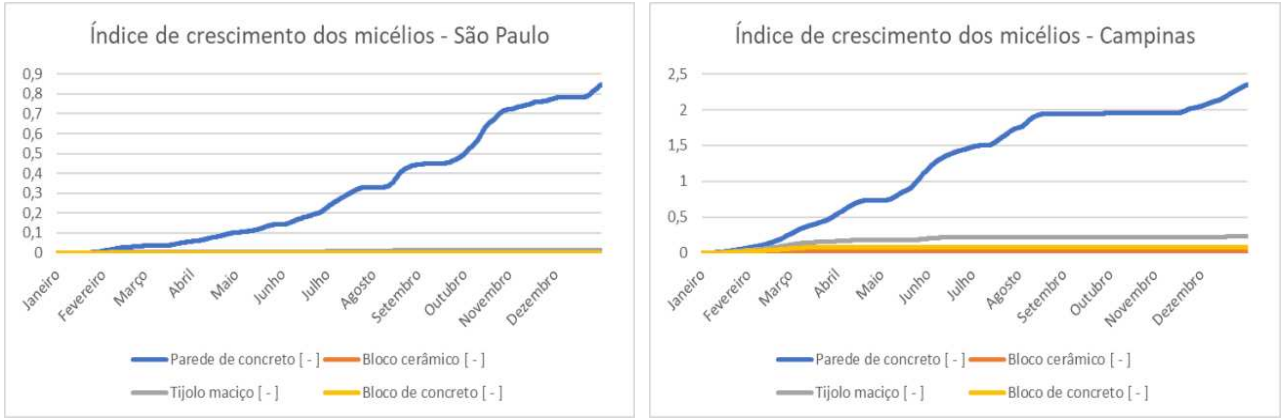
Índice	Descrição
0	Sem crescimento
1	Algum crescimento visível sob microscópio
2	Crescimento moderado visível sob microscópio, cobertura superior a 10%
3	Algum crescimento visível a olho nu
4	Cobertura visível acima de 10%
5	Cobertura maior que 50% visível
6	Cobertura 100% visível

Fonte: SEDLBAUER, KRUS, SEIDLER (2010).

3 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

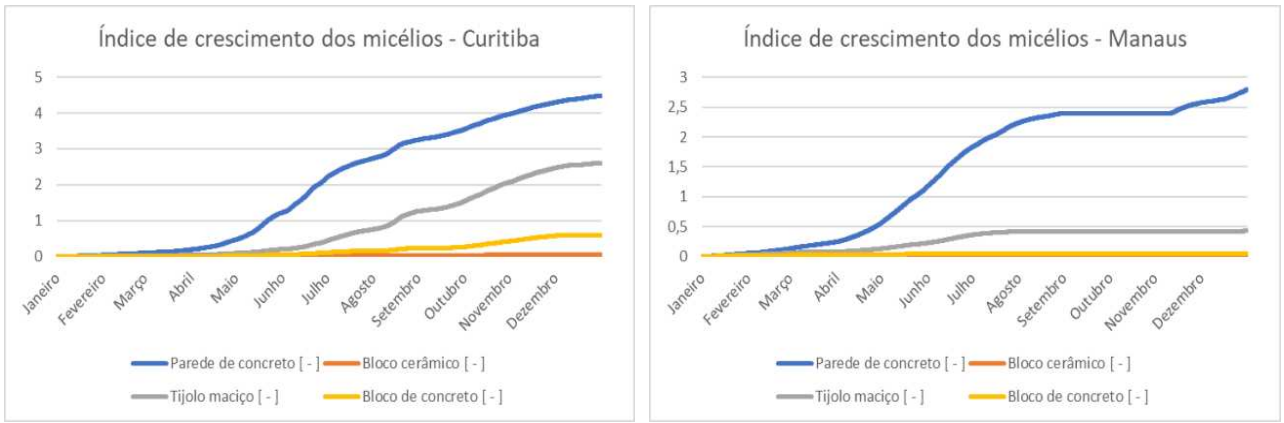
Como resultados são apresentados os Índices de crescimento dos micélios para cada tipologia de parede analisada, calculados para a parede externa do dormitório 2, ao longo de um ano. Na Figura 3 estão os resultados para as cidades de São Paulo e Campinas e na Figura 4 para as cidades de Curitiba e Manaus. Apresenta-se, na Figura 5, o comparativo da umidade relativa superficial e da temperatura superficial, calculadas para as paredes de concreto e de blocos cerâmicos, apenas para os meses de julho e dezembro, na cidade de São Paulo, tendo em vista ilustrar o comportamento higrotérmico destas paredes em dois períodos opostos, frio e seco para julho e quente e úmido para dezembro.

Figura 3: Índices de crescimento dos micélios obtidos para as cidades de São Paulo e Campinas



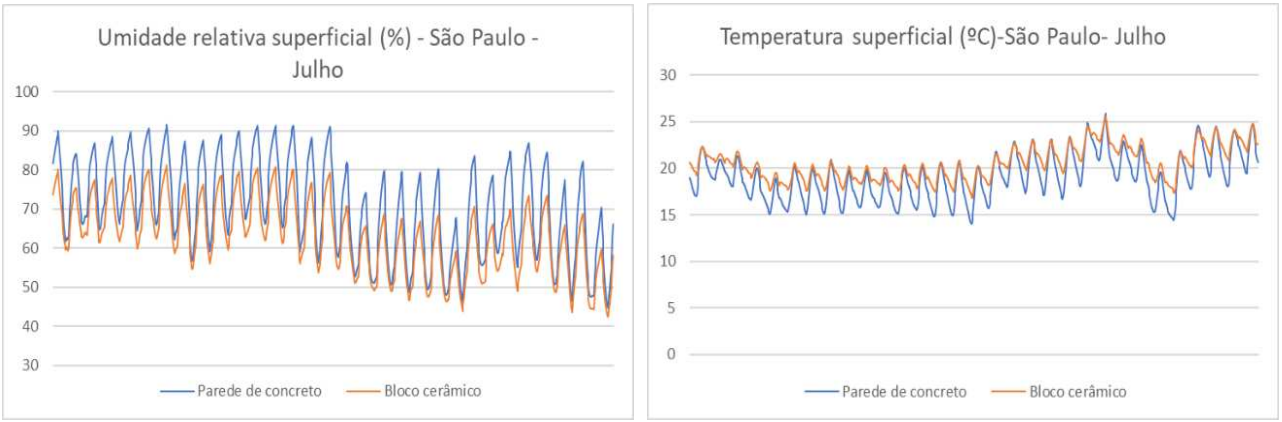
Fonte: Autores.

Figura 4: Índices de crescimento dos micélios obtidos para a cidades de Curitiba e Manaus



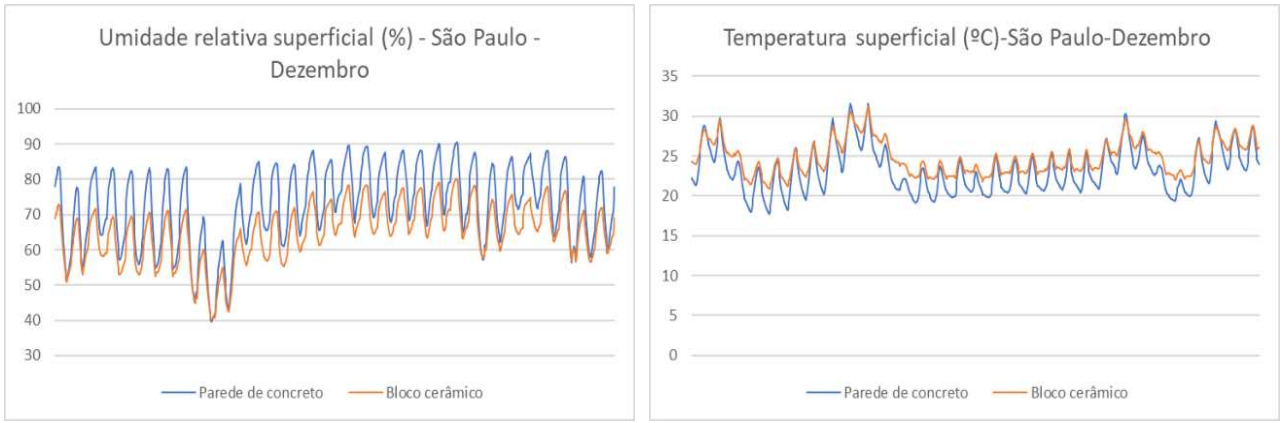
Fonte: Autores.

Figura 5: Umidade Relativa superficial (%) e Temperatura superficial (ºC) para São Paulo em julho.



Fonte: Autores.

Figura 6: Umidade Relativa superficial (%) e Temperatura superficial (ºC) para São Paulo em dezembro.



Fonte: Autores.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para todas as condições climáticas analisadas, as paredes de concreto foram as que apresentaram maior índice de crescimento de bolores. Desta forma, os resultados indicam que a probabilidade de proliferação de bolor é maior para as paredes em concreto, em relação às demais configurações de paredes estudadas, sob as condições consideradas.

Isto acontece, pois, nesta configuração de parede ocorrem os maiores valores de umidade relativa superficial, parâmetro determinante para favorecer o desenvolvimento de bolores. Destaca-se que isso não é causado apenas pelo seu baixo isolamento térmico, mas também pelas suas propriedades higroscópicas. Num primeiro momento, em razão da parede de concreto atingir menores temperaturas superficiais, cria-se uma maior tendência de migração da umidade do ar à superfície da parede, devido à diminuição da pressão parcial de vapor em sua superfície. Concomitantemente, devido às propriedades higroscópicas da parede de concreto, por exemplo, a alta resistência à difusão de vapor d'água, a umidade acrescida à superfície encontra maior dificuldade em deslocar-se através da parede e atingir maiores profundidades, consequentemente, concentrando-se superficialmente e favorecendo o desenvolvimento dos micro-organismos.

Os dormitórios (cômodos em análise) são especialmente afetados, pois nestes espaços há uma longa permanência dos habitantes, e consequentemente grande liberação de umidade, justamente no período noturno, mesmo período em que as paredes apresentam suas temperaturas superficiais mais baixas.

No que tange às condições climáticas, é interessante observar ainda que, embora estando na mesma Zona Bioclimática, resultados quanto à probabilidade de ocorrência de bolor no interior de edificações podem ser diferentes, como é o caso observado na Figura 3, para as cidades de São Paulo e de Campinas.

5 CONCLUSÕES

Neste estudo, concluiu-se que o sistema construtivo com paredes de concreto apresenta maior potencial para a ocorrência de bolores, em comparação às demais configurações de paredes analisadas e sob as condições consideradas, de alta ocupação e baixa ventilação, plausíveis de ocorrer em empreendimentos habitacionais de interesse social, por exemplo.

De forma geral as paredes de concreto não apresentam desempenho térmico adequado, inclusive não atendendo ao critério simplificado da Norma de Desempenho (NBR 15.575, ABNT 2013) em relação à transmitância térmica. Isso faz com que as superfícies internas das paredes exteriores tendam a apresentar temperaturas superficiais mais baixas, em dias frios, e consequentemente, maior potencial de migração de vapor d'água do ar úmido à parede.

Além das propriedades térmicas, o comportamento higroscópico do concreto também é determinante para a ocorrência de bolores. A alta resistência à difusão de vapor d'água do concreto, por exemplo, faz com que a umidade contida na superfície encontre dificuldade para atingir maiores profundidades da parede. Mantendo-se na superfície por mais tempo, a alta concentração de umidade superficial favorece o desenvolvimento de bolores.

Por este motivo, a busca de um critério para prevenir a ocorrência de bolores em edificações brasileiras deve considerar o desempenho higrotérmico das construções e seus componentes, a fim de limitar a umidade superficial das paredes, fator determinando para a proliferação dos microrganismos.

6 REFERÊNCIAS

ADAN, Olaf Clemens Gerardus. On the fungal defacement of interior finishes. 224 f. Ph.D. Thesis Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven, 1994.

AFONSO, Thiago Martin. 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. 2018. 177 f. Dissertação - Curso de Mestrado em Habitação: Planejamento e Tecnologia, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575: Edificações habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-2: Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2008.

IBP, Fraunhofer. Software WUFI®-Plus – Thermal, Energy and Moisture simulation of building, Version 3.2.0.1. Germany, 2019.

IBP, Fraunhofer. Software WUFI®-Bio, Version 3.5.3. Germany, 2019.

NIELSEN, Kristian Fog. Mould growth on building materials: Secondary metabolites, mycotoxins and biomarkers. 120 f. Ph.D. Thesis. Danish Building And Urban Research, Aalborg University, Aalborg, 2002.

SEDLBAUER, K. Prediction of Mould Fungus Formation on the Surface of and Inside Building Components. Holzkirchen: Fraunhofer Institute for Building Physics, 2001.

SEDLBAUER, Klaus; KRUS, Martin; SEIDLER, Michael. Comparative Evaluation of the Predictions of Two Established Mold Growth Models. Ashrae Transactions, v. 116, part. 2, 2010.

UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY - USDOE. Energy Plus Simulation Software, 2019.

VEREECKEN, Evy; ROELS, Staf. Review of mould prediction models and their influence on mould risk evaluation. Elsevier. Leuven, p. 296-310. maio 2012.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould. Copenhagen: Who Regional Office For Europe, 2009. 228 p.