

PREDIÇÃO DAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DE UM LOCAL USANDO UM MODELO DE ENVOLTÓRIO BASEADO NA TEORIA DA “EVAPORAÇÃO E CONDENSAÇÃO”

Kátia Cordeiro Mendonça

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – PPGEM
Pontifícia Universidade Católica do Paraná – PUCPR
Rua Imaculada Conceição, 1155 Prado Velho 80.215-901 Curitiba –PR
k.mendonca@pucpr.br

Leandro José Machado

Pontifícia Universidade Católica do Paraná
Rua Imaculada Conceição, 1155 Prado Velho 80.215-901 Curitiba –PR
leandro.machado@pucpr.br

Rafael Elias Mazzaro

Pontifícia Universidade Católica do Paraná
Rua Imaculada Conceição, 1155 Prado Velho 80.215-901 Curitiba –PR
r.mazzaro@pucpr.br

Resumo. Neste trabalho apresenta-se um modelo para prever o comportamento higrotérmico e energético de edificações, no qual a descrição matemática do envoltório é baseada na denominada teoria da “Evaporação e Condensação” que considera que a migração de umidade no material ocorre unicamente na fase de vapor. Foram analisados os efeitos da discretização espacial do envoltório e do passo de tempo para dois tipos de material de construção na previsão da umidade relativa de um local. Utilizou-se um caso de estudo simplificado, cuja solução semi-analítica encontra-se disponível na literatura, como base para a análise de sensibilidade desses parâmetros. Os resultados mostraram que o passo de tempo de 1h, largamente empregado em simulação de edificações, nem sempre produz resultados satisfatórios quando são levados em conta os efeitos higroscópicos dos materiais de construção porosos da edificação.

Palavras chave: umidade, adsorção, edificação, simulação numérica.

1. Introdução

Os materiais de construção são em sua maioria porosos e, portanto, são capazes de absorver umidade do ambiente que os cerca. A modelagem matemática do envoltório de uma edificação é dessa forma complexa, uma vez que simultaneamente à transferência de calor, diversos fenômenos termo-físicos relacionados à migração e ao armazenamento de umidade ocorrem num meio poroso. Alguns exemplos são a difusão molecular de vapor, o escoamento capilar de líquido e a evaporação e condensação de água. Entretanto, desde a década de 40, vários modelos matemáticos para descrever a transferência acoplada de calor e massa em meios porosos têm sido desenvolvidos (Philip e De Vries, 1957; Kerestecioglu et al., 1990a; Kerestecioglu et al., 1990b; Duforestel e Dalicieux, 1994; Ozaki et al., 2001). Os recentes avanços tecnológicos permitiram incorporá-los a modelos de simulação energética de edificações, dando origem a programas de simulação que levam em conta o efeito higroscópico dos materiais de construção na avaliação do desempenho higrotérmico e energético de edificações, como por exemplo: CLIM2000 (Woloszyn, 1999), BSIM2000 (Rode et al., 2001), EnergyPlus (Drury et al., 2001), DOMUS (Mendes et al., 2003), SimSPARK (Mora et al., 2003), TRNSYS (Klein et al., 2004) e WUFI+ (Küenzel et al., 2005).

O grau de sofisticação da modelagem matemática do envoltório empregada nestas ferramentas é bastante variável, podendo ser classificada em três categorias: simplificada, intermediária e completa. Nesta classificação, a modelagem que se encaixa na categoria simplificada diz respeito a modelos que consideram que apenas uma camada delgada do material do envoltório é afetada pela umidade do ar ambiente. Esta abordagem do tipo *lumped* é empregada nos programas CLIM2000 (Woloszyn, 1999), EnergyPlus (Drury et al., 2001), SimSPARK (Mora et al., 2003) e TRNSYS (Klein et al., 2004). Nos outros dois grupos de modelos, intermediário e completo, o transporte de umidade se realiza ao longo de toda a espessura da parede. No entanto, no primeiro grupo, considera-se que a umidade migra através do material unicamente por difusão de vapor, ao passo que no segundo grupo, considera-se que a umidade migra em ambas as fases, líquida e vapor, utilizando-se dos mecanismos de transporte de difusão de vapor e capilaridade. BSIM2000 (Rode et al., 2001), EnergyPlus (Drury et al., 2001), DOMUS (Mendes et al., 2003) e SimSPARK (Mora et al., 2003)

são exemplos de programas de simulação que dispõem da modelagem intermediária, e DOMUS (Mendes et al., 2003), SimSPARK (Mora et al., 2003) e WUFI+ (Küenzel et al., 2005) são exemplos daqueles que dispõem da abordagem dita completa. Ressalta-se que o termo *completo*, aqui empregado, não se refere a uma completa representação de todos os fenômenos termofísicos envolvidos no processo de transferência de calor e massa através de um meio poroso.

Nota-se que, em função das hipóteses inerentes à modelagem matemática do envoltório, as ferramentas de simulação acima citadas podem prever condições climáticas diferentes para um mesmo ambiente. Adicionando-se o fato da diferença do método numérico empregado na solução do sistema de equações resultantes e da escolha do passo de tempo e da discretização espacial do envoltório (quando pertinente) feita pelo usuário, resultados bastante discrepantes podem ser encontrados na determinação das condições climáticas de um local.

Dessa forma, o intuito deste trabalho é avaliar a influência dos parâmetros definidos pelo usuário, passo de tempo e discretização espacial do envoltório, na previsão das condições ambientes de um local. Para este fim, um estudo de caso simplificado, para o qual dispõe-se de solução semi-analítica, foi utilizado como base para a análise de sensibilidade de um programa de simulação higrotérmica e energética de edificações em relação a esses dois parâmetros. Nesta análise foi empregada a ferramenta SimSPARK (Mora et al., 2003), com a transferência acoplada de calor e umidade através do envoltório sendo descrita por um modelo baseada na teoria da “Evaporação e Condensação”, a qual considera a difusão de vapor como único mecanismo de transporte de umidade no meio poroso.

2. Modelagem matemática

Neste trabalho, o modelo matemático empregado para caracterizar a edificação é composto de dois submodelos que representam separadamente o ar ambiente e o envoltório da edificação.

2.1. Modelo do ar ambiente

Este submodelo é descrito por dois sistemas de equações. O primeiro sistema determina as características físicas do ar ambiente, sendo constituído pelas equações de conservação de massa e de energia e por equações de estado. O segundo sistema é constituído pelas equações que determinam as trocas de calor e de massa entre o ambiente e o envoltório, e entre o ambiente e o meio externo.

Assumindo que o ar ambiente é uma mistura homogênea, as equações de conservação de massa (ar seco e vapor da água) e de energia podem ser expressas por:

$$\sum_{i=1}^6 \dot{m}_{as} = 0 \quad (1)$$

$$V \frac{d\rho_{va}}{dt} = \sum_{i=1}^6 \dot{m}_{va} + \dot{m}_{va, fonte} \quad (2)$$

$$\rho_{as} C_{p, as} V \frac{dT}{dt} = q_{fonte} + \sum_{i=1}^6 Q + \sum_{i=1}^6 \phi \quad (3)$$

onde $C_{p, as}$ é o calor específico à pressão constante do ar seco em $J/(kg.K)$, \dot{m}_{as} é a vazão mássica de ar seco em kg/s , \dot{m}_{va} é a vazão mássica de vapor d'água em kg/s , $\dot{m}_{va, fonte}$ é a geração de vapor em kg/s , q_{fonte} é a geração de calor sensível em W , Q é a taxa de calor transferida pelo ar seco em W , T é a temperatura do ar úmido em K , t é o tempo em s , V é o volume do ambiente em m^3 , ρ_{as} é a massa específica do ar seco em kg/m^3 , ρ_{va} é a massa específica do vapor d'água em kg/m^3 e ϕ é a taxa de transferência de calor por condução em W . O índice i refere-se a cada uma das 6 faces do ambiente.

Note que na Eq.(1), a variação temporal da massa de ar seco dentro do ambiente foi desprezada.

As propriedades termodinâmicas do ar ambiente são relacionadas entre si pela equação do gás ideal, Eq.(4), e pelas relações psicrométricas descritas nas equações de (5) a (7):

$$p = (\rho_{as} R_{as} + \rho_{va} R_{va}) T \quad (4)$$

$$\rho = \rho_{as} + \rho_{va} \quad (5)$$

$$W = \frac{\rho_{va}}{\rho_{as}} \quad (6)$$

$$\phi = \left(\frac{\rho_{va} R_{va} T}{P_{va,sat}} \right)_{p,T} \quad (7)$$

onde p é a pressão total do ar ambiente em Pa, $p_{va,sat}$ é a pressão de saturação do vapor d'água em Pa, R_{as} é a constante do ar seco em J/(kg.K), R_{va} é a constante do vapor d'água em J/(kg.K), W é a umidade absoluta do ar em kg/kg, ρ é a massa específica do ar úmido em kg/m³ e ϕ é a umidade relativa do ar.

Uma equação adicional é usada para calcular a pressão de saturação do vapor d'água na equação (7). Neste estudo adota-se a equação proposta por Woloszyn, 1999.

O cálculo da vazão mássica de ar seco entre os ambientes externo e interno baseia-se na equação da placa de orifício. Nesta abordagem, a vazão mássica de ar seco que atravessa a seção de área A que separa os dois ambientes pode ser expressa da seguinte forma:

$$p_1 - p_2 \geq 0 \quad \dot{m}_{as} = CdA\rho_{as,1} \sqrt{2 \frac{(p_1 - p_2)}{\rho_1}} \quad (8a)$$

$$p_1 - p_2 < 0 \quad \dot{m}_{as} = -CdA\rho_{as,2} \sqrt{2 \frac{(p_2 - p_1)}{\rho_2}} \quad (8b)$$

onde Cd é o coeficiente de descarga e os índices 1 e 2 representam, respectivamente, os ambientes à esquerda e à direita da seção de área A .

O cálculo da vazão mássica de vapor d'água é composto de dois termos: um termo difusivo e um termo devido à diferença de pressão entre os ambientes externo e interno. A vazão mássica do vapor d'água devido à diferença da pressão é baseada na vazão mássica do ar seco, como expresso pelas Eqs.(10a) e (10b). Já o termo difusivo é calculado pela lei de Fick, segundo a Eq.(11):

$$p_1 - p_2 \geq 0 \quad \dot{m}_{va} = \rho_{va,1} \left(\frac{\dot{m}_{as}}{\rho_{as,1}} \right) \quad (10a)$$

$$p_1 - p_2 < 0 \quad \dot{m}_{va} = \rho_{va,2} \left(\frac{\dot{m}_{as}}{\rho_{as,2}} \right) \quad (10b)$$

$$\dot{m}_{va} = D_{va} A [(\rho_1 + \rho_2)/2] \left[\frac{(\rho_{va,1}/\rho_1) - (\rho_{va,2}/\rho_2)}{(l_1 + l_2)/2} \right] \quad (11)$$

onde D_{va} é o coeficiente de difusão do vapor d'água no ar em m²/s e l é a dimensão perpendicular à seção de área A , em m, do ambiente adjacente a esta seção.

A taxa de transferência de calor através da abertura que separa os ambientes externos e internos é a soma de um termo advectivo, Eqs.(12a) e (12b), e de um termo condutivo dado pela equação (13),

$$\dot{m}_{as} \geq 0 \quad \dot{Q} = \dot{m}_{as} C_{p,as} T_1 \quad (12a)$$

$$\dot{m}_{as} < 0 \quad \dot{Q} = \dot{m}_{as} C_{p,as} T_2 \quad (12b)$$

$$\phi = kA \left[\frac{(T_1 - T_2)}{(l_1 + l_2)/2} \right] \quad (13)$$

onde k é a condutividade térmica do ar úmido em W/(m.K).

2.1. Modelo do envoltório

Este submodelo emprega a denominada teoria da “Evaporação e Condensação” (Kerestecioglu e Gu, 1990b) para descrever a transferência acoplada de calor e de umidade através dos materiais porosos do envoltório. Esta teoria é válida para a região higroscópica dos materiais, pois assume que a umidade migra através do material unicamente na fase de vapor. É composta basicamente das equações de conservação de massa e de energia, e de uma isoterma de adsorção, conforme descrito a seguir:

Conservação da massa:

$$\varepsilon \frac{\partial \rho_{ve,s}}{\partial t} + \rho_0 \frac{\partial U_s}{\partial t} = \varepsilon D_{ve,s} \frac{\partial^2 \rho_{ve,s}}{\partial x^2} \quad (14)$$

onde ε é a porosidade do material, $D_{ve,s}$ é a difusão do vapor d’água no meio poroso m^2/s , U_s é o conteúdo de umidade em kg/kg, x é a dimensão de comprimento, em m, perpendicular ao envoltório da edificação e ρ_0 é a massa específica da matriz porosa seca em kg/m^3 .

O primeiro termo da Eq. (14) representa a taxa de variação temporal de massa de vapor d’água no ar dos poros do material, o segundo, a taxa de variação temporal de massa de água na fase líquida na superfície dos poros do material (adsorção/dessorção de umidade), e o último, a difusão de vapor d’água no interior dos poros.

Conservação da energia:

A equação da conservação da energia estabelece que a variação temporal de energia no meio poroso é igual ao fluxo líquido de calor recebido por condução mais a energia liberada durante o fenômeno de adsorção de umidade,

$$\rho_e C_p \frac{\partial T}{\partial t} = k_e \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + L_v \rho_0 \frac{\partial U_s}{\partial t} \quad (15)$$

onde ρ_e , C_p e k_e são, respectivamente, as propriedades efetivas do material poroso massa específica em kg/m^3 , calor específico à pressão constante em $J/(kg.K)$ e condutividade térmica em $W/(m.K)$, e L_v é o calor latente de vaporização da água em J/kg .

Neste trabalho, tanto as variáveis efetivas como os coeficientes de transporte são considerados constantes.

Condições de contorno:

A superfície externa do envoltório é sujeita à radiação solar e às transferências convectivas de calor e de massa, e a superfície interna é sujeita às trocas radiativas de comprimentos de onda longo e curto e às transferências convectivas de calor e de massa.

Assumindo que o sistema encontra-se em equilíbrio termodinâmico, as variáveis de estado são relacionadas por uma isoterma de equilíbrio, ou seja, uma função do tipo $U_s = f(\varphi_s)$, onde φ_s é a umidade relativa do ar do poro.

Utilizou-se, no presente trabalho, o método de diferenças finitas para a discretização das equações governantes deste submodelo.

3. Resultados

Para investigar os efeitos da discretização espacial do envoltório e do passo de tempo na previsão da umidade relativa de um local, foram realizadas diversas simulações de um ambiente de referência com o modelo apresentado anteriormente. As simulações envolveram discretizações do envoltório com malhas de 5, 10, 20, 30, 40 e 50 nós para dois materiais diferentes. Para cada malha testada, foram utilizados os passos de tempo de 300, 900, 1800 e 3600s. Todos os resultados numéricos obtidos foram comparados com a solução semi-analítica proposta por Bednar e Hagentof (2005).

3.1. Descrição do modelo físico

O ambiente de referência para o estudo proposto corresponde à geometria empregada na metodologia BESTEST (Judkoff et al., 1995), sem as janelas. Nesta metodologia, a edificação é composta por uma única zona, retangular, de dimensões internas 8m x 6m x 2,7m, sem partições em seu interior.

Considera-se que o envoltório, de espessura igual a 0,15 m, é composto de um único material com propriedades constantes. Na Tabela 1 são apresentadas as propriedades do meio poroso seco para os dois materiais empregados na análise comparativa deste trabalho:

Tabela 1: Propriedades da matriz porosa seca

Material	ρ_0 kg/m ³	C_{p0} J/(kg.K)	k_0 W/(m.K)	ϵ %
Concreto Aerado	650	840	0,18	76
Reboco	2050	932	1,92	18

As isotermas de adsorção são admitidas lineares, sendo a inclinação da curva igual a 0,0661 para o concreto aerado e 0,0217 para o reboco.

Neste estudo de caso, as condições iniciais do ar ambiente e do envoltório são consideradas iguais às condições do ambiente externo, isto é, temperatura de 20°C e umidade relativa de 30%. Sob tais condições, o grau de saturação do concreto aerado corresponde a aproximadamente 1,7%. Portanto, para este material as propriedades efetivas constantes são supostas iguais às propriedades do material poroso seco. Já para o reboco, o grau de saturação é de aproximadamente 12%. As propriedades efetivas foram então calculadas levando-se em conta a presença de umidade no material, resultando em: $\rho_e = 2071,5$ kg/m³, $C_{pe} = 1009,7$ J/(kg.K) e $k_e = 2,07$ W/(m.K).

O coeficiente de difusão do vapor d'água no meio poroso, $D_{ve,s}$, é $4,06 \times 10^{-6}$ m²/s para o concreto aerado e $4,32 \times 10^{-7}$ m²/s para o reboco.

O lado externo do envoltório é considerado impermeável ao passo que a superfície interna troca umidade com o ar ambiente. O coeficiente convectivo de transferência de massa é constante e igual a 0,0027 m/s. Ambas as superfícies do envoltório trocam calor apenas por convecção com os ambientes adjacentes às respectivas superfícies, sendo o coeficiente convectivo de transferência de calor igual a 29,30 W/(m².K) para a parede externa e 8,29 W/(m².K) para a parede interna.

Considera-se ainda, que o ambiente está isolado no ar, é ventilado a uma taxa de 0,5 trocas de ar/hora e possui uma fonte de vapor d'água intermitente, que libera vapor d'água a uma taxa de 0,5 kg/h, no período das 09:00 às 17:00 h.

3.2. Análise dos resultados

Na Figura 2 são apresentados, para o concreto aerado, os perfis de variação de umidade relativa do ambiente interno ao longo do tempo para o último dia do ano, para as simulações cuja discretização espacial do envoltório compreende 30 nós.

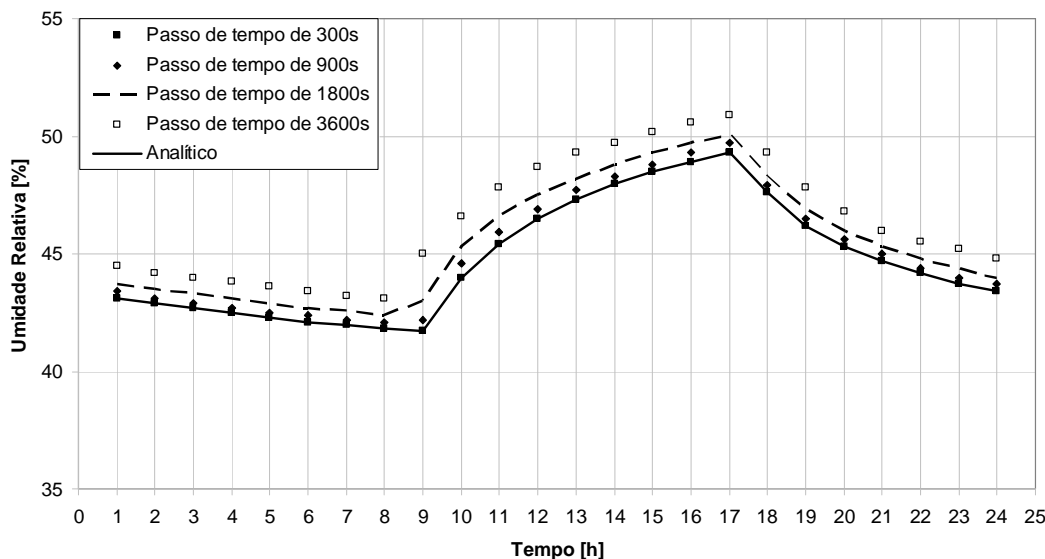


Figura 2. Umidade relativa do ambiente interno ao longo do tempo para uma discretização do envoltório de 30 nós

Nota-se, que as curvas resultantes das simulações com malha de envoltório de 30 nós produziram perfis próximos ao da curva analítica, apresentando três situações distintas ao longo do dia. A primeira situação envolve a faixa de tempo anterior ao período onde se tem geração de vapor no ambiente interno, entre 1 e 9 horas da manhã. Neste período a umidade relativa no ambiente interno está diminuindo, principalmente em função da ventilação do ambiente pelo ar

externo com umidade relativa mais baixa (30%). A segunda situação envolve a faixa de tempo na qual se está gerando vapor, entre 9 e 17 horas. Neste período, embora uma grande parte da umidade gerada no ambiente seja absorvida pelos materiais higroscópicos do envoltório, a umidade relativa aumenta e alcança aproximadamente 50%. Por fim, no período posterior ao da geração de vapor, entre 17 e 24 horas, a umidade relativa do ambiente volta a cair, ficando próxima de 44 %.

Observa-se que, globalmente, houve acúmulo de umidade no interior da sala. O ar ambiente que inicialmente se encontrava a uma umidade relativa de 30%, ao final de 1 ano apresenta uma umidade relativa variando de aproximadamente 43 a 49%. Além da taxa de ventilação de 0,5 trocas de ar/hora não ser capaz de retirar a umidade gerada no ambiente, parte desta umidade é absorvida pelo material do envoltório e devolvida para o ambiente nos períodos sem geração de vapor.

Com relação à influência do passo de tempo na predição da umidade relativa do local, a Fig. 2 mostra que, com o aumento do passo de tempo, o modelo prevê valores maiores para a umidade relativa do ambiente interno. Os erros relativos máximos no período de análise foram inferiores a 3% para as simulações com passos de tempo de 300, 900 e 1800s, ao passo que a simulação com 3600 s apresentou um erro relativo máximo da ordem de 7%.

Na Figura 3 são apresentados os resultados da avaliação do refinamento da malha do envoltório na previsão da umidade relativa do ambiente, para o último dia do ano, para as simulações com passo de tempo igual a 900 s.

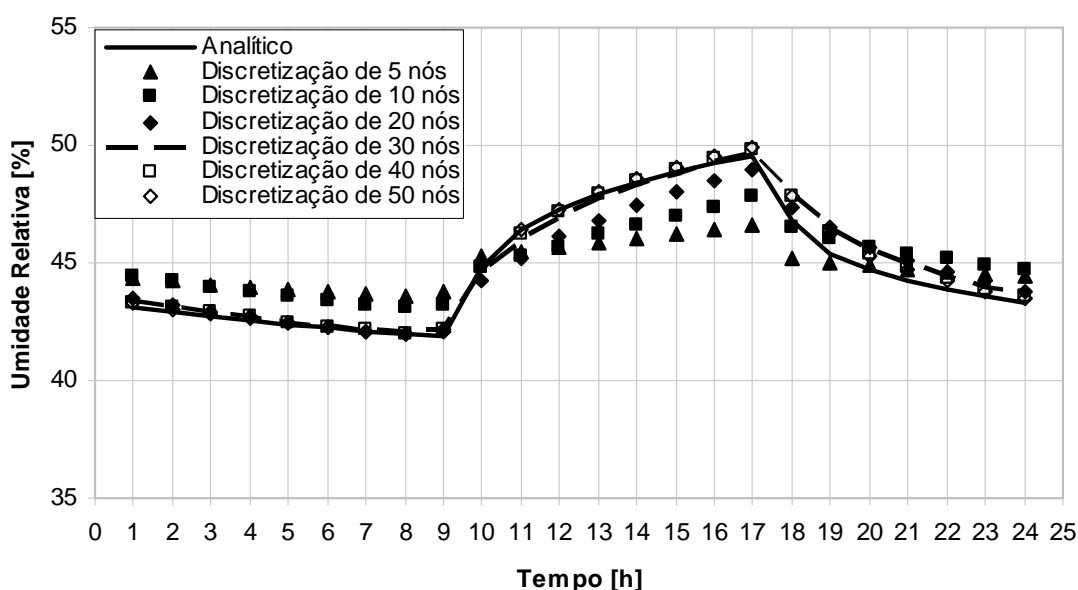


Figura 3. Umidade relativa do ambiente interno ao longo do tempo empregando passo de tempo de 900s.

Percebe-se, na Figura 3, que as malhas mais grosseiras, com 5 e 10 nós, embora apresentem perfis de umidade relativa ao longo do tempo com a mesma tendência da curva analítica, estes são mais achados, indicando uma variação de umidade relativa menor do que aquela descrita pela curva analítica no período onde se tem geração de vapor no ambiente interno. Neste período, o modelo prevê valores maiores de umidade relativa com o aumento do número de nós. Uma redução de 50% no erro relativo máximo é observada neste estudo de caso quando se passa de 5 para 20 nós na discretização espacial do envoltório, caindo de 6 para 3%, aproximadamente.

Os perfis temporais de umidade relativa para o último dia do ano, obtidos com as simulações com passo de tempo de 300 s e utilizando o reboco como material do envoltório, são apresentados na Fig. 4.

Observa-se na Figura 4 que, mesmo utilizando um passo de tempo reduzido, para o reboco, os resultados numéricos provenientes do modelo apresentaram erros bem maiores do que aqueles apresentados pelo concreto aerado quando comparados ao resultado analítico, indicando a influência do material sobre a discretização do envoltório.

Conforme mostra a Figura 5, no melhor dos casos, simulação com passo de tempo de 300 s e malha de 50 nós, o erro relativo máximo na previsão da umidade relativa interna foi da ordem de 8%, enquanto que para o passo de tempo de 1 h, os erros relativos máximos variaram entre 12 e 19%.

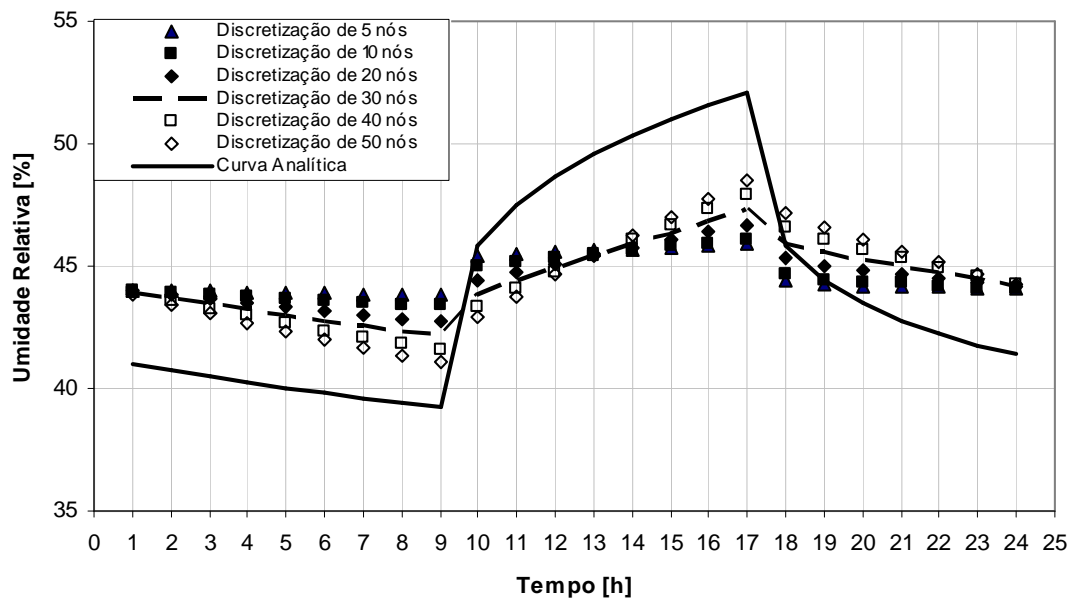


Figura 4. Umidade relativa do ambiente interno ao longo do tempo empregando o reboco como material do envoltório e passo de tempo de 300s.

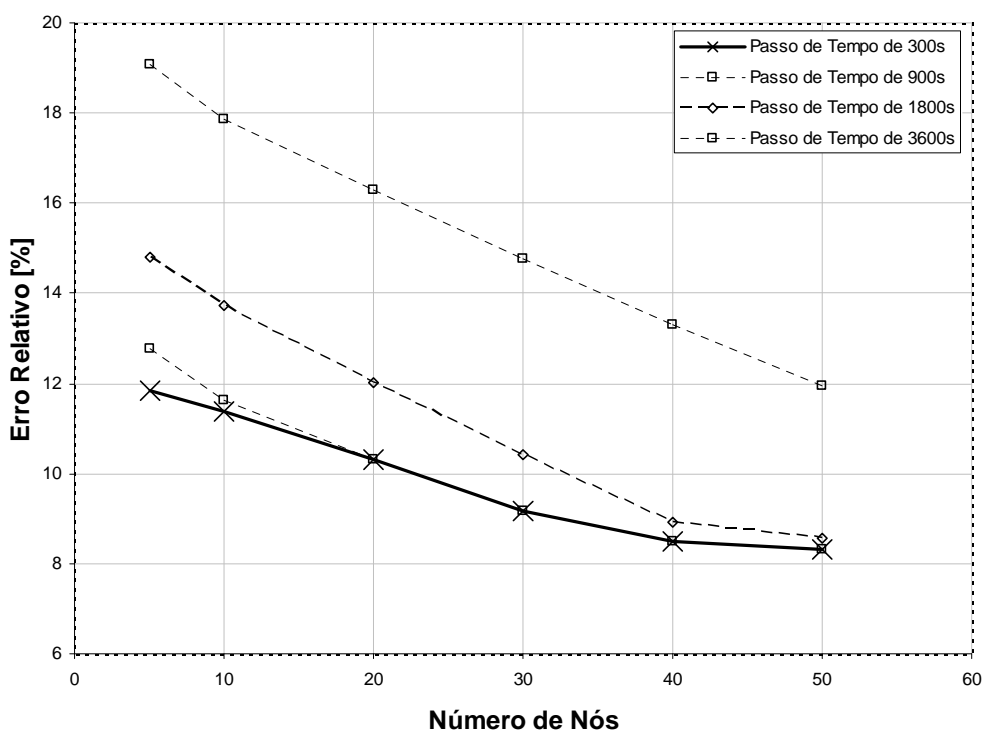


Figura 5. Erros relativos máximos para as simulações com o reboco

4. Conclusões

Apresentou-se, neste trabalho, um modelo matemático para descrever o comportamento higratérmico e energético de edificações, no qual a transferência acoplada de calor e de massa através do envoltório é descrita pela teoria denominada “Evaporação e Condensação”, a qual considera que a umidade migra através do material unicamente na fase de vapor.

O modelo foi empregado para simular um estudo de caso simplificado, para o qual dispõe-se de solução semi-analítica, a fim de analisar a influência do passo de tempo e do refinamento da malha do envoltório na previsão da umidade relativa do local.

Uma boa concordância foi obtida entre os resultados provenientes do modelo numérico e aqueles provenientes da solução semi-analítica. Observou-se uma forte dependência da malha com relação ao material do envoltório. O reboco, cujo Biot de massa é de aproximadamente 10 vezes o valor do Biot de massa do concreto aerado, necessita de uma discretização do envoltório bem mais refinada, para propiciar erros relativos máximos similares aos produzidos pelas simulações com o concreto aerado. Observou-se também que o passo de tempo de 3600 s, largamente empregado em simulação de edificações, pode produzir erros significativos quando combinado a malhas do envoltório pouco refinadas.

5. Referências

- Bednar, T. and Hagentoft, C. -E., 2005 “Analytical Solution for Moisture Buffering Effect – Validation Exercises for Simulation Tools”. 7Th, Golden, Colorado National Renewable Energy Laboratory.
- Duforestel, T. and Dalicieux, P., 1994, “A Model of Hygroscopic Buffer to Simulate the Indoor Air Humidity Behaviour in Transient Conditions”. Proceedings of European Conference on Energy Performance and Indoor Climate in Buildings, vol. 3, pp. 791-796.
- Drury, C. B., Lawrie, L. K., Pedersen, C. O., Strand, R. K., Liesen, R. J., Winkelmann, F. C., Buhl, W. F., Y., Huang, J. A., Erdem, E., Fisher, D. E., Witte, M. J. and Glazer, J., 2001, “EnergyPlus: Creating a New-Generation Building Energy Simulation Program”. Energy & Buildings, nº 33, pp. 319-331.
- Judkoff, R. D. and Neymark, J. S., 1995 “Building Energy Simulation Test (BESTEST) and Diagnostic Method”. NREL/TP-472-6231, Golden, Colorado National Renewable Energy Laboratory.
- Kerestecioglu, A., Swami, M and Kamel, A., 1990a, “Theoretical and Computational Investigation of Simultaneous Heat and Moisture Transfer in Buildings: Effective Penetration Depth Theory”. ASHRAE Transactions – part I, pp. 447 – 454.
- Kerestecioglu, A. and Gu, L., 1990b, “Theoretical and Computational Investigation of Simultaneous Heat and Moisture Transfer in Buildings: Evaporation and Condensation Theory”. ASHRAE Transactions – part I, pp. 455 – 464.
- Klein, S. A., Beckman, W.A, Mitchell, J. A., Duffie, N. A., Duffie, T. L., Freeman, J.C., Mitchell, J. E., Braun, B. L., Evans, J. P., Kummer, R. E., Urban, A, Fiksel, J. W., Thornton, N. J., Blair, P. M., Willians, D. E., Bradley, T. P. and McDowell M. K., 2004, “TRNSYS 16 – A transient system simulation program, user manual”. Solar Energy Laboratory. University of Wisconsin, Madison.
- Kuenzel, H. M., Holm, A., Zierkelbach, D. and Karagiozis, A. N., 2005, “Simulation of Indoor Temperature and Humidity Conditions Including Hygrothermal Interactions with the Building Envelope”. Solar Energy, nº 78, pp. 554-561.
- Mendes, N., Oliveira, R. C. L. F. and Santos, G. H., 2003, “DOMUS 2.0: A Whole-Building Hygrothermal Simulation Program”. Proceedings of the 8th International IBPSA Conference, Eindhoven, The Netherlands, Vol. 1: pp. 863-870.
- Mora, L., Mendonça, K.C., Wurtz, E. and Inard, C. , 2003, “SIMSPARK: An Object-Oriented Environment to Predict Coupled Heat and Mass Transfers in Buildings”. Proceedings of the 8th International IBPSA Conference, Eindhoven, The Netherlands, Vol. 1, pp. 903-910.
- Ozaki, A., Watanabe, T. , Hayashi, T. and Yuji, R., 2001, “Systematic Analysis on Combined Heat and Water Transfer Through Porous Materials Based on Thermodynamic Energy”. Energy and Buildings, nº 33, pp. 341-350.
- Philip, J. R. and De Vries, D. R., 1957, “Moisture Movement in Porous Media Under Temperature Gradients”. Transactions of American Geophysical Union, Vol. 38, pp. 22-232.
- Rode, C. and Grau, K., 2001, “Synchronous Calculation of Transient Hygrothermal Conditions of Indoor Spaces and Building Envelopes”. Proceedings of the 7th International IBPSA Conference, Rio de Janeiro, Brazil, Vol.1, pp. 491-498.
- Woloszyn, M., 1999, “Modélisation Hygro-Thermo-Aérauliques des Bâtiments Multizones: Proposition d’une Stratégie du Système Couplé”. Tese de doutorado, INSA de Lyon, France.

PREDICTING INDOOR AIR CONDITIONS USING AN ENVELOPE MODEL BASED ON “EVAPORATION AND CONDENSATION” THEORY

Kátia Cordeiro Mendonça

Mechanical Engineering Graduate Program – PPGEM
Pontifical Catholic University of Paraná – PUCPR
Rua Imaculada Conceição, 1155, CEP: 80215-901, Curitiba, PR, Brazil
k.mendonca@pucpr.br

Leandro José Machado

Pontifical Catholic University of Paraná – PUCPR
Rua Imaculada Conceição, 1155, CEP: 80215-901, Curitiba, PR, Brazil
leandro.machado@pucpr.br

Rafael Elias Mazzaro

Pontifical Catholic University of Paraná – PUCPR
Rua Imaculada Conceição, 1155, CEP: 80215-901, Curitiba, PR, Brazil
r.mazzaro@pucpr.br

***Abstract.** In this work a model to predict the whole hygrothermal behaviour of buildings is presented. The building envelope is described by the “Evaporation and Condensation” theory, which assumes that moisture migrates across the construction materials only in its vapour phase. The effects spatial discretisation of the envelope and the time step, for two porous materials, on the prediction of indoor air relative humidity were investigated for a simplified test case. All results were compared to its semi-analytical solution. It has been shown that the usual time step of 1 hour not always provide good results when the moisture buffering effect of building materials is taken into account.*

Keywords: building, hygrothermal simulation, moisture buffering, envelope