

## ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PROGRAMAS DE PREVISÃO DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR E DE UMIDADE

**Nathan Mendes; Fabrício Celinski**

Pontifícia Universidade Católica do Paraná - CCET, Lab. de Sistemas Térmicos,  
Rua Imaculada Conceição, 1155, Curitiba – PR, telefone: (41) 330-1322, fax: (41) 330-1620,  
e-mail: nmendes@ccet.pucpr.br

### RESUMO

Este artigo avalia os programas de simulação de transferência de calor e umidade através de paredes porosas de edificações: Moist 2.1 e Umidus 2.0. Compara-se, através de simulações de uma parede de tijolo com dados de entrada idênticos, conteúdo médio de umidade, temperatura e fluxos de calor.

### ABSTRACT

This article evaluates the heat and moisture transfer simulation programs: Moist 2.1 and Umidus 2.0. Comparisons, by simulations of a brick wall with the same input data, are made in terms of moisture content, temperature and heat fluxes.

### 1. INTRODUÇÃO

O programa Umidus 2.0 (Mendes et al., 1999), desenvolvido como um trabalho de cooperação bilateral entre a Pontifícia Universidade Católica do Paraná e a Universidade Federal de Santa Catarina, foi concebido para modelar transferência combinada de calor e de umidade em elementos porosos de edificações e analisar a performance higrotérmica de elementos construtivos quando estão sujeitos a qualquer tipo de condição climática. Os fenômenos de difusão e capilaridade são levados em conta, ou seja, transferência de umidade nos estados líquido e gasoso podem ser analisadas. O modelo prevê perfis de umidade e temperatura em elementos tais como paredes compostas e telhados, calculando fluxos de calor e de massa para qualquer passo de tempo graças ao seu algoritmo robusto para solução simultânea das equações governantes. Umidus foi construído em uma linguagem orientada a objetos, para ser um software fácil de usar, rápido e preciso. Sua versão 2.0 é especialmente útil para análise e avaliação higrotérmica de envoltórios de edificações e de telhados. O usuário pode construir rapidamente sistemas físicos e compará-los em termos de fluxos de calor e de massa e perfis de temperatura e de conteúdo de umidade. Relatórios e gráficos podem facilmente ser vistos e gravados em arquivos do tipo texto.

Moist (Burch e Thomas, 1991), desenvolvido pelo National Institute of Standards and Technology (NIST) dos EUA, também é um software que modela a transferência de calor e de umidade de forma unidimensional. Pode-se definir uma parede ou um telhado e conseqüentemente pode-se investigar os efeitos de vários parâmetros de umidade acumulada nas camadas da construção. Pode-se rodar o programa para várias cidades dos EUA e do Canadá e investigar o efeito do clima. E assim, determinar se é necessário um artifício para conter a transferência de umidade, e se for preciso, verificar o uso de outros materiais para uma melhor eficiência.

O Umidus apresenta 6 níveis diferentes de modelagem matemática, sendo um deles muito próximo ao Moist (Submodelo 3), resolvido através de um método numérico robusto que o torna incondicionalmente

estável (Mendes, 1997). Moist foi validado para certos casos e mostrou-se confiável (Rode e Burch, 1995; De Freitas et al., 1996).

Neste trabalho, faz-se comparações entre esses dois programas em termos de temperatura, conteúdo de umidade e fluxos de calor.

## 2. METODOLOGIA

A análise comparativa foi feita através de simulações com os dois programas com entradas de dados idênticas, utilizando-se o clima de Miami e uma parede vertical simples de tijolo (brick) de 100 mm de espessura e sem barreiras ao fluxo de vapor. Os modelos matemáticos, dos dois programas, baseiam-se nas leis de conservação de massa e de energia para um volume de controle elementar. Ambos utilizam o modelo de Philip e De Vries (1957) para determinação dos fluxos de umidade e como potencial para fluxos de calor e de umidade utilizam temperatura e conteúdo de umidade.

As equações diferenciais governantes para modelar o fenômeno de transferência de calor e umidade são dadas pelas equações (1) e (2) que foram derivadas através de balanços de energia e de massa em um volume de controle de material poroso.

Equação da conservação da massa

$$\frac{\partial}{\partial t}(\theta) = \frac{\partial}{\partial x} \left( D_T \frac{\partial T}{\partial x} + D_\theta \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) \quad (\text{Eq. 01})$$

Equação da conservação da energia

$$\rho_0 \cdot c_m \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + L \frac{\partial}{\partial x} \left( D_{TV} \frac{\partial T}{\partial x} + D_{\theta V} \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) \quad (\text{Eq. 02})$$

O parâmetro  $c_m$  é o calor específico que é função de  $\theta$ . A variável  $\lambda$  é a condutividade térmica do meio na ausência de mudança de fase que normalmente depende muito de  $\theta$  e pouco de  $T$ . Os coeficientes  $D_T$ ,  $D_\theta$ ,  $D_{TV}$ ,  $D_{\theta V}$  são responsáveis pela transferência de umidade no interior do material poroso segundo o modelo de Philip e De Vries (1957). Em Moist 2.0, a condutividade térmica é constante e o segundo termo do lado direito da Eq. 2 é desprezado. A superfície externa da parede é exposta à radiação solar, convecção de calor e mudança de fase para ambos os programas. Para a face interna, derivam-se equações semelhantes omitindo apenas o termo de radiação solar.

### 2.1 Dados de Entrada

A Tab. 1 apresenta os dados para o Umidus e a Tab. 2 para o Moist segundo suas interfaces.

**Tab. 1: Umidus:**

Materials	Brick	Constant conditions temperature	25°C
Number of sections	10	Relative humidity	80%
Thickness of section (m)	0.1	External convection coefficient	12.4
Inclination to the horiz. (deg)	90	Internal convection coefficient	3.6
Orientation to south (deg)	0	Time step	3600s
Ground reflectance	0	Convergence criteria	1e-3
External paint permeance	100000	Max. Number of iterations	20
Internal paint permeance	100000	Model	level 4
Absorptivity	0	Initial moisture content	0.01
External climate	Miami_umidus.umi		

**Tab. 2: Moist**

Type solution	Non-isothermal	Boundary file type	Wyce
Convection coef at inside surface	3.600	Boundary file name	Wymiafl
Convetion coef at outside surface	12.400	Inside surf paint permeance	99999.980
Convergence criteria for moisture solution	.1000E-02	Outside surf paint permeance	99999.980
Maximum iterations in moisture loop	20	Type of layer	Storage
Solar absorptance of exterior surface	.000	Material	Brick
Surface tilt (degrees)	90.	Thickness	10
Surface azimuth (degrees)	0.	Initial temperature	25
Indoor temperature	25.000	Initial MC (%)	1.5(*)
Indoor relative humidity (percent)	80.000	Number of nodes	10

(\*) Não foi possível executar o programa para um conteúdo de umidade inicial de 0.15

## 2.2 Dados de saída

Com essas condições os programas foram executados, fornecendo dados nos seguintes arquivos de saída:

**Tab. 3: Arquivos de saída**

Umidus	Moist
Flux.txt (padrão): Fluxos de calor latente, sensível e fluxo de massa Perfis.txt (padrão): Temperatura e Umidade	*.mc: Relative MC *.out: Fluxos de Calor (WO) e de Massa (QO) *.bnd: Temperature

Relative MC (moisture content) é dado pela seguinte expressão:

$$ReIMC = \frac{\theta_{médio}}{\theta_{máx}}$$

Sendo: Rel MC o conteúdo de umidade relativo;

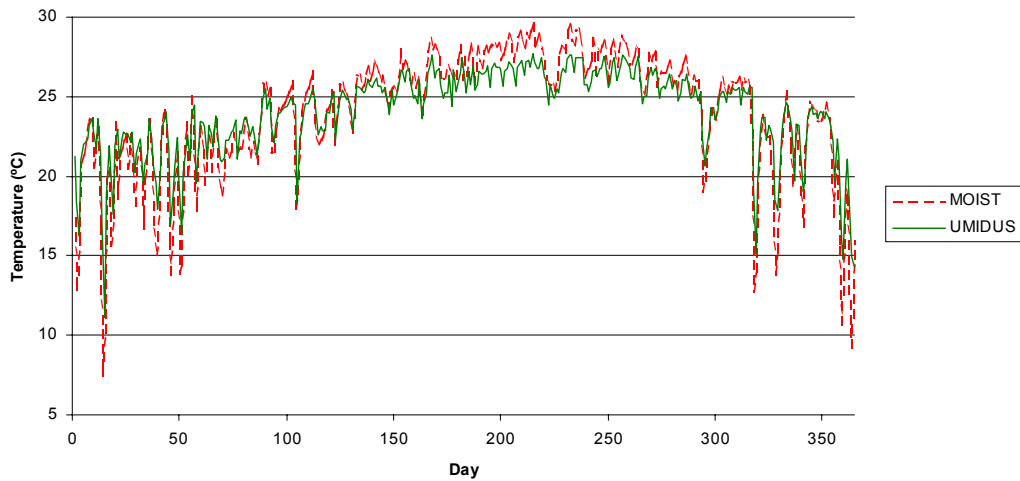
$\theta_{médio}$  o conteúdo de umidade médio diário;

$\theta_{máx}$  a umidade máxima que o material pode conter, cujo valor à 0.97 de umidade relativa vale 0,163449 (tijolo).

Apenas o Umidus 2.0 separa os fluxos de calor em sensível e latente.

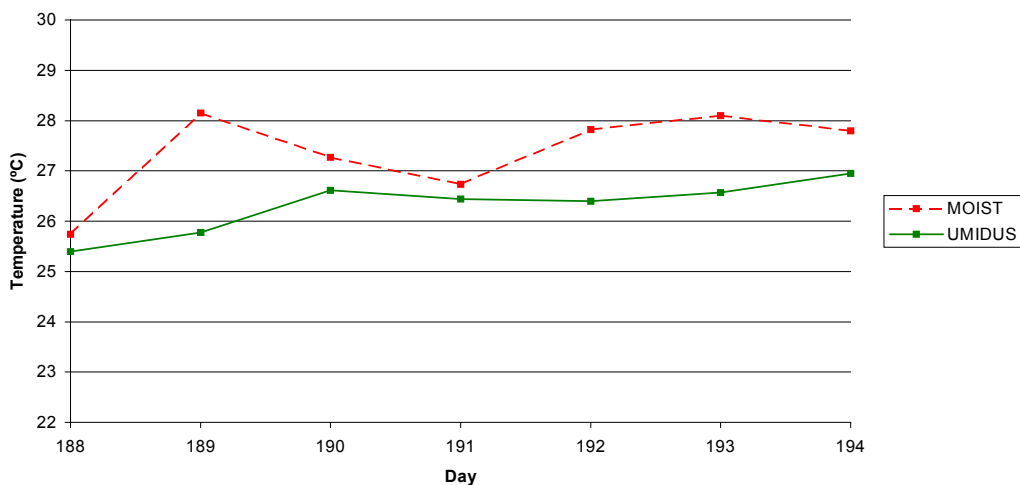
## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nota-se pela Fig. 1 que os programas apresentam resultados com comportamentos semelhantes do ponto de vista evolução térmica, numa simulação anual.



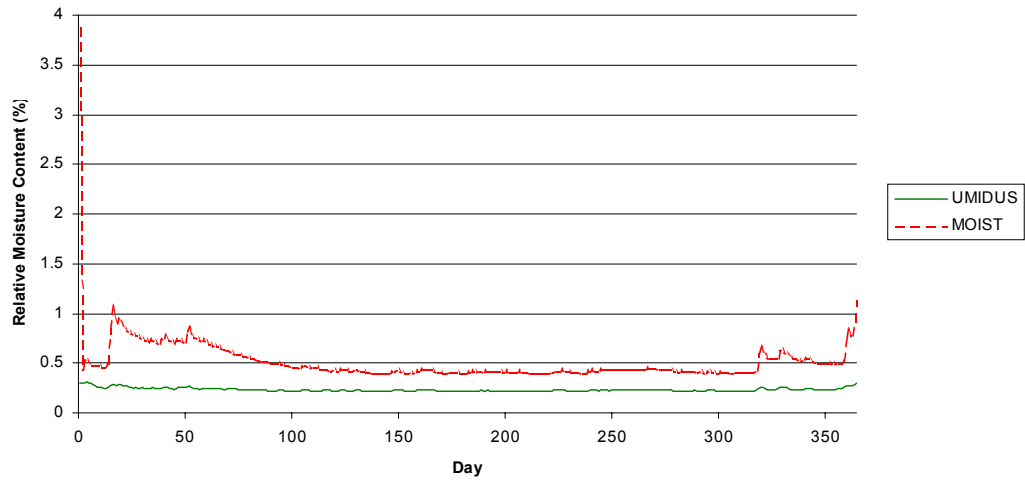
**Fig. 1: Temperatura média da parede ao longo de um ano.**

Na Fig. 2, apresenta-se o detalhe da 2ª semana de julho, apresentando uma diferença máxima de aproximadamente 7,3% no dia 9 de julho.



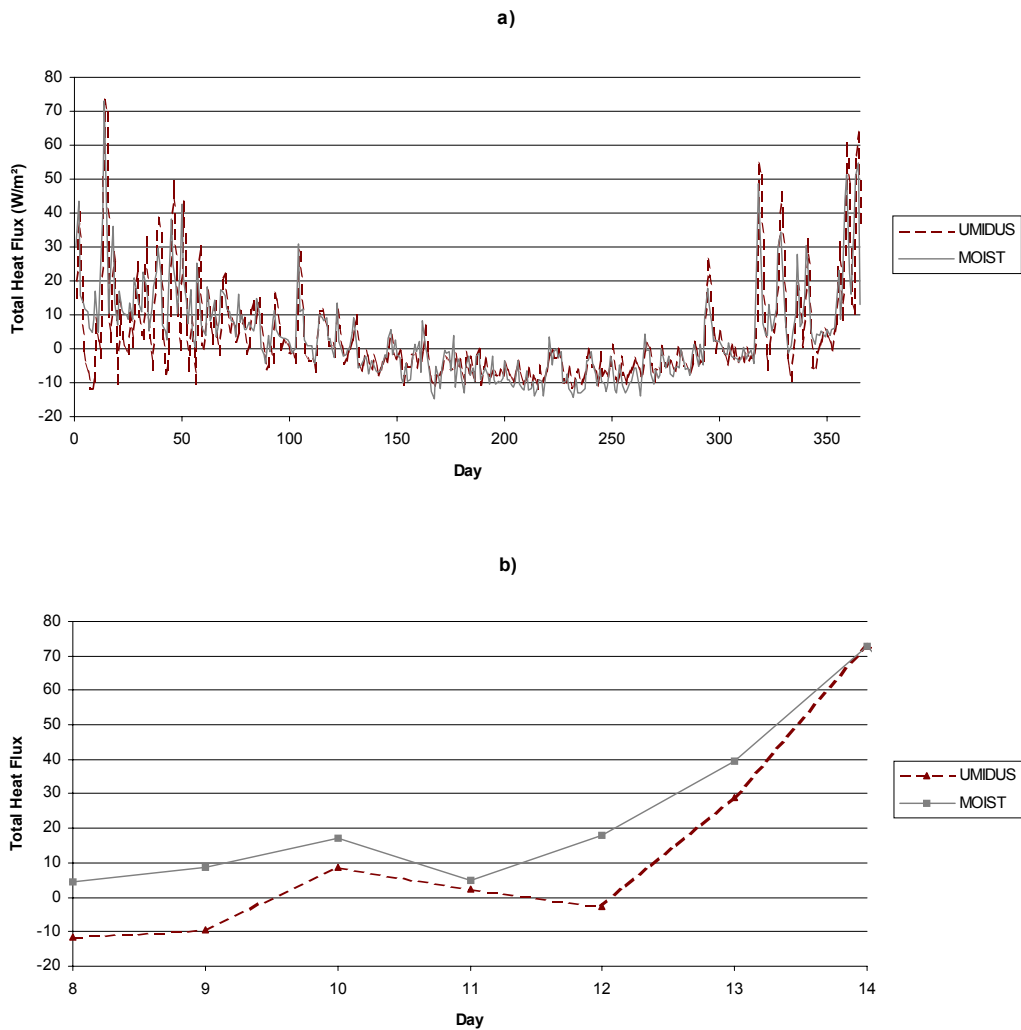
**Fig 2: Temperatura média ao longo da segunda semana de julho.**

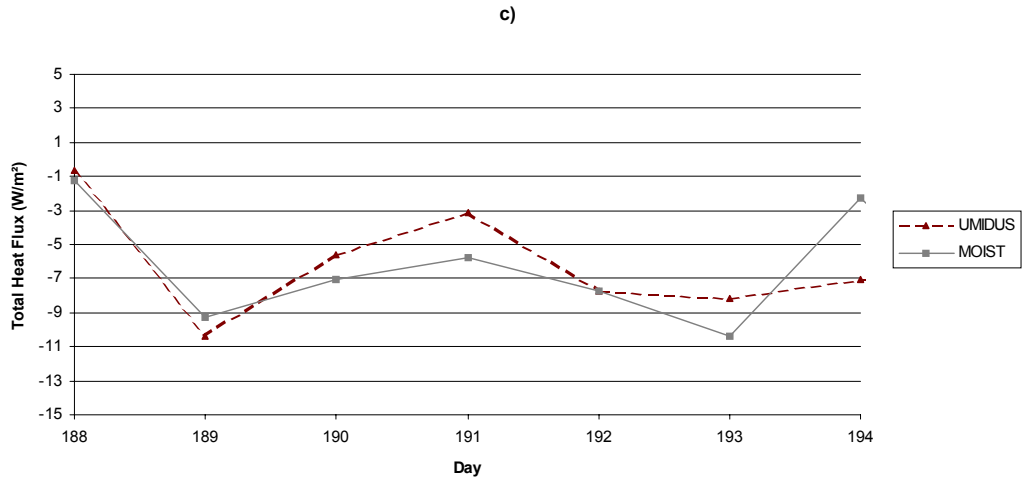
Apresenta-se, na Fig. 3, a média aritmética espacial do conteúdo de umidade para a parede de tijolo ao longo de um ano. Observa-se uma instabilidade numérica e um aumento expressivo de conteúdo de umidade para o programa Moist, principalmente no início da simulação. Credita-se este problema ao fato de que o programa Moist possui dificuldades para simular elementos que possuem uma grande resistência hídrica do material, comparada à resistência de película na interface sólido/ar. Por outro lado, o programa Umidus mostrou-se numericamente estável, mesmo sob condições críticas do ponto de vista umidade para as condições de contorno. Caso o programa Moist apresentasse uma camada de pintura, sua resistência de película aumentaria e essa instabilidade não seria percebida.



**Fig. 3: Conteúdo de umidade médio da parede ao longo de um ano.**

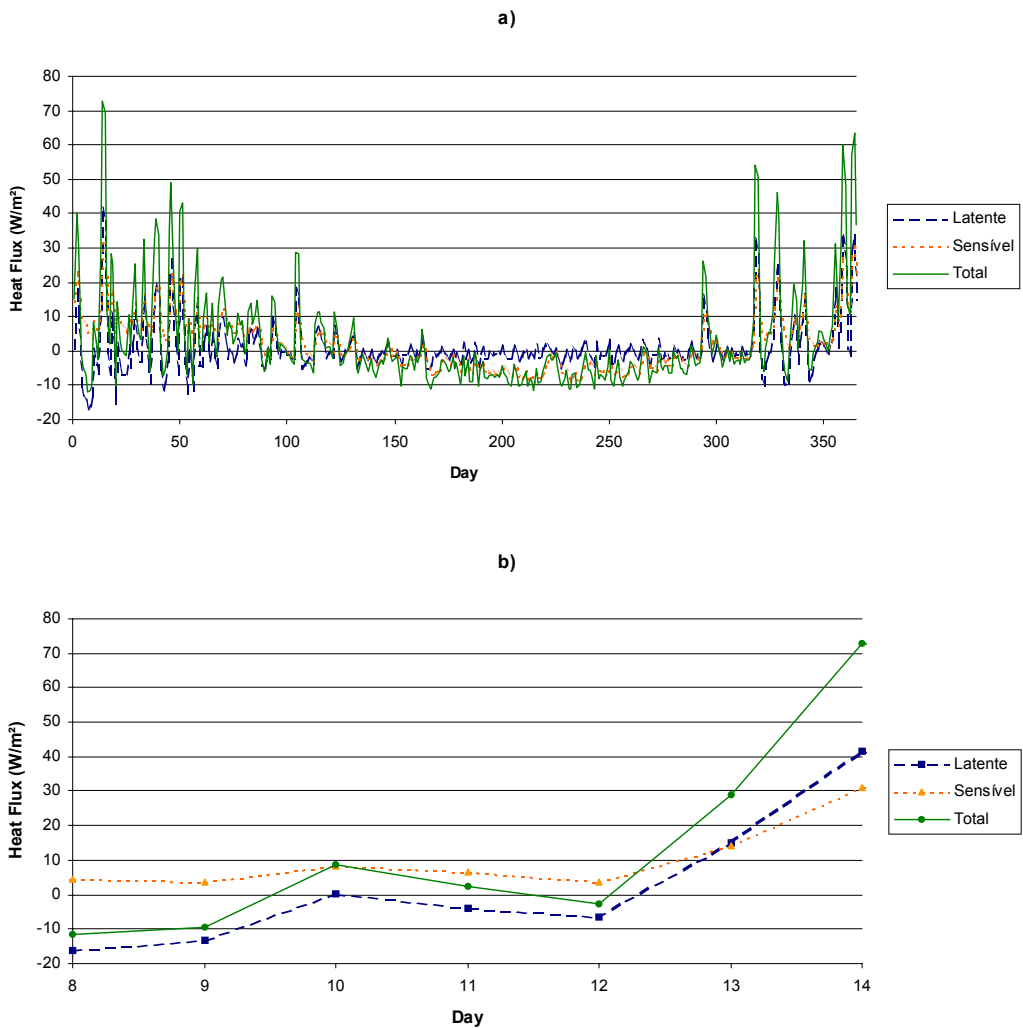
Apresenta-se na Figura 5, resultados em termos de fluxo de calor total, i.e., sensível e latente. Para uma simulação anual, nota-se que, tanto pela Fig. 5a quanto pelas Figs. 5b e 5c, os resultados são semelhantes. Observou-se, pela Fig. 5b, um erro relativo mínimo de 0,02%.

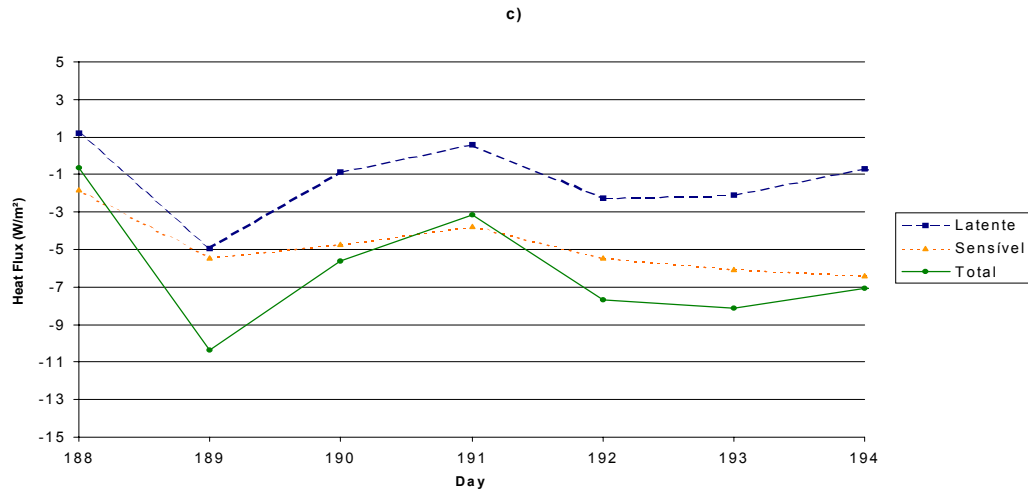




**Fig. 5: Fluxo de calor total na superfície interna, ao longo de um ano (a), 2ª semana de janeiro (b) e 2ª semana de julho (c).**

Apresenta-se na Fig. 6, valores para os fluxos de calor sensível, latente e total obtidos apenas pelo programa Umidus, uma vez que no programa Moist estes fluxos não encontram-se divididos. O conhecimento das parcelas sensível e latente é de grande importância, principalmente para o Eng. Mecânico que calcula o fator de calor sensível, definido como a razão entre o calor sensível e o total, para dimensionamento de equipamentos de condicionamento de ar.





**Fig. 6: Fluxo de calor total, sensível e latente obtido pelo Umidus, ao longo de um ano (a), 2ª semana de janeiro (b) e 2ª semana de julho (c).**

#### 4. CONCLUSÕES

Tendo em vista os resultados, têm-se as seguintes conclusões:

- O programa Umidus é numericamente estável, independente das condições de contorno ao que o elemento poroso for submetido. Por outro lado, o programa Moist apresenta sérios problemas de instabilidade numérica, principalmente para elementos porosos que não possuem elementos restritivos ao fluxo de umidade tais como pinturas.
- Ambos os programas apresentaram resultados concordantes entre si e, haja vista que o programa Moist foi validado para certos casos menos críticos, acredita-se que o modelo do Umidus por ser mais completo e possuir um método numérico mais robusto, possa apresentar-se também como um programa confiável, mesmo para casos mais críticos em termos de condições de contorno, i.e., arquivos climáticos onde temperaturas e umidades são altas com elementos porosos sem resistências adicionais ao fluxo de umidade.
- Em termos de facilidade de uso, a interface do Umidus mostra-se mais simples para execução de simulações e para extração de arquivos de saída. Umidus apresenta também a opção *clone*, onde todas as variáveis de entrada são repetidas de forma a permitir ao usuário fazer uma cópia idêntica de um projeto anterior e variar apenas um parâmetro.
- De uma forma geral, ambos os programas permitem a previsão da transferência de calor e umidade em elementos porosos de edificações. Entretanto, o programa Umidus possui um método numérico para a solução de equações mais estável que o do Moist.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BURCH D.M. and THOMAS W.C. (1991), *An Analysis of Moisture Accumulation in Wood Frame Wall Subjected to Winter Climate*, NISTIR 4674, Gaithersburg, Md: National Institute of Standards and Technology.
- BURCH, M. D., CHI, J. (1997) NIST Special Publication 917, *MOIST: a PC Program for Predicting Heat and Moisture Transfer in Buildings Envelopes*, Release 3.0.
- DE FREITAS V.P., ABRANTES V. and CRAUSSE P. (1996), *Moisture Migration In Building Walls – Analysis Of The Interface Phenomena*, Building And Environment. 31, No. 2, Pp. 99-108.

- MENDES N. (1997), *Modelos para Previsão da Transferência de Calor e de Umidade em Elementos Porosos de Edificações*, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC, Florianópolis-SC.
- MENDES N., RIDLEY I., LAMBERTS R., PHILIPPI P.C. and BUDAG K. (1999), *Umidus: A PC program for the Prediction of Heat and Mass Transfer in Porous Building Elements*, Building Energy Simulation User News, Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California, Berkeley, Vol. 20, Number 4, pp.2-8, Winter.
- MENDES N., RIDLEY I., LAMBERTS R., PHILIPPI P.C. and BUDAG K. (1999), *Umidus: A PC program for the Prediction of Heat and Mass Transfer in Porous Building Elements*, International Conference on Building Performance Simulation (IBPSA '99), Vol. 1, pp. 277-283, Japão.
- PHILIP, J. R. and DE VRIES, D. A. (1957), *Moisture Movement In Porous Materials Under Temperature Gradients*, Transactions of the American Geophysical Union. V.38, N.2, P.222-232, 1957.
- RODE C. and BURCH D.M. (1995), *Empirical Validation of a Transient Computer Model For Combined Heat and Moisture Transfer*, Thermal Envelopes VI.