

O PROGRAMA UMIDUS PARA ANÁLISE HIGROTÉRMICA EM EDIFICAÇÕES

MENDES Nathan, Dr. Eng.

Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR/CCET)

Laboratório de Sistemas Térmicos

80.215-970 - Curitiba/PR - Brasil

e-mail: nmendes@ccet.pucpr.br

RIDLEY I. , Ph.D.; LAMBERTS R., Ph.D.; PHILIPPI P., Dr. Ing. e BUDAG K.

Universidade Federal de Santa Catarina

Laboratório de Eficiência Energética de Edificações

Florianópolis/SC - Brasil

RESUMO

Esse artigo apresenta o programa *Umidus*, que foi desenvolvido para modelar transferência combinada de calor e umidade em meio poroso, a fim de analisar performance higrotérmica de elementos construtivos quando sujeitos a qualquer tipo de condições climáticas. Os fenômenos de difusão e capilaridade são ambos levados em conta, ou seja, a transferência de água nos estados líquido e gasoso pode ser analisada. O modelo prevê perfis de umidade e temperatura em paredes e telhados compostos para qualquer passo de tempo e calcula transferência de calor e massa. *Umidus* foi construído em uma linguagem orientada a objetos, para ser um *software* fácil de usar, rápido e preciso.

ABSTRACT

This paper presents the *Umidus* program which has been developed to model coupled heat and moisture transfer within porous media, in order to analyze hightothermal performance of building elements when subjected to any kind of climate conditions. Both diffusion and capillary regimes are taken into account, that is the transfer of water in the vapor and liquid phases through the material can be analyzed. The model predicts moisture and temperature profiles within multi-layer walls and roofs for any time step and calculates heat and mass transfer. *Umidus* has been built in an OOP language to be a fast and precise easy-to-use software.

1. INTRODUÇÃO

O cálculo de consumo de energia em construções via *software* de simulação normalmente assume que calor é transferido através do envoltório puramente por condução. No entanto, a maioria dos materiais de construção são porosos, e portanto contém ar e água em suas diferentes fases. Dessa forma, paredes estão sujeitas a gradientes de temperatura e umidade, e a transferência de calor e massa ocorre simultaneamente e de forma interdependente.

Diversos pesquisadores desenvolveram modelos para o estudo do transporte de calor e umidade em construções. Kerestecioglu e Gu (1989) investigaram o fenômeno usando a teoria da evaporação-condensação no estado pendular (estágio de fluxo de líquido insaturado). A aplicação desta teoria é limitada a baixos conteúdos de umidade. Burch e Thomas (1991) desenvolveram um modelo computacional, *Moist*, usando o método de diferenças finitas para estimar a transferência de calor e massa através de paredes compostas sob condições não isotérmicas. A condutividade térmica é normalmente considerada constante e o calor latente, devido à mudança de fase dentro da parede, foi desprezado. Esse programa também é limitado a baixo conteúdo de umidade

O software *Umidus* foi desenvolvido para modelar transferência combinada de calor e umidade em elementos construtivos porosos, evitando limitações como conteúdo de umidade baixo, tempo de computação longo e baixa precisão. Os fenômenos de difusão e capilaridade são ambos levados em conta, ou seja, a transferência através do material de água nas fases de vapor e líquida pode ser analisada para qualquer tipo de clima. O modelo prediz perfis de umidade e temperatura em paredes multi-camada ou telhados de pequena inclinação para qualquer passo de tempo e calcula transferência de calor e massa. Arquivos de entrada contendo dados horários fornecem informações sobre as condições no ambiente interno e externo à parede. Uma biblioteca de propriedades de materiais também está disponível. A orientação e inclinação da parede são considerados e coeficientes convectivos de troca de calor no exterior da parede são calculados a cada hora através de dados da velocidade do vento.

Umidus foi construído em *C++ Builder*, uma linguagem orientada a objetos, para ser um *software* fácil de usar, rápido e preciso. O programa executa nos sistemas operacionais Windows 95, 98 e NT. A interface com o usuário consiste de uma série de janelas nas quais o usuário pode informar os dados de entrada relevantes e conferir os resultados. O usuário pode alternar entre aplicações enquanto as simulações do *Umidus* estão executando, e diversos projetos do *Umidus* podem estar abertos e rodando ao mesmo tempo. Projetos do *Umidus* com todas as suas informações de entrada e resultados podem ser gravados e recuperados.

2. MODELOS DO *UMIDUS*

As equações diferenciais parciais governantes para a solução dos campos de temperatura e de umidade foram derivadas da conservação de massa e fluxo de energia em um volume elementar de material poroso e são resolvidas simultaneamente. As forças motrizes do transporte convectivo são temperatura e gradientes de umidade.

As condições de contorno na superfície externa representa os fenômenos térmicos de radiação solar, convecção de calor e massa, e mudança de fase. Internamente, a parede é exposta à convecção de calor e massa e mudança de fase.

Para reduzir o tempo de CPU e no caso de haver falta de dados, foram derivados 6 submodelos a partir da equação de conservação de energia. As simplificações são feitas progressivamente no que se diz primeiramente a omissão da mudança de fase interna e a consideração de coeficientes de transporte constantes.

A Tabela 1 compara o tempo médio de execução para os diferentes submodelos em relação ao submodelo 0.

Tabela 1: Porcentagem do tempo de execução em relação ao modelo mais completo

Submodelo	0	1	2	3	4	5
Tempo (%)	100	16	88	65	38	10

Os submodelos do Umidus são solucionados por uma abordagem de volumes finitos que usa um esquema de solução implícita completa com acoplamento entre as equações de conservação. Usando o método de Patankar (1980) com espaçamento entre nodos uniforme e um algoritmo para resolução de matrizes tridiagonais genérico (Mendes, 1997), o código soluciona as distribuições de conteúdo de temperatura e umidade simultaneamente a cada passo de tempo.

A radiação solar incidente em uma parede com uma determinada orientação é calculada usando a equação dada no ASHRAE Handbook A30.3; o azimuth e altitude solares estão incluídos no arquivo climático. O albedo do chão de frente à superfície externa da parede, e a absorvidade solar da superfície externa da parede são definidas pelo usuário.

Os coeficientes de transferência de calor e massa em ambas superfícies, externa e interna, podem ser calculados pelo Umidus a cada hora ou definidos como constantes pelo usuário. O coeficiente de transferência de calor por convecção externa é calculado usando dados da velocidade do vento do arquivo de clima externo. O algoritmo usado é o proposto por Yazdanian e Klems (1994). O coeficiente de convecção interna pode ser escolhido como fixo, ou calculado usando convecção natural ou forçada, de acordo com Alamdari e Hammond (Clarke, 1985). Se o coeficiente de convecção forçada for calculado, o usuário deve entrar com a velocidade do ar, em m/s, na superfície interna da parede. Os coeficientes de convecção por transferência de massa são calculados usando a relação de Lewis.

As condições existentes em cada lado da parede são definidas na janela *Weather* como mostrado na Figura 1.



Figura 1: Janela *Weather*

3. DADOS CLIMÁTICOS DO *UMIDUS*

As condições no lado externo do elemento construtivo são definidas pelo arquivo climático externo. Arquivos climáticos para 14 cidades brasileiras estão disponíveis. Cada arquivo contém dados horários de temperatura de bulbo seco, umidade relativa, radiação solar difusa e direta, velocidade e direção do vento em um ano típico. A esses arquivos é dada a terminação UMI, e estão em formato de texto separado por espaços. A fonte dos dados para esses arquivos climáticos foram os arquivos TRY com radiação solar calculada pelo programa de simulação DOE 2.1-E. Dados climáticos horários podem ser visualizados nas cartas psicrométricas do Umidus.

Por outro lado, as condições no lado interno do elemento podem ser definidas de dois modos: Um arquivo de condições internas anual pode ser usado para definir as condições horárias de temperatura e umidade relativa. Umidus inclui 3 arquivos de condições internas, com ganhos internos de 0, 10 e 30 W/m², respectivamente, para cada uma das 14 cidades brasileiras. Esses arquivos foram gerados usando o programa de simulação de construção TRNSYS. Alternativamente, os valores de temperatura e umidade relativa no interior podem ser fixados como valores constantes e informados pelo usuário.

4. CAMADAS E SUAS PROPRIEDADES

Detalhes da construção do elemento a ser simulado são informados na janela *Construction Element* (veja Figura 2).



Figura 2: Janela *Construction Element*

Cada camada do elemento é inserida como uma linha em uma tabela. O elemento pode ter um máximo de 8 camadas. O usuário define o material de cada camada do menu *pull-down*. Existem 29 materiais a escolher.

Uma característica muito útil do *Umidus* é a visualização das propriedades dos materiais. Na janela *Visualise Material* do *Umidus*, Figura 3, os coeficientes de transporte de massa, condutividades e isotermas de adsorção de até 8 materiais podem ser apresentados graficamente em função do conteúdo de umidade.

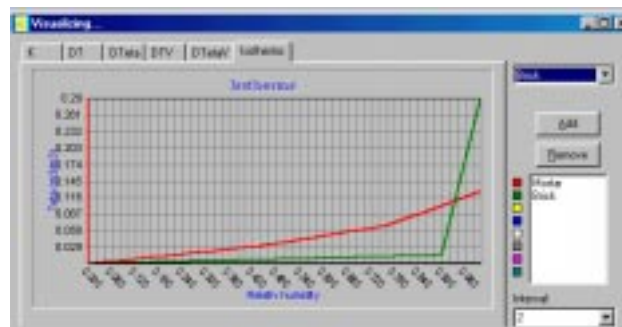


Figura 3: Janela de visualização dos dados de propriedades

Os detalhes da simulação a ser executada são entrados na janela *Simulations*, Figura 4. O usuário informa o dia, mês e hora em que a simulação deve começar e terminar. O passo de tempo, critério de convergência e o número máximo de iterações permitidas também são requeridos.



Figura 4: Janela *Simulation*

5. RESULTADOS DO *UMIDUS*

Umidus gera perfis de temperatura, conteúdo de umidade e fluxos de calor e massa dentro e através da parede. O período de tempo nos quais esses resultados são necessários é informado pelo usuário.

Os resultados de uma simulação *Umidus* são apresentados na forma de 6 gráficos. O gráfico *Behaviour*, Figura 5, mostra o valor médio mensal de temperatura e conteúdo de umidade no nodo central do elemento.

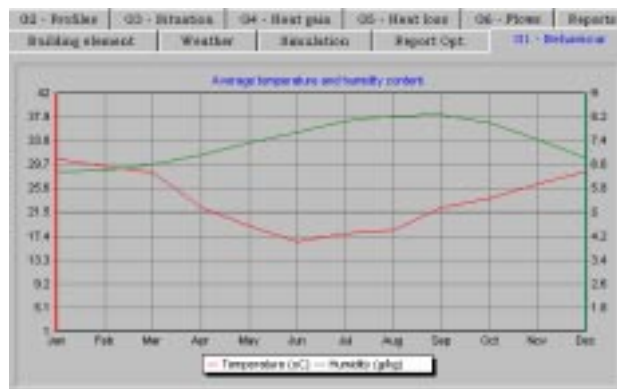


Figura 5: Gráfico de saída 1: *Behaviour*

O gráfico *Profiles*, apresentado na Figura 6, mostra os perfis de temperatura e conteúdo de umidade em uma hora, dia e mês específico, selecionados na janela de opções de relatórios, na seção de dados de entradas. O usuário seleciona a hora a ser mostrada, destacando uma data da lista à esquerda da janela.

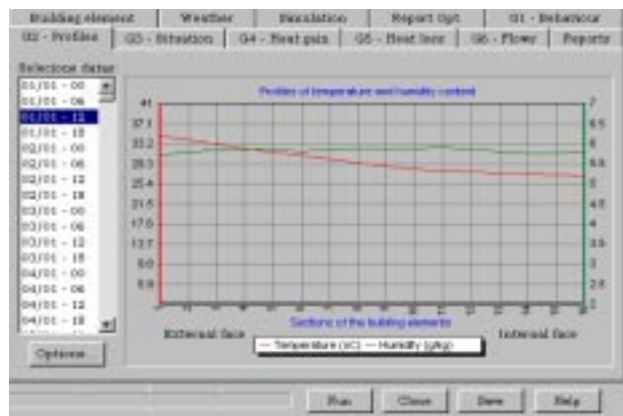


Figura 6: Gráfico de saída 2: *Profiles*

O eixo x é dividido no número de nós no elemento construtivo, e a temperatura e conteúdo de umidade em cada nó é exibida. A escala de temperatura é à esquerda, a escala de conteúdo de umidade à direita.

O gráfico *Situation*, Figura 7, exibe temperaturas e conteúdos de umidade nas faces externa e interna do elemento construtivo e no nodo central

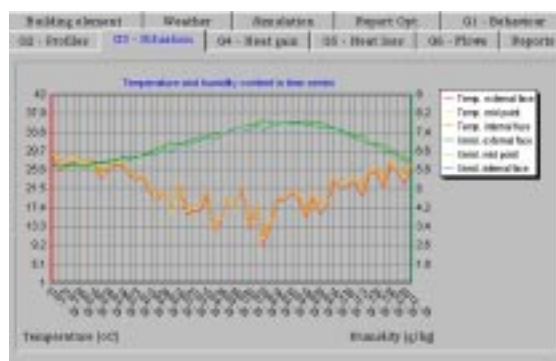


Figura 7: Gráfico de saída 3: *Situation*

Os gráficos *Heat Gains* e *Heat Loss* (Figura 8 – Apenas o ganho está mostrado nessa Figura), mostram o fluxo mensal de calor através do elemento construtivo do exterior para o interior (fluxo de calor positivo) e o fluxo mensal de calor através do elemento construtivo do interior para o exterior (fluxo de calor negativo). As porcentagens de ganho ou perda de calor devido ao calor latente também são apresentadas.

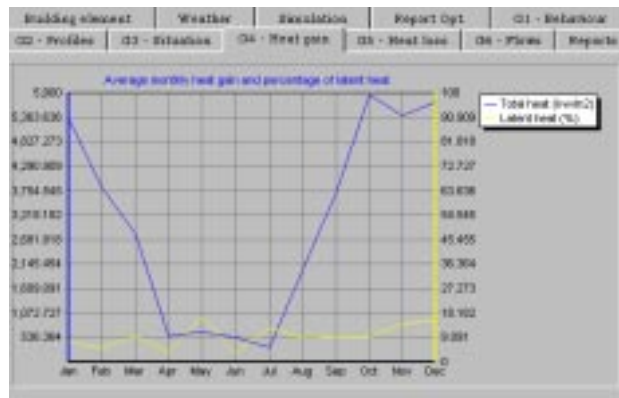


Figura 8: Gráfico de saída 4: *Heat Gain*

6. CONCLUSÕES

Os modelos apresentados aqui para o *Umidus* permitem facilmente avaliar a performance higrotérmica de elementos construtivos através do cálculo simultâneo de transferência de calor e massa.

O próximo passo com o *Umidus* é incluir rotinas de cálculo, desenvolvidas por Mendes (1997) em sua tese de doutoramento, que permitam a determinação de todos os coeficientes de transporte de massa e calor a partir de dados básicos tais como distribuição de tamanho de poros, isoterma de adsorção e condutividade térmica seca.

Concluindo, *Umidus* é um *software* amigável, que pode ser usado para o estudo do comportamento higrotérmico de paredes, auxiliando arquitetos e engenheiros na tomada de decisões de desempenho higrotérmico.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHRAE Handbook-Fundamentals. Atlanta: *ASHRAE*, 1993.
- BURCH D.M. and THOMAS W.C., “An Analysis of Moisture Accumulation in Wood Frame Wall Subjected to Winter Climate”, **NISTIR 4674**, Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology, 1991.
- CLARKE, J.A., Energy Simulation in Building Design, **Adam Hilger Ltd**, USA, 1985.
- KERESTECIOGLU A. and GU L., “Incorporation of the Effective Penetration Depth Theory into TRNSYS”, **Draft Report**, Florida Solar Energy Center, Cape Canaveral, Florida, 1989.
- MENDES N., “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, 1997 .
- PATANKAR S.V., Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, **McGraw-Hill**, 1981.
- YAZDANIAN M., KLEMS J.H., “Measurement of the Exterior Convective Film Coefficient for Windows in Low-Rise Buildings”, **ASHRAE Transactions** 100(1), USA, 1994.