

ESTUDO COMPARATIVO DE SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS E MEDIÇÕES DAS VARIÁVEIS TEMPERATURA DO AR E UMIDADE RELATIVA

Rejane Magiag Loura (1); Eleonora Sad de Assis (2)

(1) Curso de Ciências e Técnicas Nucleares, Universidade Federal de Minas Gerais. Avenida Antônio Carlos, 6627, Campus UFMG PCA 1 – Anexo Engenharia, Pampulha, Belo Horizonte, MG. CEP: 31270-90 Telefone: 55-31-3499-6666 Fax: 55-31-3499-6660

e-mail: magiagloura@yahoo.com

(2) Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais. Rua Paraíba, 697, Funcionários, Belo Horizonte, MG. CEP: 30130-140 Telefone: 55-31-3269-1800 Fax: 55-31-3269-1818

e-mail: eleonorasad@yahoo.com.br

RESUMO

A análise do desempenho termo-energético de edificações vem sendo feita com o uso de programas de simulação computacional. Para assegurar decisões acertadas dos projetistas é preciso avaliar em quais condições de simulação de um edifício são obtidos os resultados mais realistas e confiáveis. Este trabalho apresenta um estudo sobre a capacidade do módulo *Conduction Transfer Function* do programa EnergyPlus, em simular diferentes condições de ocupação de um ambiente, identificando quais as respostas mais próximas aos valores medidos no ambiente de estudo. Quatro situações distintas de ocupação de um ambiente foram monitoradas pelo período de 48 horas, em dias de condições meteorológicas estáveis. A comparação entre os dados simulados e os medidos no interior do ambiente mostrou que existem significativas diferenças nas saídas do programa para as quatro situações avaliadas. Percebeu-se que as respostas das simulações foram muito afetadas pelas condições de ocupação do ambiente analisado. A aplicação desta ferramenta sem parâmetros de controle pode gerar conclusões equivocadas dos resultados, por vezes, comprometendo a tomada de decisão em projeto.

ABSTRACT

The thermal-energetic analyzes of buildings has been made using computation simulation programs. To make sure of designer right decisions is necessary to evaluate which conditions on building simulations outputs are more realist and trustworthy. This paper presents a research concerning the *Conduction Transfer Function* module of the software EnergyPlus. It is focused on its capacity in simulate different occupation conditions of a room. The goal here is identify in which conditions the simulated outputs are more similar to the measured outputs. Four occupation conditions of the studied room were monitored for 48 hours with steady meteorological conditions. The data comparison between the simulation and the indoor measured showed that exist a significant difference in the four outputs. It has been noted the outputs were affected by the occupation conditions of the analyzed room. Although the simulations are an important tool, an evaluation of the thermal-energetic performance without monitoring the parameters probably leads to wrong conclusions. Considering that the designer decisions should be made based on right parameters to right decisions.

1. INTRODUÇÃO

A qualidade do projeto é definida como o desempenho do produto (edificação) perante as necessidades dos clientes que o utilizam e dos clientes internos do processo de desenvolvimento do produto (SILVA e SOUZA, 2003). Sendo assim, se faz muito importante que o setor da construção civil busque regulamentar o desempenho termo-energético das edificações. A aplicação do conceito de desempenho de edificações pode ser feita em todas as etapas de uma edificação, desde as fases iniciais da concepção até a avaliação pós-ocupação. Para tal é preciso identificar as exigências dos usuários e as condições de exposição da edificação, além de estabelecer requisitos, critérios e métodos de avaliação.

Com a intenção de buscar promover qualidade nas edificações, projetistas podem recorrer à simulação computacional para auxiliar a tomada de decisões em projeto. De acordo com Mourshed *et al* (2003) os programas de simulação capazes de avaliar o desempenho termo-energético são muito pouco usados pelos projetistas por não ser possível integrá-los no processo de projeto. Ainda segundo os autores, esses programas têm avançado muito em relação à precisão, mas não o suficiente no que tange a usabilidade. O trabalho visa, neste contexto, fazer a utilização de um software com o enfoque do projetista. Não foram consideradas, neste trabalho, questões relacionadas à calibração e validação do programa. O que se pretende é verificar como um projetista deve montar seus arquivos de simulação para que se obtenha os resultados com o menor erro possível. O objetivo dessa abordagem é possibilitar uma simplificação do processo de simulação que já possa ser adotado nos escritórios de para avaliações das edificações projetadas. Entretanto, é importante frisar que a evolução dos estudos de validação e calibração é de relevante importância para formar e consolidar um banco de dados com informações sobre simulações que possam, no futuro, ser utilizado pelos projetistas de edificações e com isso diminuir a incerteza dos resultados obtidos nas simulações.

A ferramenta de simulação utilizada neste trabalho foi o módulo *Conduction Transfer Function* (CTF) do EnergyPlus. Pretende-se assim, verificar através da comparação dos resultados das simulações com os dados coletados *in loco*, em quais condições de simulação o programa apresenta respostas mais próximas da situação real.

O trabalho apresentado é parte de uma dissertação de mestrado desenvolvida no âmbito de um convênio de pesquisa e desenvolvimento entre a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) e quatro instituições de ensino superior e pesquisa: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG; Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC; Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – PUC-MINAS e Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG intitulado de Abordagem Integrada da Eficiência Energética e Energias Renováveis. Este trabalho faz parte do subprojeto 2: Sistemas Integrados de Energia na Concepção e Uso de Edificações de Diferentes Tipologias - Monitoramento dos Centros de Demonstração e Pesquisa Aplicada em Eficiência Energética e Energias Renováveis.

2. OBJETO DE ESTUDO

O objeto de estudo se localiza na capital do estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil. A cidade tem extensão territorial de 335 Km², latitude média 19° 55' sul, longitude média 43° 56' oeste e altitude média de 852,2 metros (PBH, 2001, p.1.21).

O ambiente estudado está localizado no Centro de Pesquisa em Energia Inteligente (CPEI) no Campus II do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG). Localizado na região oeste de Belo Horizonte, como se vê na figura 1, o Campus II do CEFET-MG é lindeiro à Avenida Amazonas, um dos principais corredores viários de Belo Horizonte. A mesma figura ainda mostra que o entorno do edifício estudado é arborizado e possui significativa área de solo permeável. A altura média das edificações do entorno é de seis metros aproximadamente.

Na figura 2 vê-se as plantas dos três níveis da edificação que tem área construída de 285m². O ambiente escolhido para ser o objeto de estudo foi o laboratório, devido à sua característica de

ocupação. Existem 10 postos de trabalho com microcomputadores, onde os estudantes e os pesquisadores desenvolvem suas atividades, o que faz com que este ambiente tenha uso semelhante a um escritório comercial.



Figura 1 – Localização do Campus II do CEFET-MG Belo Horizonte e do CPEI no Campus.

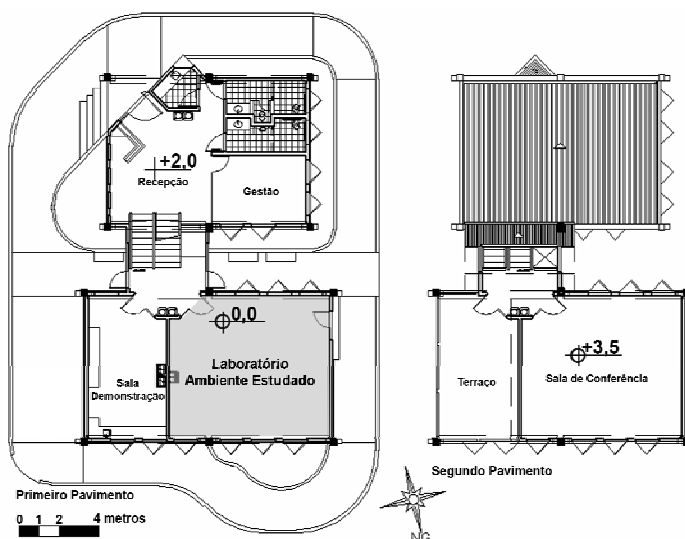


Figura 2 - Plantas do Primeiro e Segundo Pavimentos do CPEI.

Com área de 58,3 m², o laboratório tem fachadas externas voltadas para Norte-Nordeste, Oeste-Noroeste e Sul-Sudoeste. A área total de abertura é 15,12 m² sendo 8,64 m² na fachada Norte-Nordeste (quatro aberturas) e 6,48 m² na fachada Sul-Sudoeste (três aberturas). A intenção deste posicionamento foi criar ventilação cruzada no ambiente.

3. METODOLOGIA

3.1 Medições

A coleta de dados utilizou dois conjuntos de equipamentos. Um foi instalado no interior do ambiente de análise e o outro foi instalado no exterior da edificação para coleta das variáveis climáticas externas. O equipamento utilizado nas medições internas chama-se Confortímetro Sensu, desenvolvido no Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas (LMPT) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Foram utilizados nesta montagem um sensor de temperatura de bulbo seco do tipo termistor, um de umidade relativa do tipo capacitivo e três sensores de velocidade do ar do tipo termoelemento. As variáveis externas – temperatura do ar, umidade relativa, velocidade e direção do vento - foram medidas por uma estação meteorológica de fabricação da ELE International - modelo EMS 950 - que contém um sensor do tipo PT 100 de temperatura de bulbo seco, um sensor do tipo

capacitivo de umidade relativa, um anemômetro de copo e um sensor de direção dos ventos. Todos os equipamentos usados nas medições passaram por algum tipo de aferição.

A localização dos sensores no ambiente de estudo foi definida de modo a interferir o mínimo possível na rotina do ambiente. Os sensores de temperatura do ar e umidade relativa foram posicionados a 1,2 metros do piso presos a um tripé. Não foi possível instalá-los no ponto central da sala. Foi necessário deslocar 20 centímetros em direção ao fundo da sala para diminuir o incômodo nas duas estações de trabalho próximas. Os termo-anemômetros foram posicionados no ponto central de cada abertura da fachada sul-sudoeste, após verificar se o fluxo pelas aberturas era laminar (ver figura 3). A distância deles em relação ao piso é de 1,8 metros, pois assim eles ficariam no centro da abertura.

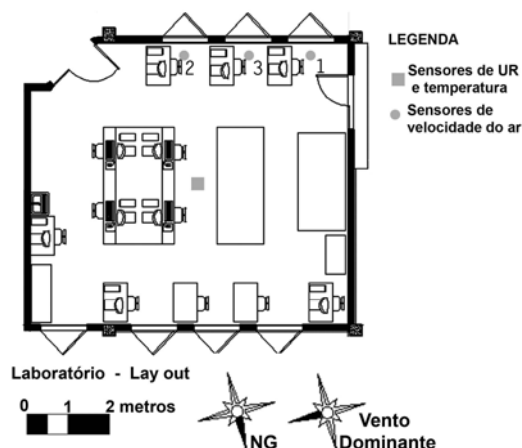


Figura 3 – Localização dos Sensores da Medição Interna das Variáveis Térmicas.

A estação meteorológica foi fixada em uma base de madeira, pintada na cor verde bandeira, localizada na varanda do segundo pavimento do CPEI. A base foi posicionada a 1,2 metros do piso e a 2 metros da parede da edificação. Nesta posição a estação não sofre influencia da edificação, pois a varanda está a barlavento. O datalogger foi posicionado dentro de uma das salas do centro.

O programa SENSU foi configurado para registrar as médias de todas as variáveis num intervalo de 60 segundos. A estação meteorológica foi configurada para realizar leituras de temperatura do ar e umidade relativa em intervalos de 10 segundos e armazenar a média aritmética dessas leituras a cada minuto. Como o vento é uma variável de comportamento instantâneo, a leitura das variáveis velocidade e direção do vento acontecia a cada minuto e os valores lidos eram registrados.

A realização desses experimentos exigiu algumas adaptações no ambiente. As venezianas existentes nas portas foram vedadas, pois não seria possível medir o fluxo de ar por elas. Além da adaptação física, para a realização das medições foram montados quatro esquemas de uso do ambiente que definiam o número de ocupantes, os horários de ocupação e o número de equipamentos ligados. Cada condição criada visava verificar a capacidade de se reproduzir na simulação o que estava sendo medido *in loco*. A Tabela 1 descreve as quatro condições em que se realizaram as medições.

TABELA 1 - Descrição das Condições de Ocupação.

Condições	Janelas	Carga interna	Características
Condição 1	abertas	4176 W**	Desempenho do ambiente com ocupação e com ventilação.
Condição 2	abertas	1108 W*	Desempenho do ambiente sem ocupação e com ventilação.
Condição 3	fechadas	1108 W*	Desempenho do ambiente sem ocupação e sem ventilação.
Condição 4	fechadas	4176 W**	Desempenho do ambiente com ocupação e sem ventilação.

* Esses valores correspondem a quatro microcomputadores e aos equipamentos de medição que ficaram ligados permanentemente no ambiente.

** Esses valores correspondem a 10 microcomputadores, aos equipamentos de medição que ficaram ligados permanentemente no ambiente, a seis usuários e a iluminação artificial.

Optou-se por variar a carga térmica devido às fontes internas (equipamentos, iluminação artificial e pessoas) e a ventilação do ambiente.

A variação da carga térmica, devido às fontes internas, foi feita alterando o uso do espaço, ou seja, quando o espaço estava em uso tinha-se a carga térmica devido às fontes internas máximas. Já a carga térmica mínima era obtida nos dias em que o espaço não era usado. Durante os dias de medição com ocupação, limitou-se o número máximo de usuários simultâneos a seis pessoas. Mas em alguns horários, havia menos ocupantes. Todas as oscilações na ocupação foram anotadas e representadas fielmente na agenda de ocupação do programa de simulação. Do mesmo modo foi feito com o número de microcomputadores, iluminação e equipamentos ligados.

3.2 Simulações

O programa de simulação usado neste trabalho é o EnergyPlus versão 1.2.2, um programa de simulação que integra a edificação e os seus sistemas que está sendo desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE). Os algoritmos usados se baseiam no BLAST e DOE-2. Além disso, está associado ao COMIS – programa de simulação de fluxo de ar - e ao TRNYSYS – programa de simulação de sistemas fotovoltaicos. De acordo com GARD (2003), o EnergyPlus é um programa que simula cargas, sistemas e plantas de forma completamente integrada. Por causa disso, possibilita resultados mais realistas. A estrutura de entrada e saída de dados do programa permite facilmente sua expansão. Atualmente a versão disponível gratuitamente no site do DOE não apresenta uma interface típica para o usuário.

Para a simulação no programa Energyplus foram criados seis arquivos climáticos. Dois arquivos reproduzem os dias em que não houve ocupação. No primeiro arquivo estão as 48 horas dos dias 06 e 07 de agosto (condição 1) e no segundo as 48 horas dos dias 14 e 15 de agosto (condição 2). Os outros quatro arquivos climáticos construídos reproduzem respectivamente os dias 05, 08 (condição 3), 16 e 18 de agosto (condição 4). Os dados climáticos que compõe os arquivos são oriundos da estação localizada no CPEI (temperatura de bulbo seco, umidade relativa, velocidade do ar e direção do vento) e também da estação padrão de Belo Horizonte (pressão atmosférica, nebulosidade e insolação). A partir dos dados de insolação foram calculadas a radiação solar horizontal global e difusa e a radiação normal direta.

O modelo de cálculo de trocas térmicas através das envoltórias utilizado foi CTF (Conduction Transfer Functions). Este considera, apenas, o calor sensível. O programa EnergyPlus oferece outros dois algoritmos como opções, e ambos consideram além do calor sensível, o latente. Entretanto, esses demandam informações muito detalhadas sobre as componentes da envoltória. Por exemplo: difusividade de vapor, coeficiente de gradiente térmico para capacidade de umidade e capacidade de umidade isotérmica entre outras. Esse tipo de informação não está acessível a todos os projetista. Por essa razão, fez-se a opção pelo algoritmo CTF em detrimento ao MTF (Moisture Transfer Functions) e ao EMPD (Effective Moisture Penetration Depth) capazes de considerar, além das trocas secas, as úmidas.

O modelo utilizado para cálculo do fluxo de ar pelos ambientes é o programa COMIS, que está integrado ao EnergyPlus. O COMIS foi desenvolvido para detalhar a infiltração de ar através de zonas. Levando em consideração o fluxo por frestas e mecanismos de transporte através de grandes aberturas, usando no cálculo a temperatura interna e externa, a pressão do vento, entre outras variáveis (DOE, 2005). O COMIS possui apenas opções para janelas de correr e janelas pivotantes horizontais. Selecionou-se o primeiro tipo. Para adequar à situação real, pois a esquadria é pivotante vertical, a definição do percentual de abertura das janelas levou em consideração a projeção das aletas no plano vertical das aberturas e apenas as áreas que resultaram sem nenhuma obstrução foram consideradas como áreas de abertura, o que representa 50% da área total de abertura. O coeficiente de descarga para as janelas foi considerado 0.9, pois segundo Allard (1998) esse é o valor encontrado na literatura para janelas de correr totalmente desobstruídas. Os coeficientes de pressão foram calculados pelo próprio modelo e os demais coeficientes necessários foram calculados seguindo as orientações de Allard

(1998) ou do manual do EnergyPlus. Para aqueles que não constavam nessas fontes foram mantidos os valores que o COMIS considera *default*.

A opção por um modelo de cálculo que, de acordo com o manual do programa, não é capaz de considerar o calor latente. Neste caso específico em que a edificação não possui condicionamento artificial, faz com que a simulação fique muito dependente da taxa de renovação do ar. Essa foi a razão que motivou a instalação de uma estação meteorológica no local, pois as informações oriundas da estação padrão de Belo Horizonte ou do aeroporto não seriam representativas para as condições locais. Como a estação não foi posicionada a 10 metros de altura, foi necessário alterar alguns parâmetros do arquivo de simulação que consideravam medidas a 10 metros do solo.

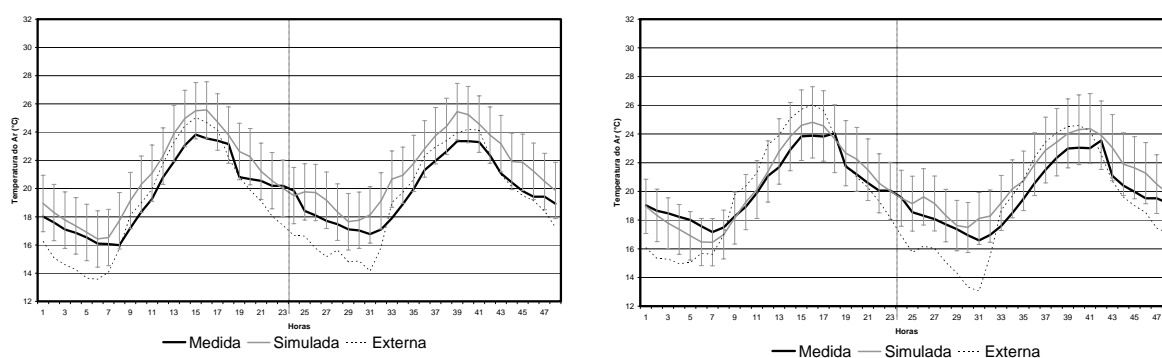
Outro aspecto que provoca grande influencia nos resultados das simulações é a carga térmica devido a fontes internas (pessoas+iluminação+equipamentos). Para evitar tal distorção entre a realidade medida e a simulação, todas as alterações na ocupação do ambiente foram informadas à agenda de simulação do programa. Além disso, o consumo dos equipamentos do ambiente foi obtido nos próprios equipamentos e não se utilizou informações tabeladas.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados da análise comparativa foram plotados na forma gráfica. As figuras 4 e 5 apresentam o comportamento da temperatura do ar nas quatro condições medidas e simuladas, juntamente com a curva da temperatura externa. As figuras 6 e 7 mostram o comportamento da umidade relativa do ar nas quatro condições medidas e simuladas e a curva da umidade relativa externa. Normalmente, em trabalhos científicos o grau de confiança dos resultados tem de ser 95%, no mínimo (ABNT e INMETRO, 2003). Entretanto, como não era objetivo desse trabalho adotar metodologias de calibração, fez-se necessário expandir a faixa de erro, uma vez que sabe-se que as simplificações adotadas podem gerar maiores incertezas. Desse modo, decidiu-se que para os resultados de simulação a faixa de confiança seria de 90%. A faixa de erro aceitável está indicada por uma barra sobre a curva simulada. É importante frisar, que as medições foram submetidas à análise de incerteza para a faixa convencional de 95%.

4.1 Temperatura do Ar: Simulações x Medições

A análise dos resultados das medições e das simulações da variável temperatura do ar aponta dois comportamentos distintos, provocados pela alteração do fluxo de ar no ambiente. Quando a condição medida ou simulada está com as janelas abertas (dias 05 a 08 de agosto), a curva apresenta amplitudes maiores que aquelas observadas na situação em que as janelas estão fechadas (dias 14 a 18 de agosto).



a - Dia 05 e 08/08: Ambiente ocupado e com as janelas abertas

b - Dia 06 e 07/08: Ambiente vazio e com as janelas abertas

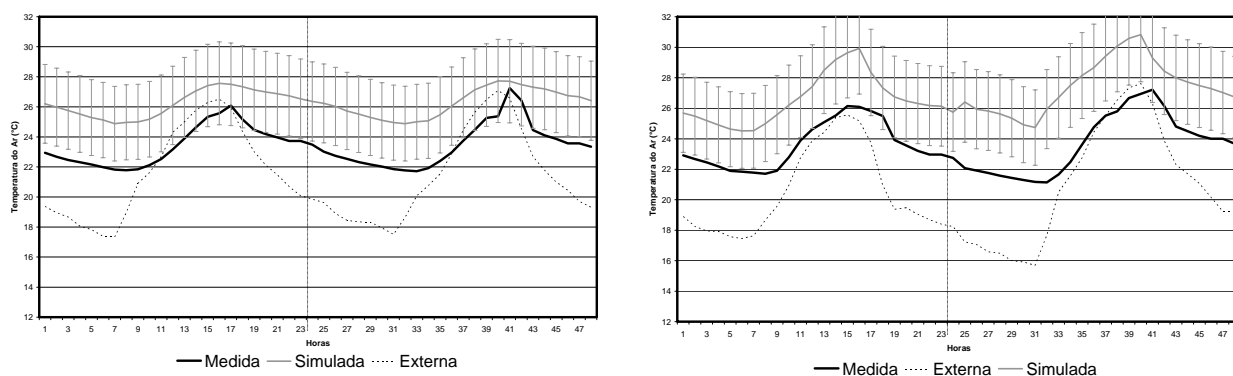
Figura 4 – Gráfico de Temperatura do Ar: Dados Simulados X Dados Medidos – (a) Dia 05 e 08/08 e (b) Dia 06 e 07/08.

Na figura 4 é possível perceber que a curva externa não é acompanhada pela simulada nos períodos de queda de temperatura, ou seja, a queda da temperatura simulada acontece de forma mais lenta e as temperaturas mínimas simuladas são superiores às medidas interna e externamente.

O comportamento das curvas de temperatura interna medida e simulada muda significativamente quando o ambiente está com as janelas fechadas, ou seja, o fluxo de ar é muito baixo. A primeira observação feita refere-se à diminuição da variação de ambas as curvas, medidas e simuladas. A participação da ventilação natural no balanço térmico desse ambiente se mostra muito relevante. Quando a taxa de renovação do ar é reduzida significativamente ocorre a elevação da temperatura do ar no ambiente.

A figura 5 mostra que em todo o período analisado as temperaturas internas simuladas são mais elevadas que as medidas. Ao longo das 48 horas a curva simulada mantém uma distância, relativamente, estável da curva medida. Ocorrem aproximações nos horários em que a temperatura interna atinge seus níveis mais elevados. Entretanto, elas se afastam nos momentos de temperaturas internas mais baixas.

A condição que apresentou melhor correspondência entre dados medidos e simulados foi a segunda, ou seja, janelas abertas e sem ocupação. Nesta condição a diferença entre o medido e o simulado foi inferior a 10% em todo o período. A condição 1 – janelas abertas e edificação ocupada – também apresentou boa correspondência em praticamente todo o período analisado. Apenas em uma hora o erro foi ligeiramente superior a 10%.



a - Dia 14 e 15/08: Ambiente vazio e com as janelas fechadas

b - Dia 16 e 18/08: Ambiente ocupado e com as janelas fechadas

Figura 5 – Gráfico Temperatura do Ar: Dados Simulados X Dados Medidos – (a) Dia 14 e 15/08 e (b) 16 e 18/08.

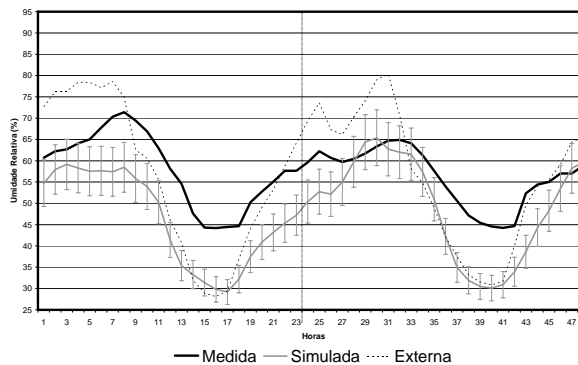
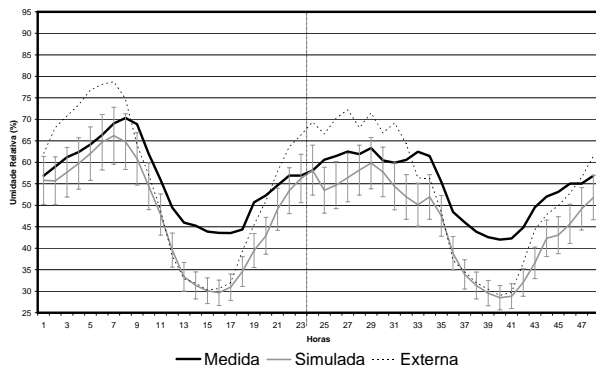
Para as situações em que a taxa de renovação do ar do ambiente era muito baixa (janelas fechadas) os erros foram maiores que 10% em grande parte do período. Embora isso tenha acontecido, as formas das curvas medidas e simuladas nestes dois casos são bastante semelhantes. Esse resultado se explica pela característica do modelo de cálculo escolhido, pois com baixa taxa de renovação do ar as trocas úmidas são mais relevantes no balanço térmico e ele não foi desenvolvido para considerá-las.

4.2 Umidade Relativa: Simulações x Medições

Assim como se observou para a variável temperatura do ar, a umidade relativa também apresentou significativa diferença no comportamento dos resultados das condições com janelas abertas (1 e 2) e fechadas (3 e 4). Nas duas condições em que as janelas foram mantidas abertas (dias 05 a 08 de agosto) o comportamento das curvas de umidade relativa medida e simulada foram muito semelhantes.

A figura 6 mostra que as curvas simuladas e medidas no interior da edificação se aproximam nos horários de maior umidade relativa - de 22 às 7 horas – e se afastam nos horários em que a umidade é

mais baixa – de 14 às 18 horas. Isso mostra novamente a influência da taxa de renovação do ar no modelo de cálculo adotado. Neste período a curva simulada segue a curva da umidade relativa externa e cai bastante, o que provoca amplitudes maiores nela.



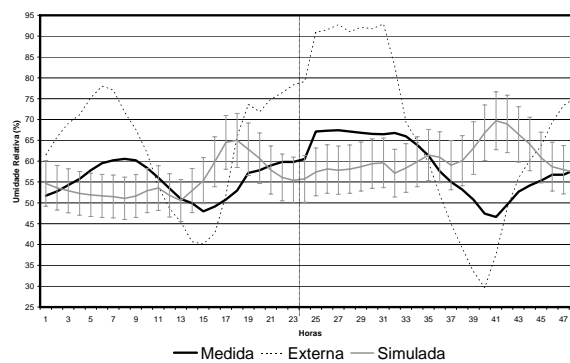
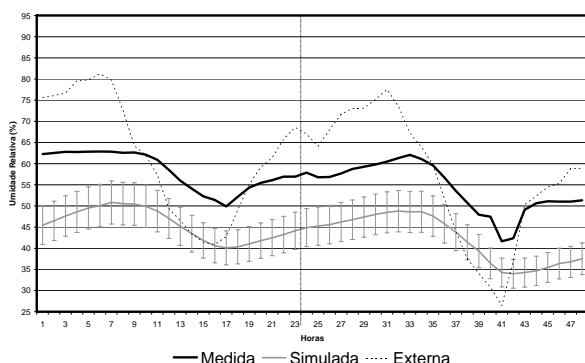
a - Dia 05 e 08/08: Ambiente ocupado e com as janelas abertas

b - Dia 06 e 07/08: Ambiente vazio e com as janelas abertas

Figura 6 - Gráfico Umidade Relativa: Dados Simulados X Dados Medidos – (a) Dia 05 e 08/08 e (b) 06 e 07/08.

Voltando aos resultados de temperatura do ar, verifica-se que as maiores discrepâncias entre o que foi medido e o que foi simulado também ocorrem no mesmo período, ou seja, nos horários de temperaturas mais elevadas e umidades mais baixas. Foi também nestes horários que ocorreram as maiores velocidades de vento e, conseqüentemente, taxas mais altas de renovação do ar do ambiente. De acordo com Gard (2003), existe uma relação direta entre o módulo Comis do EnergyPlus e o balanço térmico do ar. O fato de as velocidades do vento apresentarem os valores mais altos no mesmo período em que ocorrem as maiores temperaturas e as menores umidades relativas provavelmente afeta a saída do modelo. Essa característica deste edifício, possivelmente, induz o modelo a praticamente anular a inércia da edificação nesses períodos. É possível também que a inércia não esteja sendo considerada adequadamente devido às limitações do algoritmo de cálculo de trocas convectivas.

Na condição em que não há ventilação, a amplitude das curvas de umidade relativa, assim como aconteceu com a temperatura, diminuiu. O desenho da curva simulada segue o da medida. Observe a figura 7(a), diferentemente do que aconteceu com a temperatura, a umidade relativa simulada é constantemente inferior a medida. Portanto nesta condição, a simulação indicou temperaturas mais elevadas do que as medidas e umidades relativas mais baixas.



a - Dia 14 e 15/08: Ambiente vazio e com as janelas fechadas

b - Dia 16 e 18/08: Ambiente ocupado e com as janelas fechadas

Figura 7 - Gráfico Umidade Relativa: Dados Simulados X Dados Medidos – (a) Dia 14 e 15/08 e (b) 16 e 18/08.

Analisando a última condição – ambiente com janelas fechadas e ocupado - verifica-se que comportamento da curva medida no interior do ambiente acompanha a externa. Contudo, a curva simulada tem um desempenho contrário ao das curvas medidas interna e externamente (veja figura 7(b)). Nos horários de menor umidade relativa medida, a curva simulada apresenta os maiores valores, com pico de 70%, enquanto os valores medidos são da ordem de 47%. Os valores mais baixos obtidos com a simulação estão na casa de 51%. Entretanto esses ocorrem quando a curva medida apresenta seus valores mais elevados, superiores a 60%.

A combinação dos resultados observados para as variáveis temperatura e umidade relativa evidencia que essa condição foi a que apresentou o pior desempenho. No trabalho realizado por Pereira (2004) verificou-se também que quando são realizadas simulações, nas quais os ambientes estão ocupados e as janelas estão fechadas, os resultados indicam a ocorrência de acúmulo excessivo de vapor d'água nos ambientes. Isso se deve ao algoritmo de solução selecionado, nos dois casos, responsável pelas trocas térmicas através das envoltórias que considera apenas o calor sensível. Muito provavelmente em simulações que utilizam os modelos de trocas capazes de considerar o calor latente isso não ocorrerá.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho tem como principal intenção verificar como um determinado programa de simulação responde a diferentes formas de ocupação de uma edificação. Esses resultados podem orientar projetistas durante a montagem de arquivos de simulação. As comparações com o caso real mostram como os limites dos modelos desenvolvidos interferem nas saídas. Conhecer esses comportamentos auxilia os profissionais na avaliação de seus projetos. A simplificação das simulações pode encorajar muitos profissionais a adotarem essa ferramenta na avaliação dos seus projetos, embora essas ainda não estejam integradas ao processo de projeto.

A adoção de ferramentas de controle de consumo energético nas edificações tende a contribuir com a elevação da eficiência energética. Neste contexto, a avaliação dos projetos e das edificações por meio de simulação é de extrema relevância. Entretanto, este trabalho mostrou que a qualidade da resposta do modelo de simulação utilizado foi fortemente influenciada pela condição de uso e ocupação da edificação. Acredita-se que o mesmo possa ocorrer com outros programas. Portanto, recomenda-se que as simulações e as medições sejam realizadas apenas nas condições em que o programa apresenta as saídas mais confiáveis. No caso do programa EnergyPlus, usando o modelo CFT, a saída mais próxima da situação real foi encontrada quando o ambiente estava com as janelas abertas (alto fluxo de ar) e sem ocupação. Assim foi possível minimizar as limitações do modelo relativas às trocas térmicas úmidas. A condição 2, onde havia ocupação e as janelas foram mantidas abertas, também apresentou resultados satisfatórios para as variáveis temperatura do ar e umidade relativa. Verificou-se ainda que, possivelmente, os resultados das condições onde a taxa de renovação do ar era mínima (janelas fechadas) foram influenciados pela escolha do algoritmo usado para o balanço térmico. Recomenda-se que em trabalhos futuros seja feita a opção pelo algoritmo que considere, além do calor sensível, o latente. E para isso é necessário que informações sobre as características de difusividade de vapor, porosidade, capacidade isotérmica de umidade, entre outras, estejam disponíveis nos catálogos técnicos dos materiais.

O trabalho apresenta limitações relacionadas à época do ano em que as medições foram realizadas. Já as medições foram realizadas apenas durante o mês de agosto (período de inverno) em que as condições climáticas são mais estáveis em Belo Horizonte. Assim pode-se analisar a resposta do programa a condições não sujeitas a variações bruscas de tempo, ou seja, mais próximas das bases de dados médios geralmente utilizadas. Sabe-se também que a escolha do modelo de cálculo do programa Energyplus introduziu incertezas nos resultados das simulações. Entretanto, vale lembrar que os dados sobre os materiais dos demais modelos do programa não estão acessíveis aos projetistas. Seria, portanto, uma incoerência do trabalho adotar um desses modelos, uma vez que o objetivo era propor uma simplificação no processo de simulação para aproximar a simulações dos escritórios.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT; INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL - INMETRO. *Guia para a expressão da incerteza de medição*. Rio de Janeiro: ABNT e INMETRO, 2003. 131p.

ALLARD, Francis. *Natural ventilation in buildings: a design handbook*. London: James & James, 1998. 356p.

BELO HORIZONTE, Prefeitura Municipal - PBH. *Anuário estatístico de Belo Horizonte*. Belo Horizonte: PBH, 2001.

GARD Analytics. *Introduction to building simulation and EnergyPlus*. Illinois: USA DOE, 2003. Disponível em: <<http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/training.htm>>. Acesso em: 23 maio 2005.

SILVA, Maria Angélica C.; SOUZA, Roberto de. *Gestão do processo de projeto de edificações*. São Paulo: O Nome da Rosa, 2003.

UNITED STATES Department of Energy (DOE). *EnergyPlus manual*. USA: University of Illinois and University of California, 2005. Disponível em: <http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/reg_form.cfm>. Acesso em: 27 jul 2005.

Mourshed, M.M, Kelliher, D, Keane, M. *Integrating simulation in design: Integrating building energy simulation in the design process*. College Station: The journal of the International Building Performance Simulation Association, 2003.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao 5º Distrito de Meteorologia pelos dados meteorológicos cedidos; ao Centro de Pesquisa em Energia Inteligente do CEFET-MG por ter cedido suas instalações e o equipamento adquirido pelo convênio CNPq/CEFETMG 55.144.2001/0 e à CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais – que, através do Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento Abordagem Integrada da Eficiência Energética e Energias Renováveis, convênio CEMIG 4020000010, financiou essa pesquisa.