



ENTAC2006

A CONSTRUÇÃO DO FUTURO XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído | 23 a 25 de agosto | Florianópolis/SC

ANÁLISE COMPARATIVA NA SIMULAÇÃO DE MODELO HABITACIONAL NOS SOFTWARES ENERGY PLUS E TAS

**Anarrita Bueno Buoro (1); Andrea Bazarian Vosgueritchian (2);
Gisele Saveriano De Benedetto (3); Fulvio Vittorino (4)**

- (1) Departamento de Tecnologia da Arquitetura – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Universidade de São Paulo, Brasil - e-mail: ritabuoro@usp.br
(2) Departamento de Tecnologia da Arquitetura – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Universidade de São Paulo, Brasil - e-mail: bazarian@usp.br
(3) Departamento de Tecnologia da Arquitetura – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Universidade de São Paulo, Brasil e-mail: giseledb@usp.br
(4) Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT - Universidade de São Paulo, Brasil –
e-mail: fulviov@ipt.br

RESUMO

Proposta: Com o corrente avanço tecnológico cada vez mais acelerado, uma grande quantidade de softwares têm sido desenvolvida com o intuito de auxiliar arquitetos e engenheiros na simulação do comportamento térmico de projetos de edifícios. Estas ferramentas tornam-se fundamentais para o aprimoramento do desempenho energético do projeto. Porém seus modelos matemáticos e sua implementação devem ser minuciosamente conhecidos para que seu uso seja confiável. Nos Estados Unidos, o programa mais amplamente utilizado é o ENERGY PLUS, resultado da junção de dois outros softwares, o DOE-2 e o BLAST. Na Europa o Tas tem sido muito empregado em escritórios de projeto bioclimático, apesar de não se tratar de um software disponível gratuitamente como no primeiro caso. **Método da pesquisa:** Este trabalho busca fazer uma comparação entre estes dois programas a partir da metodologia desenvolvida no trabalho – Validação de softwares aplicativos para simulação do comportamento térmico de habitações (IPT, 2004). Neste relatório está descrito o processo de validação dos aplicativos, desde as simulações realizadas para três protótipos de edificações uni compartimentais com os softwares Energy-Plus, ESP-R, DOE-2, BLAST e NBSLD, até a comparação destes resultados com dados medidos. **Resultados:** Os resultados das medições em um dos protótipos foram utilizados para a comparação entre os softwares Tas e Energy-Plus. Os resultados das simulações apresentam boa concordância entre os dois programas, bem como com os valores medidos nos horários mais quentes do dia.

Palavras-chave: programa de simulação; comportamento térmico; software, Tas, Energy-Plus.

ABSTRACT

Proposal: With current accelerated technological advance, a great amount of software's has been developed with the intention of assisting architects and engineers in buildings projects simulation. These tools have become a basic step for the improvement of buildings energy performance; however their results must minutely be known so that they become more trustworthy. In The United States, Energy-Plus is the widely used program, and it is a result of the junction of two others software's, DOE and BALST. In Europe, Tas has been the most used, although it is not free software as in the first example. **Research Method:** This work aims to make a comparison between these two programs, from the methodology developed in the work - Validation of software's for the simulation of residential thermal behaviour (FINEP, 2004). In this report, the applicative process of validation is described, since models simulations in tools as Energy-Plus, ESP-R, DOE-2, BLAST e NBSLD, to the comparison of the data measured in archetypes. In the same way, the methodology will be applied in Tas. After this step, results will be raised and compared, in the direction of appointing advantages and disadvantages in the use of the two tools. **Results:** The results of the measurements in one of the archetypes had been used for the comparison between the two software's: Tas and Energy-Plus. The results of the two programs simulations present good conformity, as well as the measured values in hottest days.

Keywords: simulation software; thermal performance; software; Tas, Energy-Plus.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, tem-se à disposição dos projetistas e dos avaliadores de edificações e de sistemas de climatização uma grande quantidade de softwares de simulação do comportamento térmico de edifícios, cada um usando modelos matemáticos particulares para simularem cada uma das componentes das trocas térmicas ou mesmo para fazer o balanço energético global de cada ambiente. Neste contexto, o conhecimento do modelo utilizado e de resultados de programas de validações destes softwares é um elemento básico para a correta utilização destes softwares.

Algumas iniciativas no sentido de se comparar programas de simulação em relação a suas características e capacidades têm sido muito importantes para a comunidade técnica. Muitas vezes há que se fazer um grande esforço para selecionar o aplicativo mais apropriado para a condição específica a ser estudada e, com esforços, como por exemplo, de Crawley et al. (2005), se torna mais simples o conhecimento dos programas.

Na pesquisa citada anteriormente foram realizadas comparações, com base nas informações proporcionadas pelos próprios elaboradores, em vinte programas de simulação, entre eles o Tas (EDSL, 2004), e o Energy-Plus. Estas comparações foram baseadas em diversas categorias como: cargas térmicas, envelope do edifício, luz natural, infiltração, ventilação, sistemas energéticos, sistemas artificiais de condicionamento térmico, entre outros.

Apesar destas iniciativas, a comparação teórica dos programas às vezes não responde suficientemente às pretensões técnicas. Desta forma a aplicação prática dos simuladores e a comparação dos seus resultados podem contribuir em muito para nortear primeiramente qual aplicativo deve-se usar em cada caso, como que decisões de projeto devem-se tomar.

Os programas de simulação são, sem dúvida, ferramentas importantes de auxílio ao projeto, e permitem a comparação de alternativas a serem adotadas, desde a orientação, a proteção solar mais adequada e até mesmo a composição dos materiais das paredes e cobertura, para um melhor desempenho do edifício (maior conforto dos ocupantes com menor consumo de energia). Este trabalho, portanto contribui para avaliar duas ferramentas importantes de simulação, o que pode nortear decisões importantes de projeto.

Nos Estados Unidos, o programa mais amplamente utilizado é o ENERGY-PLUS, resultado da junção de dois outros softwares, o DOE-2 e o BLAST. Na Europa o Tas tem sido muito empregado em escritórios de projeto que realizam o aprimoramento energético de edificações, apesar de não se tratar de um software disponível gratuitamente como no primeiro exemplo.

2 FUNDAMENTOS DOS MODELOS DE SIMULAÇÃO

Os dois programas de simulação realizam balanços térmicos globais, aplicando a primeira lei da termodinâmica às superfícies interna e externa de cada um dos elementos de vedação de um recinto, bem como à massa de ar contida nele. Sua diferença básica reside nos modelos usados para a determinação de dois elementos que são fundamentais para a adequada simulação do comportamento térmico de edificações não climatizadas, que são: a transferência de calor em regime transitório pelas vedações opacas; e o balanço de energia radiante trocada por onda longa entre as superfícies internas das vedações.

Enquanto que as diferenças nas modelagens nas implementações nos cálculos da transferência de calor por condução não apresentam diferenças significativas nos resultados, o modelo de troca de calor por radiação utilizado no Tas pode gerar resultados nem sempre realísticos.

2.1 Tas

A ferramenta Tas foi desenvolvida na Inglaterra no Instituto Cranfield em 1994, e tem sido comercializada desde então. Porém, já é aplicada há vinte anos em seu país de origem e ao redor do mundo. Possui boa reputação em relação a sua robustez e uma ampla gama de capacidades. Apresenta uma interface gráfica elaborada e tem como ponto forte a realização de balanços de trocas térmicas de vários ambientes simultaneamente, considerando, instante a instante, as trocas de massa de ar entre os ambientes. Isto gera um conjunto de equações com as temperaturas do ar como incógnitas, que são resolvidas simultaneamente.

Para poder implementar este esquema de cálculo, as trocas térmicas por radiação são linearizadas, considerando-se uma temperatura de referência de 15°C, que pode ser adequada para condições de inverno, mas subestimada para situações de verão. Outra simplificação adotada no balanço da radiação térmica por onda longa está no processo de cálculo, que não considera, simultaneamente, as trocas entre as vedações, mas é feito de forma sequencial, elemento por elemento, trocando calor com uma “temperatura radiante média” determinada com base nas temperaturas superficiais determinadas em cálculos anteriores.

Além do exposto acima, pode-se dizer que o Tas é um conjunto de aplicativos unidos em um software, os quais simulam o desempenho térmico dinâmico dos edifícios e de seus sistemas. O módulo principal é chamado *Tas Building Designer*, uma ferramenta gráfica que executa a simulação dinâmica do edifício com o fluxo de ar natural e/ou forçado.

O segundo aplicativo é o *Tas Systems*, que simula sistemas e controles de ar-condicionado, e pode ser diretamente atrelado ao simulador principal do edifício. Neste módulo é possível prever a demanda de energia total do prédio. O terceiro módulo é o *Tas Ambiens*, um pacote simples e robusto que usa gráficos 2D do CFD, e produz uma secção com dados da variação do micro clima no interior de um edifício. Este software é uma ferramenta para a simulação térmica de edifícios novos ou existentes, e permite que os profissionais de projeto comparem estratégias de aquecimento e resfriamento, além de projetos de fachadas, para promoverem conforto ambiental, dimensionamento dos equipamentos e demanda de energia.

Os dados das simulações são extraídos do modelo 3D do Tas, e criam uma rede de fluxos de ar entre ambientes gerada automaticamente.

2.2 Energy-Plus

O Programa Energy Plus foi financiado pelo governo americano com base nos melhores recursos do BLAST (modelagem da edificação) e DOE-2 (modelagem dada aos sistemas de condicionamento de ar). Esta fusão dos programas foi batizada pelo Departamento de Energia dos EUA como “Energy Plus: The official building simulation program of the United Department of Energy”. Seus algoritmos podem ser conferidos no extenso manual teórico disponível no sítio do governo americano, www.energyplus.gov.

Basicamente, pode-se dizer que a modelagem matemática empregada utiliza o menor número de hipóteses simplificadoras entre todos os softwares disponíveis, permitindo, nos modos de simulação mais detalhada, a melhor representação física das trocas térmicas no interior dos recintos.

É um programa de simulação energética de edificações para modelar o aquecimento, resfriamento, iluminação, ventilação e outros fluxos de energia. Inclui também algumas características inovadoras como: intervalos de tempo para análise (time-step) menores do que uma hora, simular em módulos o ar-condicionado baseado em múltiplas zonas de fluxos de ar e até sistemas fotovoltaicos.

Atua como uma ferramenta importante de simulação térmica e de equipamentos tanto para edifícios em fase de projeto, quanto para edifícios existentes que precisam quantificar e qualificar suas

estratégias passivas ou ativas. Possui capacidade de modelar vários tipos de instalações de condicionamento de ar, desde simples sistemas unitários até sistemas centrais com múltiplos climatizadores e estratégias de controle.

Apesar do Energy-Plus não possuir nenhuma interface gráfica, seus resultados saem como arquivos texto capazes de serem tabulados em outras plataformas. As interfaces gráficas que estão sendo desenvolvidas por terceiros não foram avaliadas neste trabalho.

3 COMPARAÇÃO ENTRE OS PROGRAMAS

Tendo como ponto de partida o trabalho desenvolvido pelo IPT (2004), com apoio da FINEP, que comparou alguns programas de simulação em edifícios, utilizou-se da mesma metodologia e as mesmas características de um dos protótipos de edificação para serem simulados nos dois programas. Também foram considerados os dados medidos de temperatura do ar exterior e interior e temperaturas superficiais.

O protótipo estudado está localizado no campus do IPT, em São Paulo. É uma edificação de apenas um compartimento, com uma janela e uma porta, e características construtivas típicas do mercado tradicional de construções habitacionais brasileiras. Possui laje e um átrio com cobertura de telha cerâmica. Todas as simulações foram feitas considerando-se que não havia entrada de radiação solar no ambiente, uma vez que as venezianas permaneceram fechadas durante as medições. Na foto 1 é apresentada uma vista deste protótipo.



Foto 1 - Vista da face NO (Fachada com janela) do Protótipo.

As tabelas 1 e 2 descrevem as características geométricas e as propriedades térmicas dos elementos e materiais dos protótipos simulados.

Tabela 1. Descrição do protótipo 1. Dados do Relatório Técnico IPT produzido para a FINEP (2004).

Elemento	Característica
Área do piso	(3,2 m x 3,1 m) = 9,9 m ²
Pé-direito	2,7 m
Piso	Contra-piso de laje radier apoiada sobre o solo de 10 cm de espessura
Paredes	Face int.: Camada de argamassa (e = 1,5 cm)
	Alvenaria de blocos cerâmicos vazados (e = 14 cm)
	Face ext.: Camada de argamassa (e = 1,5 cm) pintada na cor branca
Porta	Orientação NE (Nordeste)
	Área = 1,68 m ²
	e = 3,0 cm
	Madeira maciça, cor natural marrom escuro
Janela	Orientação NO (Noroeste)
	Área = 1,44 m ²
	Vidro simples e = 3 mm
	Veneziana metálica na cor cinza
Cobertura	Laje horizontal mista: Elementos cerâmicos mais vigas de concreto (e = 12,5 cm)
	Oitões em madeira (e = 1 cm)
	Pintura externa na cor branca

Tabela 2. Propriedades térmicas dos elementos e materiais do protótipo 1. Dados do Relatório Técnico FINEP (2004).

Elemento	Camada	k W/(m.K)	d kg/ m ³	c J/(kg.K)	RES m ² .K/W
Piso	Concreto	1,9	2250	840	--x--
	Solo	0,6	2000	1700	--x--
Parede $\alpha = 0,3$	Argamassa	1,0	1790	780	--x--
	Cerâmica-Bloco	0,8	1900	840	--x--
	Espaço de Ar	0	0	0	0,08
Porta	Madeira	0,14	500	1600	--x--
Janela	Vidro	1,0	2230	840	--x--
Laje de Forro	Cerâmica	0,8	1900	840	--x--
	Espaço de Ar	0	0	0	0,08
	Concreto	1,9	2250	840	--x--
Telhado $\alpha = 0,7$	Telha cerâmica	0,8	1900	840	--x--

Como se buscou reproduzir, da melhor maneira possível os procedimentos empregados pelo IPT (2004), as simulações foram feitas considerando as taxas de infiltração constantes ao longo do dia inteiro, em valor igual ao medido usando o método de caimento da concentração de CO₂. Desta forma não foram calculados os fluxos de ar natural utilizando os modelos dos 2 programas.

4 DADOS MEDIDOS

No trabalho do IPT, foram feitas medições contínuas em cada ambiente do protótipo (ático e térreo), de:

- temperatura de bulbo seco do ar interior;
- temperatura de globo;
- temperatura superficial interna das paredes, piso e cobertura;
- temperatura superficial externa das paredes, piso e cobertura;
- velocidade do ar interior;
- taxa de infiltração do ar exterior.

Além destas, foram realizadas também medições contínuas das seguintes grandezas referentes ao

clima:

- radiação solar global incidente em superfície horizontal;
- temperatura de bulbo seco do ar exterior;
- velocidade dos ventos.

As medidas foram realizadas por períodos de no mínimo 30 dias, e depois selecionados os dados mais confiáveis e representativos. Ao longo da medição foram selecionados três dias em que os valores medidos tivessem bastante próximos, evitando que alterações nas condições climáticas decorrentes a frentes frias ou inversões térmicas interferissem no resultado. Sendo assim, os dados considerados para as simulações foram àquelas referentes ao terceiro dia temperatura sequencial.

Todas as medições foram realizadas com sistemas eletrônicos de aquisição de dados, permitindo-se precisão nas temperaturas de ordem de 0,1°C.

Com as medições feitas, foram alimentadas nos dois softwares, Energy-Plus e Tas, juntamente com as propriedades térmicas dos materiais, para as simulações computacionais. No entanto enquanto que o Energy-Plus foram inseridas apenas a temperatura máxima e mínima do dia, sendo gerada uma senóide da variação da temperatura ao longo do dia, no Tas foram inseridos os valores hora-a-hora, procedimento usado no laboratório de conforto ambiental e eficiência energética do Departamento de Tecnologia da FAU-USP, o LABAUT.

Tanto o Tas como o Energy plus trabalham com bancos de clima horários, que podem ser editados e montados de acordo com os dados do usuário. Para essas simulações no Tas, um arquivo de clima da cidade de São Paulo com 8760 dados (dados horários de um ano todo) foi utilizado, porém, com as medições in loco inseridas. Ao final das simulações, foram solicitados ao programa os resultados referentes àquele dia específico que continha os dados de clima medidos para a pesquisa.

5 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

Nas Figuras 1 e 2 são apresentados, valores horários medidos e calculados pelos dois programas, para a temperatura do ar do ambiente e do ar do ático, respectivamente. Na figura 1 são apresentados também os valores medidos da temperatura do ar exterior.

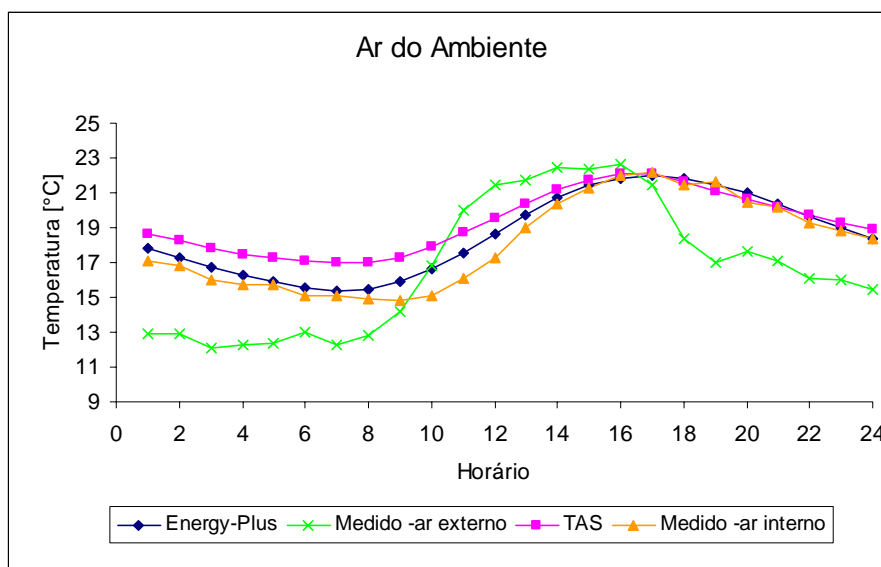


Figura 1: Valores medidos e calculados pelos dois programas para a temperatura do ar do ambiente e valor medido da temperatura do ar exterior.

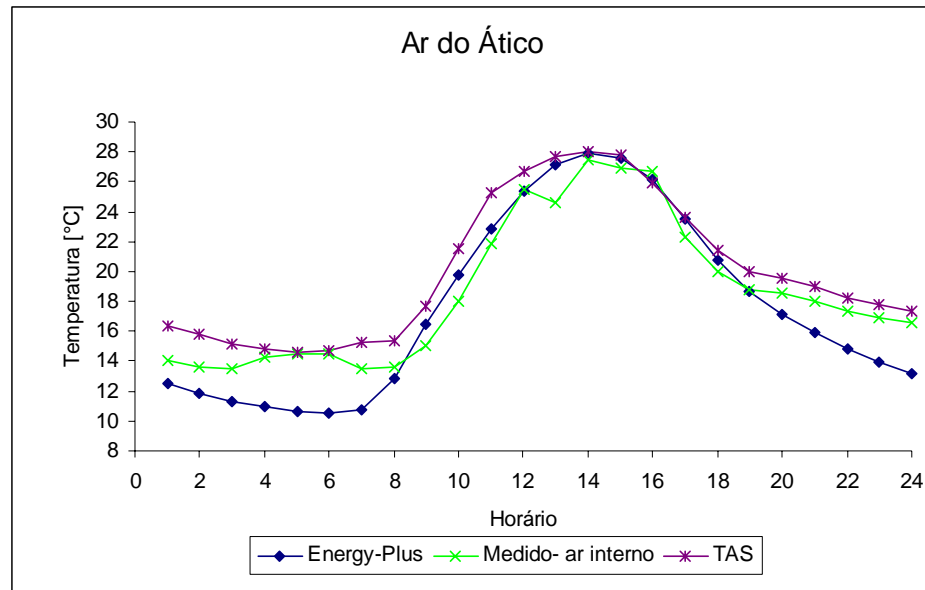


Figura 2: Valores medidos e calculados pelos dois programas para a temperatura do ar do ático.

De todas as superficiais medidas, foram selecionados os valores horários referentes aos dois elementos com a menor incidência de radiação solar (parede SE) e com maior incidência (telhado). Na figura 3 tem-se além dos valores medidos, também os valores calculados pelos dois programas para a parede SE. Na figura 4 têm-se os valores correspondentes para o telhado.

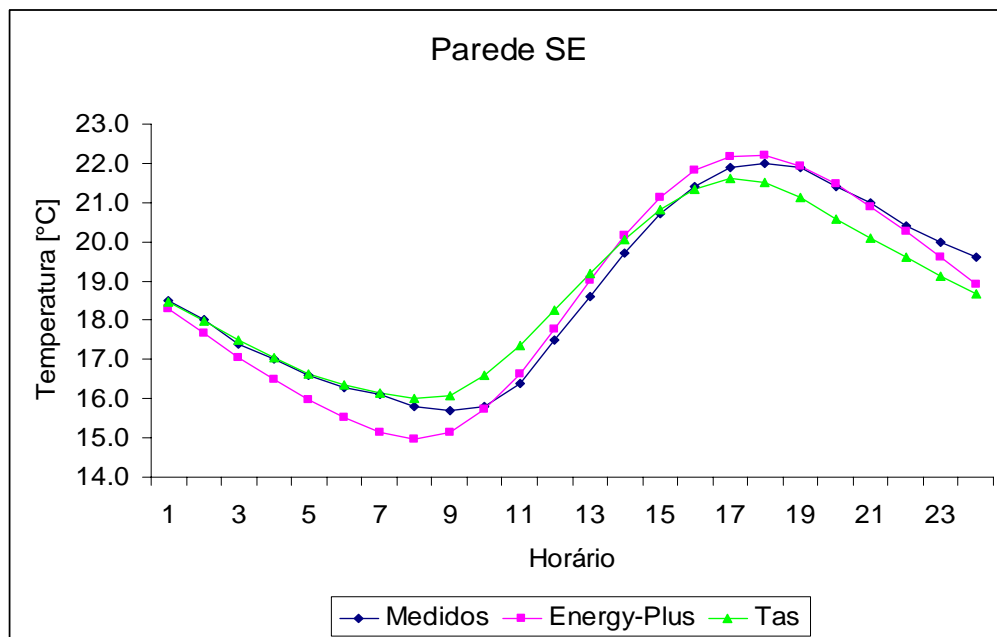


Figura 3: Valores medidos e calculados pelos dois programas para a temperatura superficial interna da parede SE.

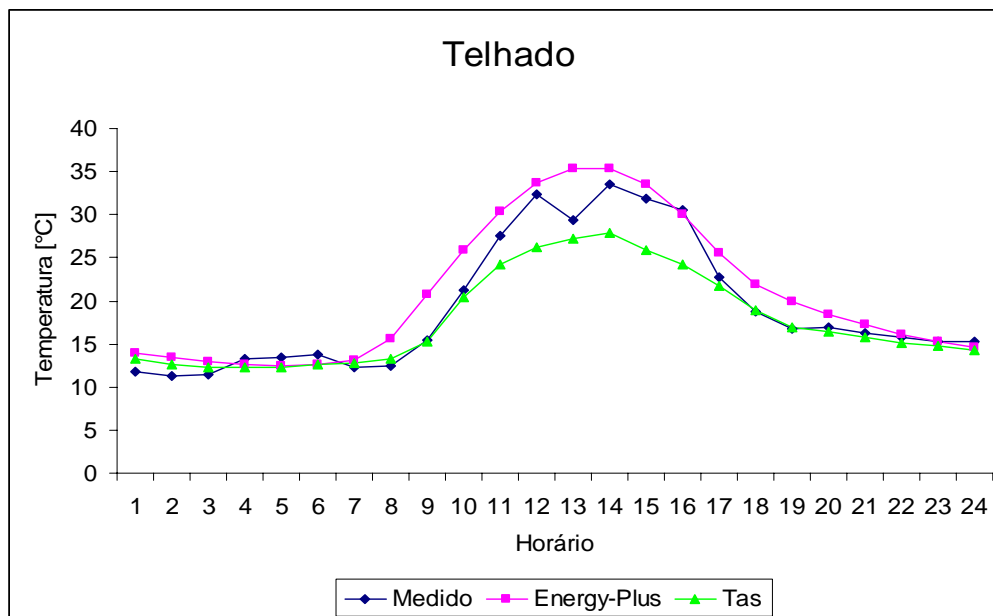


Figura 4: Valores medidos e calculados pelos dois programas para a temperatura superficial interna do telhado.

Os valores horários da temperatura do ar interior calculados pelos dois programas apresentam boa concordância com os valores medidos nos horários em que estes são mais elevados, enquanto a concordância é menor nos horários mais “frios” do dia principalmente no resultado obtido nas simulações do Tas.

A má concordância nos horários intermediários (entre 9 e 13 horas) pode ser explicada pelo fato de as simulações terem sido feitas com taxas de infiltração constantes pelos dois programas, obtidas em medições realizadas em alguns horários específicos. Este valor constante pode não ter sido representativo das infiltrações que ocorreram no período citado devido a incidência de vento, informação não disponível neste estudo.

A melhor concordância entre os valores calculados pelo Tas com os medidos da temperatura do ar do ático são explicados pelo fato de nas simulações feitas com este programa foram utilizados dados medidos hora a hora da temperatura do ar exterior. Neste ambiente, de pequeno volume, onde a taxa de infiltração é alta, a temperatura do ar interior segue fortemente o comportamento do ar exterior.

Com relação à temperatura superficial interna da parede SE, elemento que recebe baixa incidência de radiação solar na sua face externa, verifica-se boa concordância entre os valores calculados pelos dois programas com os valores medidos.

Já, para o telhado, os valores de temperatura calculados pelo Tas foram mais baixos que os medidos e que os calculados pelo Energy-Plus. Isto indica uma possível inadequação no modelo de cálculo de radiação solar, para as situações de maior incidência.

Observa-se que as hipóteses adotadas no desenvolvimento do Tas para a troca de calor por onda longa no interior dos recintos pode levar a uma subestimação da componente radiante no balanço de energia das vedações e a uma superestimação da componente convectiva, resultando em uma redução aparente da inércia térmica da edificação. Este efeito não foi percebido neste estudo, uma vez que a temperatura média do ar interno encontrou-se relativamente baixa, e de não haver uma diferença considerável de temperatura entre elementos do ambiente, assim como não houve incidência de radiação solar.

7 COMENTÁRIOS FINAIS

Um programa de validação como este requer um grande cuidado na sistemática de aquisição dos dados para serem utilizadas nos modelos a que se desejam analisar.

Ressalta-se a importância de necessidade de bom conhecimento dos softwares utilizados, visto que cada programa exige uma entrada de dados bastante complexa que impacta diretamente no resultado final. E se esta não for feita adequadamente prejudica o seu resultado.

Porém os resultados obtidos permitem concluir que modelo utilizado pelo energy plus está adequado à condição avaliada, sendo que no modelo do tas a adequação menor.

Esta comparação é uma das poucas feitas no Brasil em edifícios não climatizados, situação típica no nosso território, principalmente em habitações. Sugere-se que o método desenvolvido neste trabalho seja replicado para outras situações clima, uso e sistema construtivo distintos.

8 BIBLIOGRAFIA

EDSL - Environmental Design Solutions Limited. **A-Tas Theory Manual**. Manual em CD, 2004

IPT. Relatório Técnico de nº. 72.919-205. **Validação de softwares aplicativos para simulação do comportamento técnico de habitações**. Divisão de Engenharia Civil, Agrupamento de Componentes e sistemas Construtivos. São Paulo, outubro de 2004.

CRAWLEY, Drury; HAND, Jon; KUMMERT; Michael; GRIFFITH, Brent. **Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs**. US Department of Energy, University of Strathclyde, University of Wisconsin-Madison and National Renewable Energy Laboratory, Version 1.0, July, 2005.

9 AGRADECIMENTOS

Agradecemos à FINEP, pelo apoio e divulgação dos resultados do relatório técnico IPT nº. 72.919-205; à FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - pelo apoio e financiamento da pesquisa de mestrado de Andrea Bazarian Vosgueritchian; e também a CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - pelo apoio e financiamento da pesquisa de mestrado de Anarrita Bueno Buoro.