



APLICAÇÃO DO MÉTODO BESTEST NO ENERGYPLUS PARA TREINAMENTO EM SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES

Franck Alves Scarduelli (1); Fernando Simon Westphal (2); Roberto Lamberts (3)

(1) Acadêmico de Eng. Civil – E-mail: franck@labeee.ufsc.br

(2) Eng. Civil, M.Eng. – E-mail: fernando@labeee.ufsc.br

(3) Eng. Civil, Ph.D. – E-mail: lamberts@ecv.ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina – Departamento de Engenharia Civil

LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

Fone: (48) 331-5184, Fax: (48) 331-5191 – CEP 88040-900, Cx. Postal 476

RESUMO

Neste trabalho foi utilizado o método BESTEST da norma americana ASHRAE Standard 140 para simular diferentes modelos no programa EnergyPlus durante o treinamento de um usuário com esta ferramenta de simulação. Cada caso descrito pela norma tem sua peculiaridade. A edificação simulada pode ser constituída de paredes leves ou paredes pesadas, janelas na fachada sul ou leste e oeste, com ou sem proteção solar, com ou sem sistema de aquecimento e resfriamento, entre outras características. As principais dificuldades encontradas pelo usuário em modelar cada caso são apresentadas. A estimativa da carga de aquecimento e resfriamento calculada pelo programa é comparada com resultados de outros programas citados na norma. Os resultados das simulações aqui realizadas ficaram dentro do intervalo de resultados desses programas, indicando que os modelos foram bem representados pelo usuário.

ABSTRACT

The BESTEST Method, adopted by ASHRAE Standard 140 as a software validation routine, is used for training an EnergyPlus user. Each case described in the standard has its specific characteristics. The building under analysis is composed by lightweight or heavyweight walls, windows in the south façade or in the east and west façades, with or without solar protection, with or without air-conditioning system, and other characteristics. The main difficulties pointed by the user in the modelling step of each case are presented. The heating and cooling loads predicted by the software are compared to the results presented by other software and listed in the standard documentation. The results obtained in this work were inside the range of other programs values, demonstrating that each case was well modelled by the user in the simulation program.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos 30 anos, diversas ferramentas de simulação foram desenvolvidas em vários países, com o objetivo de promover o projeto de edificações energeticamente mais eficientes. Atualmente, o Departamento de Energia dos Estados Unidos lista mais de 290 programas de simulação no *Building Energy Tools Directory* (www.eere.energy.gov/buildings/tools_directory), uma página da internet que reúne informações sobre as principais ferramentas disponíveis. Porém a aplicação prática dessas ferramentas tem sido pouco expressiva, devido, principalmente, ao tempo necessário para treinamento do usuário.

Durante o Projeto 6 Cidades, coordenado pelo PROCEL/ELETOBRÁS entre 1996 e 1998, a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) teve participação importante oferecendo o suporte

necessário para os demais grupos de pesquisa na utilização da ferramenta de simulação. O objetivo desse projeto era implementar reformas que reduzissem o consumo de energia em 2 prédios públicos ou comerciais de cada uma das 6 cidades analisadas: Florianópolis, Rio de Janeiro, Curitiba, Salvador, Brasília e Belo Horizonte. O projeto foi pioneiro na utilização de simulação computacional, através do programa VisualDOE – uma interface gráfica para o DOE-2.1E – para avaliar o potencial de economia de energia nas edificações em estudo (LAMBERTS et al., 1998). Na época, o treinamento dos usuários era feito através da simulação das edificações analisadas. Além da dificuldade de aprendizado sobre todos os módulos do programa, o usuário ainda encontrava problemas para obter os parâmetros de desempenho do prédio, necessários à calibração do modelo no programa de simulação.

Devido à dificuldade de validação de programas de simulação, a Agência Internacional de Energia (IEA - International Energy Agency) promoveu o desenvolvimento de um método de validação comparativa, o método BESTEST (*Building Energy Simulation Test*), que através da simulação de diferentes casos permite que o usuário avalie o nível de precisão do programa utilizado (JUDKOFF e NEYMARK, 1998). O método BESTEST foi adotado pela ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) como norma para validação de programas de simulação do desempenho térmico de edificações, a ASHRAE Standard 140 (ASHRAE, 2001). A norma apresenta a descrição detalhada de cada caso a ser simulado e fornece os resultados obtidos em 8 programas internacionais, considerados estados-da-arte em simulação térmica de edificações. Por isso, além de ser utilizada como instrumento de validação de programas, a ASHRAE Standard 140 pode ser adotada como material de referência para o treinamento de usuários na utilização da ferramenta de simulação. O EnergyPlus foi validado após o lançamento da norma, por isso seus resultados não foram incluídos nesta.

Neste trabalho, o EnergyPlus foi utilizado para simular os casos da ASHRAE Standard 140 durante o treinamento de um usuário. Os resultados obtidos são comparados com os demais programas listados na norma e as dificuldades encontradas durante a aplicação do método são listadas.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é testar a habilidade do usuário em operar o programa EnergyPlus, através da aplicação do método BESTEST, proposto pela ASHRAE Standard 140.

3. METODOLOGIA

3.1 O Programa EnergyPlus

O programa utilizado para as simulações foi o EnergyPlus (versão 1.2.1.022), desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (CRAWLEY et al., 2000). O EnergyPlus foi elaborado a partir da fusão dos códigos do BLAST e DOE-2, porém seu código integra vários outros algoritmos, como WINDOW 5.0, COMIS, TRNSYS e SPARK (DOE, 2004). A partir da caracterização geométrica da edificação, seus componentes construtivos, cargas elétricas instaladas, sistemas de condicionamento de ar e padrões de uso, o programa estima o consumo de energia considerando as trocas térmicas da edificação com o exterior. Para isso, deve-se utilizar um arquivo climático da região, com dados horários de temperatura, umidade relativa, ventos e radiação solar.

O EnergyPlus permite que o usuário solicite diversos relatórios, com dados estimados durante o processo de simulação, incluindo temperatura interna de cada zona térmica, consumo de energia por uso final e carga térmica retirada ou adicionada pelo sistema de condicionamento de ar.

3.2 Método BESTEST

Segundo a ASHRAE Standard 140 (ASHRAE, 2001), para que seja feita a validação de um programa de simulação térmica de edificações é necessário que este passe por pelo menos um dos três métodos:

- a) o método da **Verificação Analítica**, que consiste em comparar os dados de saída de um programa, de uma sub-rotina, ou de um algoritmo ao resultado de uma solução analítica conhecida;

- b) o método da **Validação Empírica**, que consiste em comparar resultados calculados de um programa, sub-rotina, ou algoritmo aos dados monitorados de uma estrutura, de uma célula, ou de uma experiência de laboratório; e
- c) o **Teste Comparativo**, que consiste em comparar os resultados com outros programas ou versões diferentes de um mesmo programa.

O método BESTEST, adotado pela ASHRAE Standard 140, utiliza o Teste Comparativo para a validação de um programa. O princípio básico do método BESTEST consiste em avaliar 40 (quarenta) casos distribuídos em quatro grupos de simulação, são eles: *low mass* (paredes leves), *high mass* (paredes pesadas), *free-float* (isento de condicionamento de ar) e *in-depth* (em profundidade). Cada caso é caracterizado pela principal variável analisada. As variáveis testadas são: o tipo de parede da edificação (leve ou pesada), presença ou não de condicionamento de ar, aquecimento por radiação solar direta, sombreamento nas janelas, orientação das aberturas, efeito do solo, ventilação noturna, programação e ajuste da temperatura de controle de aquecimento e resfriamento, presença ou não de taxa de infiltração e ganhos de calor interno. O modelo geométrico do caso 600 (base para a composição dos demais casos) é apresentado na Figura 1. Os itens a seguir descrevem os quatro grupos de modelos listados no método BESTEST.

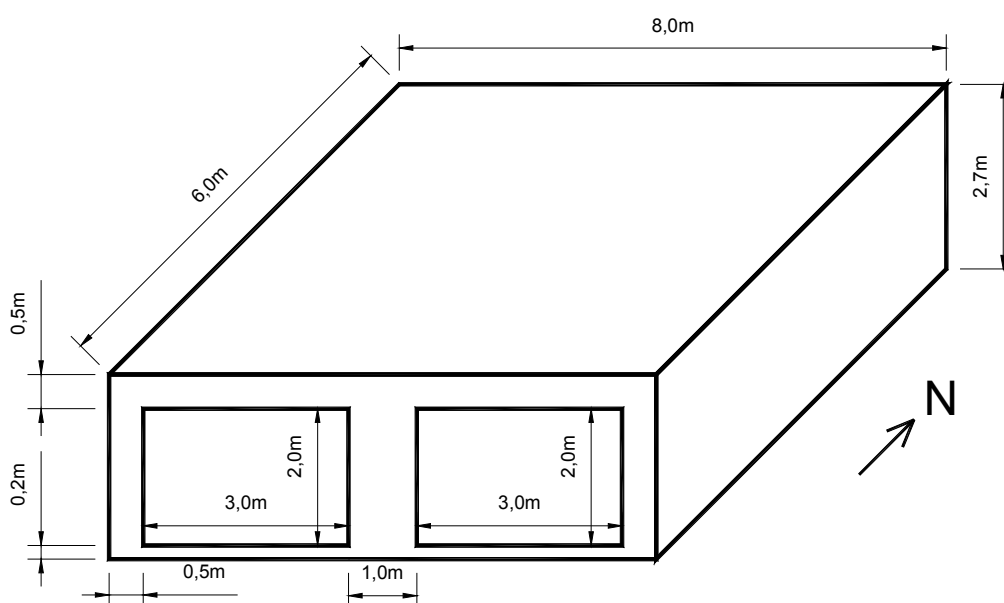


Figura 1. Modelo geométrico do caso 600, apresentado na ASHRAE Standard 140.

Para que seja feita a comparação de resultados com outros programas citados pela ASHRAE Standard 140 é necessário que as simulações sejam realizadas sob o clima frio e seco da cidade norte-americana de Denver, no Colorado (latitude de 39,8 °N; longitude de 104,9 °O e altitude de 1.609 m); com verão e inverno secos e grandes variações diárias de temperatura (temperatura do ar média de 9,71 °C, mínima de -24,39 °C e máxima de 35,00 °C). O arquivo climático para uso na simulação, em formato TMY (*Typical Meteorological Year*), é fornecido juntamente com a norma.

3.2.1 Low Mass (Paredes Leves)

A principal característica deste grupo de modelos está na utilização de materiais de baixa densidade nas paredes, no piso e na cobertura. As paredes possuem uma camada de isolamento térmico de fibra de vidro (6,6 cm), são revestidas internamente por uma camada de massa corrida e externamente com acabamento em madeira. O piso é de madeira com isolamento térmico. A cobertura possui uma camada de isolamento térmico de fibra de vidro (11,2 cm), sendo revestida internamente por uma camada de massa corrida e externamente com acabamento em madeira.

Neste grupo incluem-se os casos 600 até 650. A Tabela 1 lista cada caso com sua característica principal.

Tabela 1. Casos da ASHRAE Standard 140 - Low Mass (Paredes Leves)

Casos	Característica Principal
600	Edificação com duas janelas na fachada sul.
610	Edificação com duas janelas na fachada sul com proteção solar.
620	Edificação com uma janela na fachada leste e outra na fachada oeste.
630	Edificação com uma janela na fachada leste e outra na fachada oeste, ambas com proteção solar.
640	Ajuste da temperatura de controle de aquecimento para 10 °C entre 7h e 23h.
650	Ventilação noturna.

3.2.2 High Mass (Paredes Pesadas)

A principal característica deste grupo é a utilização de componentes construtivos de densidade mais elevada, se comparados com os materiais utilizados em paredes leves. As paredes possuem uma camada de isolamento térmico (6,15 cm) e são revestidas internamente por blocos de concreto e externamente com um acabamento em madeira. O piso é composto por uma laje de concreto com isolamento térmico. Apenas a cobertura é exatamente igual aos casos de paredes leves.

Neste grupo incluem-se os casos 900 até 960. Os casos 900 até 950 possuem as mesmas características dos casos 600 ao 650, exceto que as paredes e o piso são substituídos por outros de densidades mais elevadas. O caso 960 é igual ao caso 600 exceto pelo acréscimo de uma zona “ensolarada” na fachada sul com materiais de densidade mais elevada e isenta de sistemas de aquecimento e resfriamento.

3.2.3 Free-Float (Isento de Condicionamento de Ar)

Estes casos caracterizam-se por não possuírem nenhum tipo de aquecimento ou resfriamento mecânico do edifício. Estes modelos analisam a habilidade do software em estimar a temperatura da zona para os casos de paredes leves e pesadas, descritos anteriormente, com e sem ventilação noturna.

Neste grupo incluem-se os casos 600FF, 650FF, 900FF e 950FF que possuem as mesmas características dos casos 600, 650, 900 e 950, respectivamente, exceto pela exclusão dos sistemas de aquecimento e resfriamento da edificação.

3.2.4 In-Depth (Em Profundidade)

A característica principal deste grupo consiste em desenvolver uma análise mais aprofundada do comportamento térmico da edificação. Os casos 195 a 320 analisam a habilidade do software em estimar as cargas do envelope do edifício através de uma configuração do controle do termostato sem faixa de temperatura inoperante, ligando-o quando a temperatura for diferente de 20 °C. As variações entre os casos são as seguintes: nenhuma janela, janelas opacas, emissividade das superfícies internas, infiltração de ar, emissividade das superfícies externas, ganhos de calor interno, absorvância à radiação em ondas curtas das superfícies externas, ganhos solares na fachada sul, absorvância à radiação em ondas curtas das superfícies internas, orientação da janela, dispositivos de proteção solar e ajuste do termostato. Estes modelos foram projetados para isolar os efeitos de algoritmos específicos dos programas analisados. Entretanto, alguns dos casos podem ser incompatíveis com alguns programas de simulação.

Os casos 395 a 440, 800 e 810 analisam a habilidade do software em estimar as cargas do envelope do edifício através de uma configuração do controle do termostato com uma faixa de temperatura inoperante, ligando-o apenas quando a temperatura ficar abaixo de 20 °C ou acima de 27 °C. As variações entre os casos são as seguintes: nenhuma janela, janelas opacas, infiltração, ganhos de calor interno, absorvância à radiação em ondas curtas das superfícies externas, ganhos solares na fachada sul, absorvância à radiação em ondas curtas das superfícies internas e massa térmica. Esta série de testes foi projetada para ser compatível com um número maior de programas de simulação. Entretanto, os diagnósticos do programa que usa esta série de testes não são tão precisos quanto para os casos 195 a 320. A Tabela 2 apresenta cada caso do grupo *in-depth* e suas características específicas.

Tabela 2. Casos da ASHRAE Standard 140 - In-Depth (Em Profundidade)

Casos	Característica Principal
220	Igual ao caso 600 exceto pela substituição das janelas por uma parede de alta condutância com uma câmara de ar, baixa absorvância solar dos materiais voltados para o exterior da edificação, taxa de infiltração e ganhos internos nulos.
210	Igual ao caso 220 exceto que os materiais voltados para o interior da edificação têm absorvância térmica mais baixa.
215	Igual ao caso 220 exceto que os materiais voltados para o exterior da edificação têm absorvância térmica mais baixa.
200	Igual ao caso 210, porém a absorvância térmica dos materiais voltados para o exterior da edificação também é mais baixa.
195	Igual ao caso 200 exceto que a parede de alta condutância é substituída por paredes leves.
230	Igual ao caso 220 exceto que a taxa de infiltração passou de zero para 0,036m ³ /s.
240	Igual ao caso 220 exceto que a fonte de calor interna passou de zero para 200W.
250	Igual ao caso 220 exceto que os materiais voltados para o exterior da edificação possuem absorvância solar mais elevada.
270	Igual ao caso 220 exceto que os materiais voltados para o interior da edificação possuem absorvância solar mais elevada e as paredes de alta condutância foram substituídas pelas janelas originais (do caso 600).
280	Igual ao caso 270 exceto que a absorvância solar dos materiais voltados para o interior da edificação é mais baixa.
290	Igual ao caso 270 exceto que foi acrescentado uma proteção solar nas janelas.
300	Igual ao caso 270 exceto que foram substituídas as duas janelas da fachada sul por uma janela na fachada leste e outra na fachada oeste.
310	Igual ao caso 300 exceto pelo acréscimo de proteções solares nas janelas.
320	Igual ao caso 270 exceto pelo ajuste do termostato, passando a acionar o resfriamento acima de 27 °C e o aquecimento abaixo de 20 °C.
400	Igual ao caso 600 exceto pela substituição das janelas por uma parede de alta condutância com uma câmara de ar, baixa absorvância solar dos materiais voltados para o exterior da edificação, taxa de infiltração e ganhos internos nulos.
395	Igual ao caso 400 exceto que a parede de alta condutância é substituída por paredes leves.
410	Igual ao caso 400 exceto que a taxa de infiltração passou de zero para 0,018m ³ /s.
420	Igual ao caso 410 exceto que os ganhos internos passaram de zero para 200W.
430	Igual ao caso 420 exceto pelo aumento da absorvância à radiação em ondas curtas dos materiais voltados para o exterior da edificação.
440	Igual ao caso 600 exceto pela diminuição da absorvância à radiação em ondas curtas dos materiais voltados para o interior da edificação.
800	Igual ao caso 430 exceto que se substituem os materiais leves (<i>low mass</i>) das paredes e do piso por materiais pesados (<i>high mass</i>).
810	Igual ao caso 900 exceto pela diminuição da absorvância à radiação em ondas curtas dos materiais voltados para o interior da edificação.

4. RESULTADOS

As simulações foram realizadas com a versão 1.2.1.022 do programa EnergyPlus. Os resultados obtidos são comparados com resultados de outros programas citados na ASHRAE Standard 140 e apresentados em forma gráfica. Os itens a seguir apresentam os resultados obtidos e as principais dificuldades encontradas na montagem dos modelos.

4.1 Low Mass (Paredes Leves)

A ASHRAE Standard 140 fornece algumas informações desnecessárias para o EnergyPlus, enquanto que outras variáveis importantes não são disponibilizadas. Isto torna a montagem do modelo muito complicada para um usuário inexperiente. A primeira dificuldade no caso 600 foi a especificação da rugosidade dos materiais, que exerce influência sobre o cálculo do coeficiente de convecção realizado pelo programa. Os materiais externos das paredes e da cobertura foram definidos com alta rugosidade, enquanto que o resto permaneceu com rugosidade média.

A Figura 2 e a Figura 3 apresentam a estimativa de carga anual de aquecimento e resfriamento, respectivamente, para os casos com paredes leves. A Figura 4 e a Figura 5 apresentam a estimativa do pico de carga de aquecimento e resfriamento, respectivamente, também para os casos com paredes leves.

O caso 630 é o que possui a carga anual de resfriamento mais baixa porque além de as janelas estarem nas fachadas leste e oeste, elas possuem proteção solar. O caso 640 resultou em uma carga anual de aquecimento mais baixa porque, das 23h às 7h, o sistema de aquecimento é acionado somente se a temperatura for inferior a 10 °C, diferentemente dos outros casos em que o aquecimento é ligado quando a temperatura for menor que 20 °C. O caso 650 possui carga anual de aquecimento nula porque o sistema de aquecimento permanece desligado em tempo integral. Os resultados obtidos ficaram dentro da faixa de valores mínimos e máximos calculados pelos programas listados na ASHRAE Standard 140, com exceção da carga anual de aquecimento dos casos 620 e 630 que ficaram 0,2% e 2,9% abaixo do mínimo valor calculado pelos outros programas; e do pico de carga de aquecimento do caso 640 que ficou 11,9% acima do máximo valor calculado pelos demais programas.

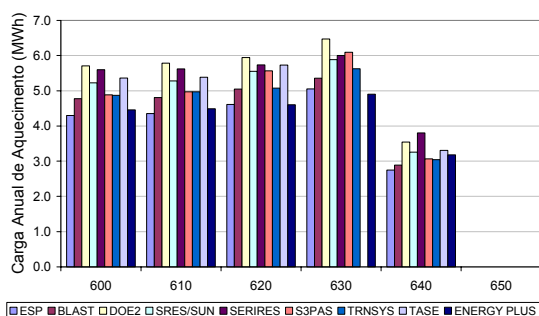


Figura 2. Carga Anual de Aquecimento

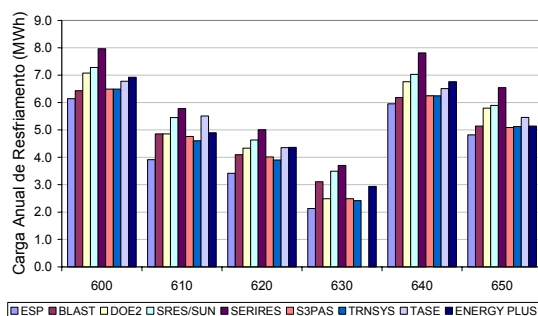


Figura 3. Carga Anual de Resfriamento

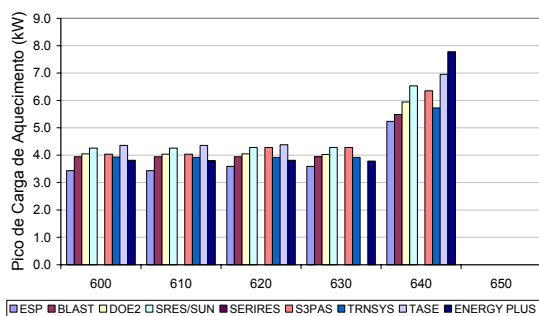


Figura 4. Pico de Carga de Aquecimento

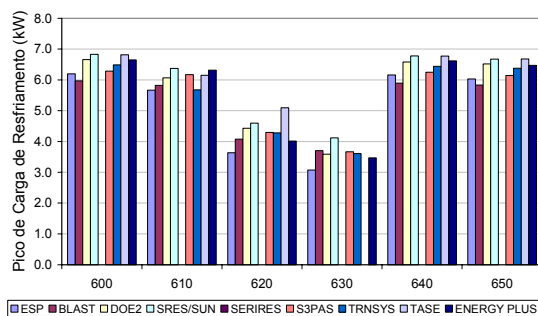


Figura 5. Pico de Carga de Resfriamento

4.2 High Mass (Paredes Pesadas)

Nestes casos foram substituídos apenas os materiais leves dos casos anteriores por materiais pesados, com exceção do caso 960 em que a edificação permaneceu com materiais leves e foi criada uma outra zona constituída de materiais pesados, desprovida de sistema de aquecimento e resfriamento. Novamente houve dificuldades em atribuir o nível de rugosidade dos materiais. Assim como no caso de paredes leves, foi atribuída alta rugosidade para os materiais externos das paredes e da cobertura e os demais permaneceram com rugosidade média.

A Figura 6 e a Figura 7 apresentam a estimativa da carga anual de aquecimento e resfriamento, respectivamente, para os casos com paredes pesadas. A Figura 8 e a Figura 9 apresentam a estimativa do pico de carga de aquecimento e resfriamento, respectivamente, também para os casos com paredes pesadas.

Observa-se que a simulação realizada no programa EnergyPlus forneceu bons resultados, porém a estimativa de carga anual de aquecimento para os casos 910, 920 e 930 ficaram, respectivamente,

3,9%, 3,9% e 6,3% abaixo dos valores mínimos calculados pelos demais programas listados no método BESTEST.

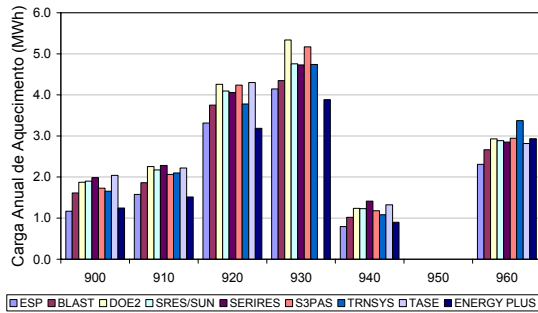


Figura 6. Carga Anual de Aquecimento

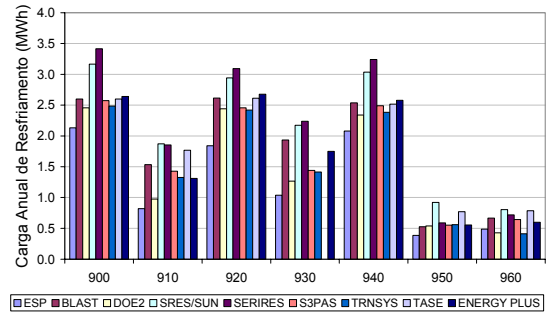


Figura 7. Carga Anual de Resfriamento

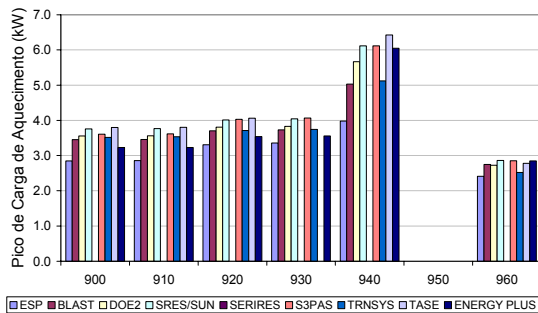


Figura 8. Pico de Carga de Aquecimento

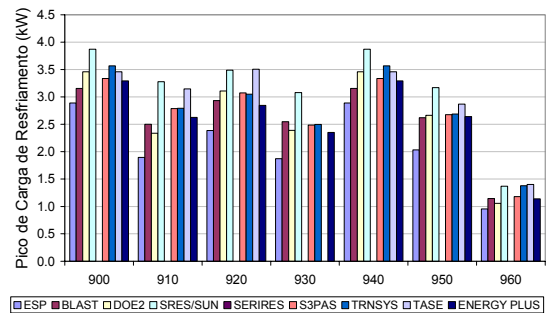


Figura 9. Pico de Carga de Resfriamento

4.3 Free-Float (Isento de Condicionamento de Ar)

Os casos *free-float* utilizam alguns casos de paredes leves e pesadas para simular a edificação sem os sistemas de aquecimento e resfriamento. Portanto, os dados de saída utilizados para se comparar os resultados deixam de ser a carga e o pico de aquecimento e resfriamento e passam a ser a temperatura registrada no interior da edificação. Apesar de o caso 960 não pertencer a este grupo, foi feita a análise da temperatura apenas da zona “ensolarada” da edificação juntamente com os casos *free-float*, já que ela é isenta de sistemas de aquecimento e resfriamento.

A Figura 10, a Figura 11 e a Figura 12 apresentam a estimativa da temperatura mínima, da temperatura máxima e da temperatura média anual, respectivamente, no interior da edificação.

Observa-se pelos gráficos que não houve grandes disparidades entre os resultados obtidos através do EnergyPlus e os demais programas citados na ASHRAE Standard 140. O pior resultado obtido encontra-se na temperatura média anual para o caso 900FF com 0,9% de diferença acima do maior valor calculado pelos demais programas listados na ASHRAE Standard 140.

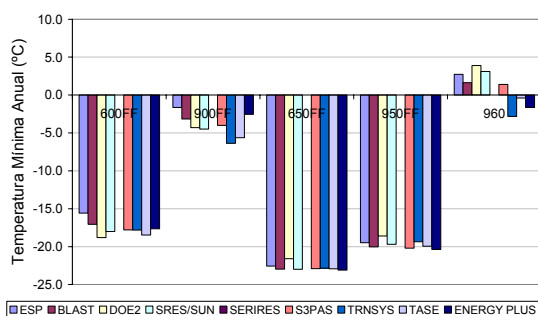


Figura 10. Temperatura Mínima Anual

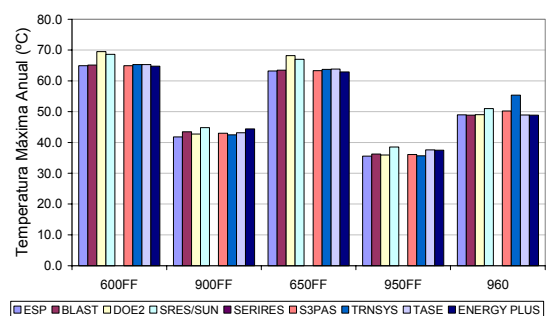


Figura 11. Temperatura Máxima Anual

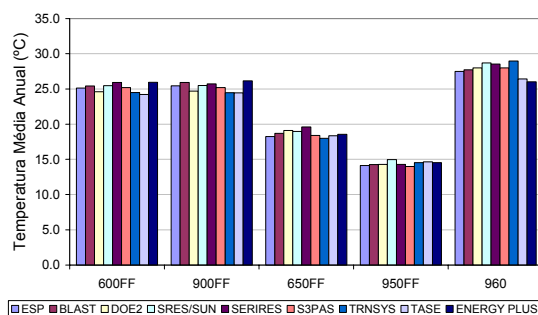


Figura 12. Temperatura Média Anual

4.4 In-Depth (Em Profundidade)

Na modelagem dos casos *in-depth*, a variável que gerou alguns erros nas simulações iniciais foi a parede de alta condutância, pois surgiram dúvidas se esta substituiria apenas as janelas ou toda a parede que continha as janelas. Depois de vários testes ficou constatado que a parede de alta condutância substituiria apenas as janelas, transformando as aberturas em janelas opacas. A ASHRAE Standard 140 fornece as propriedades desta parede que contém uma câmara de ar de 1,3 cm em seu interior. A absorvância à radiação em ondas curtas desta parede variam conforme estão voltadas para o interior ou para o exterior da edificação, por isso foi necessário criar duas paredes de alta condutância. Uma delas deve apresentar sua face voltada para o interior da edificação e a outra para o exterior, cada uma com sua determinada absorvância solar e absorvância à radiação em ondas curtas que variam de caso para caso. As figuras 13 a 24 apresentam as cargas anuais e os picos de carga de aquecimento e resfriamento para os casos *in-depth*.

A análise dos gráficos mostra que na maioria dos casos os resultados das simulações realizadas no programa EnergyPlus ficaram dentro da faixa de valores calculados pelos demais programas citados na ASHRAE Standard 140, indicando que os modelos foram bem representados no programa analisado. O caso 250 obteve carga anual de resfriamento 8,5% maior do que o valor máximo calculado pelos programas citados no método BESTEST (Figura 14). Os casos 300 e 310 obtiveram carga anual de aquecimento 2,4% e 6,1% menores do que os valores mínimos calculados pelos demais programas (Figura 17). Alguns casos, como o 195, o 200 e o 215, possuem apenas um resultado como base de comparação, pois não puderam ser representados por alguns programas, tornando o critério de avaliação para estes casos menos rigoroso.

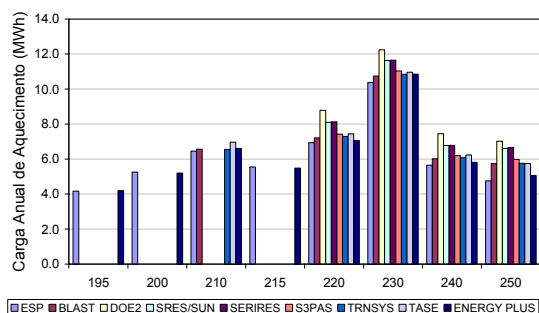


Figura 13. Carga Anual de Aquecimento

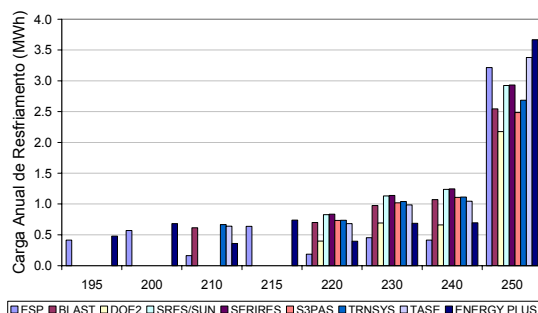


Figura 14. Carga Anual de Resfriamento

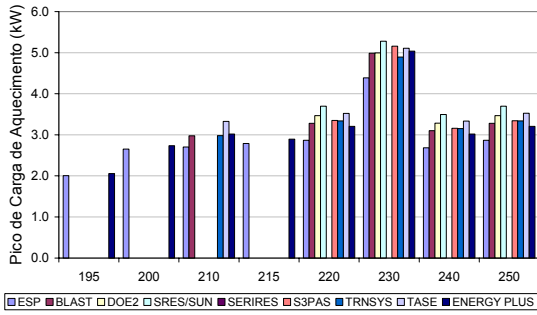


Figura 15. Pico de Carga de Aquecimento

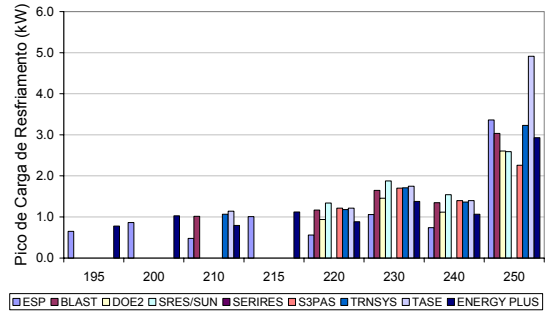


Figura 16. Pico de Carga de Resfriamento

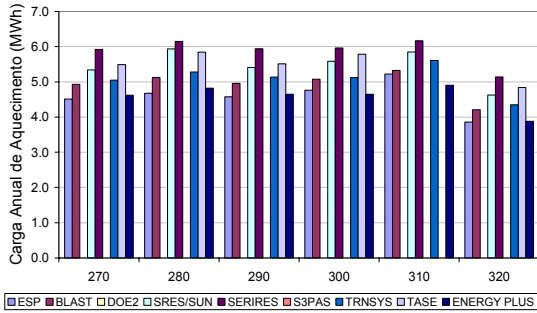


Figura 17. Carga Anual de Aquecimento

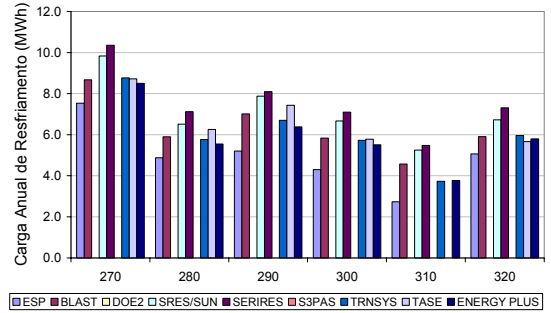


Figura 18. Carga Anual de Resfriamento

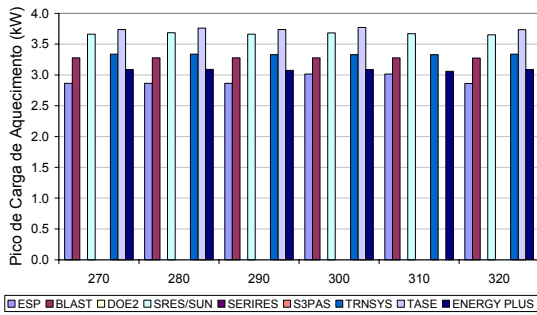


Figura 19. Pico de Carga de Aquecimento

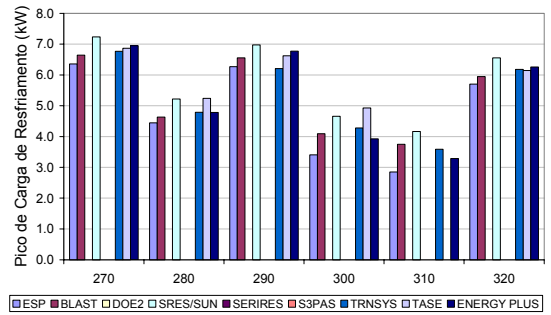


Figura 20. Pico de Carga de Resfriamento

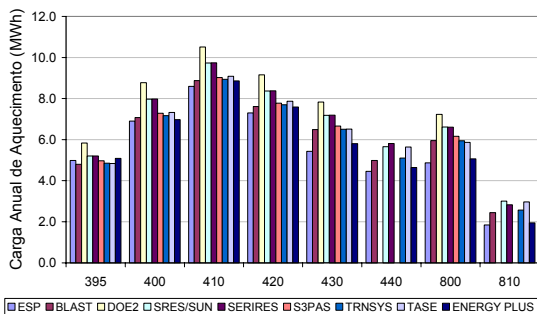


Figura 21. Carga Anual de Aquecimento

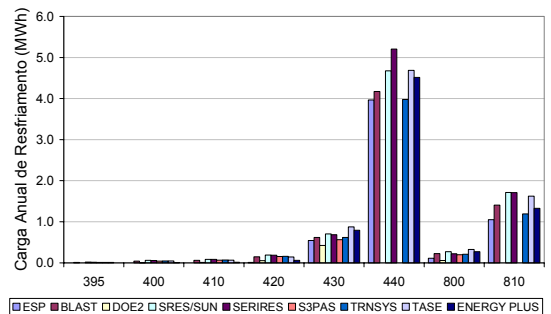


Figura 22. Carga Anual de Resfriamento

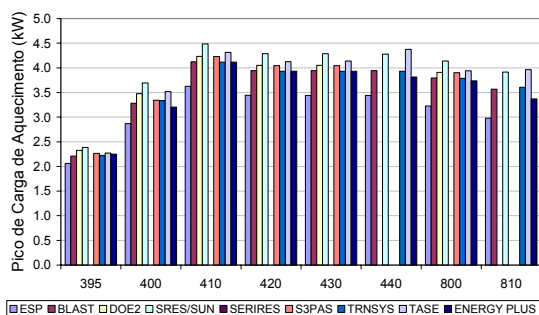


Figura 23. Pico de Carga de Aquecimento

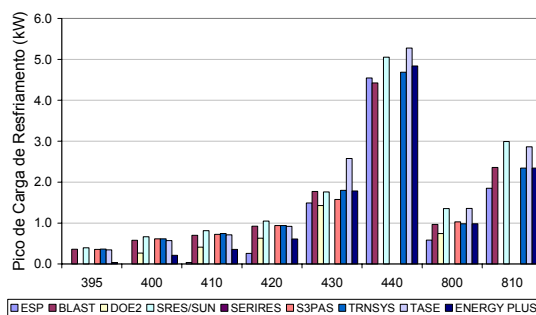


Figura 24. Pico de Carga de Resfriamento

5. CONCLUSÕES

As simulações dos 40 casos apresentados pela ASHRAE Standard 140 através do EnergyPlus foram de fundamental importância para se obter uma melhor compreensão de como o programa funciona. A norma americana apresenta em seus diferentes casos inúmeras informações sobre a edificação: as propriedades dos materiais, as condições do ambiente, cargas internas, condições de controle da temperatura interna, entre outras; possibilitando que um grande número de programas utilizem-na para a realização de testes e uma possível validação.

A utilização do método BESTEST no programa EnergyPlus mostrou-se eficaz no treinamento do usuário. O detalhamento dos dados de entrada apresentado pela ASHRAE Standard 140 ajudou muito na modelagem de seus exemplos. Da mesma forma, a disponibilidade dos dados de saída de outros programas permite que o usuário analise rapidamente a eficiência do programa ou do modelo simulado. Essa experiência mostrou-se mais bem sucedida do que iniciativas anteriores, quando o usuário começava a utilizar o programa de simulação através da modelagem de um caso hipotético, sem resultados conhecidos, ou através da simulação de uma edificação real. Mas neste caso, além do tempo dedicado ao estudo do programa, grande parte da atenção era voltada à medição dos parâmetros de desempenho da edificação, necessários para aferir os resultados fornecidos pelo programa.

O clima frio e seco de Denver, com altas variações diárias de temperatura foi muito bem escolhido pela ASHRAE Standard 140, tendo em vista que esta norma é aplicada nos Estados Unidos, onde este clima é um dos mais extremos que ocorre por lá. Já no Brasil, onde o clima é predominantemente quente e úmido, a aplicação desta norma pode não ser adequada.

Na seqüência deste trabalho, os casos aqui apresentados serão simulados com arquivos climáticos de cidades brasileiras. Os resultados poderão ser usados para validação de programas no Brasil ou então, auxiliar no desenvolvimento de uma norma para validação de programas de simulação no país.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **ANSI/ASHRAE Standard 140-2001:** Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs. Atlanta, 2001. 91p.
- CRAWLEY, D. B. et al. EnergyPlus: Energy Simulation Program. **ASHRAE Journal**. Atlanta: ASHRAE, 2000, v. 42, p. 49-56.
- DEPARTMENT OF ENERGY. Building Energy Software Tools Directory. Disponível em: < http://www.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/>. Acesso em: 27 nov. 2004.
- JUDKOFF, R.; NEYMARK, J. The BESTEST Method for Evaluating and Diagnosing Building Energy Software. In: ACEEE SUMMER STUDY ON ENERGY EFFICIENCY IN BUILDINGS, 1998. **Proceedings...** Monterey - California (EUA), 1998. v.5, p. 175-190.
- LAMBERTS, R., THOMÉ, M. R. V., LOMARDO, L., MASCARENHAS, A. C. Retrofit. Demonstration in Brazilian Commercial and Public Buildings In: ACEEE SUMMER STUDY ON ENERGY EFFICIENCY IN BUILDINGS, 1998. **Proceedings...** Monterey - California (EUA), 1998. v.5. p. 227-238.