



COMPARAÇÃO DE SOFTWARES DE ANÁLISE TÉRMICA DE EDIFICAÇÕES :
RESULTADOS PARA UM PROJETO PADRÃO E INTERFACE PROGRAMA -USUÁRIO

Rauber, D.L., van Bellen, II.M., Schuch, L.M.S., Narciso Filho, P.A.L. e
Lamberts, R.

Grupo de Análise Térmica de Edificações
Universidade Federal de Santa Catarina
Tel: 0482-319397 Fax : 0482-341519 Caixa Postal 476
Florianópolis, S.C. 98040-900 Brasil

RESUMO

Os programas computacionais de simulação térmica são ferramentas que auxiliam no projeto de edificações. Apresentam-se análises comparativas entre três diferentes programas visando verificar a interface programa usuário bem como comparar os resultados de cada programa.

ABSTRACT

Thermal. Simulation Softwares are tools developed to help building designers. A comparative analysis for three different softwares is presented, seeking to verify the user interface, as well as a comparison of the results for the different softwares.

INTRODUÇÃO

A aplicação de computadores no design de construções têm crescido consideravelmente nos últimos anos. A utilização destas ferramentas é especialmente importante no aspecto energético-ecológico, por estimar gastos com condicionamento de ar e permitir uma otimização da edificação neste sentido. Seguindo esta tendência, vários programas de simulação de desempenho térmico de edificações foram implementados.

No desenvolvimento dos modelos de simulação, muitas hipóteses simplificativas são adotadas, devido à complexidade dos fenômenos envolvidos. Tais hipóteses implicam em um distanciamento da situação real, podendo vir a comprometer a precisão dos resultados apresentados, fazendo-se portanto mister a validação dos modelos.

Segundo Irving [1], há três técnicas de validação para estes modelos:

- verificação analítica;
- comparação entre modelos;
- validação empírica.

Seguindo-se a linha de comparação entre modelos, estudam-se aqui 3 diferentes softwares, todos baseados no método da admitância: ARCHIPAK (versão 1.0) desenvolvido por Steven Szokolay da Universidade de Queensland - Austrália, THEDES (versão 3.0) desenvolvido por Miguel

Sattler do CIENTEC Porto Alegre R.S., e ARQUITROP (versão 3.0) desenvolvido por Maurício Roriz e Admir Basso da Universidade Federal de São Carlos.

Na comparação destes Softwares de simulação estudam-se os resultados frente a projetos padrão e verificam-se os problemas na interface programa-usuário. Em um trabalho futuro pretende-se comparar os resultados dos programas com medições reais.

Cabe salientar que, devido a ausência de medições reais os resultados aqui apresentados não são suficientes para quaisquer conclusões sobre a precisão dos softwares.

O projeto padrão aqui utilizado consiste em uma casa popular térrea simulada para um dia real com alta radiação solar (17 de Janeiro de 1,991) em Florianópolis. A planta do projeto padrão é mostrada na figura 1 e os dados meteorológicos e propriedades dos materiais encontram-se nas tabelas 1 e 2.

Em cada software a Interface programa usuário foi estudada através da comparação dos resultados do mesmo projeto obtidos por diferentes usuários. Os resultados de um usuário do SITERPA foram comparados com os dos autores dos softwares (Thede5 o Arqitrop).

Os dados de radiação solar foram obtidos em microvoltagem utilizando um sistema de aquisição de sinais HP 3497A, ligado a um micro PC-XT por uma placa de comunicação GBIB. A radiação direta é medida por um piranômetro Kipp & Zonnen e o valor corrigido utilizando fator desenvolvido por K. Dehrie. Os dados de temperatura e umidade foram obtidos na estação meteorológica do aeroporto Hercílio Luz, Florianópolis.

Tabela 1 - Dados climáticos referentes a 1,7 de janeiro de 1991 em Florianópolis.

HORA	TEMP. (°C)	UMID. REL(%)	RAD SOL (Wh/m ²)
01	21.5	85	0
02	21.2	87	0
03	20.9	88	0
04	20.6	90	0
05	20.0	95	3
06	19.7	96	5
07	19.2	98	119
08	20.0	95	355
09	21.3	87	550
10	22.7	79	794
11	23.9	74	950
12	24.7	70	1057
13	24.8	70	1089
14	25.1	69	1050
15	24.6	71	938
16	24.8	70	772
17	23.9	74	562
18	23.8	75	329
19	23.1	77	96
20	22.0	83	3
21	21.7	84	0
22	20.9	88	0
23	20.3	93	0
24	20.0	93	0

SIMULAÇÃO

Devido aos diferentes tipos de dados, alguns parâmetros do projeto padrão foram mudados em um ou outro programa que a edificação fosse simulada em iguais condições em todos os programas:

- No programa ARQUITROP estabeleceu-se uma área de ventilação = 4.9 m², para que número de trocas de ar fosse = 10 tr/h;
- Devido à impossibilidade de entrada com os dados de radiação medidos, utilizou-se no programa ARQUITROP um índice de nebulosidade = 0 para que a radiação calculada pelo programa fosse equivalente em todos os programas;
- programa THEDES não prevê a inexistência de componentes internos, então a simulação foi feita com um componente interno fictício, com as seguintes características:
 - area - 0 m²
 - resistência sup. int. - 0.01.23 W/m²K

Nº carnadas - 0;

Na entrada de dados referente à camada de ar da cobertura, entrou-se CQM espessura e condutividade fictícias para se obter a resistência apropriada rio programa THEDES.

Tabela 2 - Propriedades dos Materiais

PROJETO PADRÃO

Cidade: Florianópolis-S.C.
 Latitude: 27°35' Longitude: 48°35'
 Vento dominante: NE
 Data: 17 de Janeiro
 Ventilação: N=0,10,17 (N =número de renovações por hora)
 Ocupação: 0 pessoas
 Janelas: abertas e fechadas (Conforme o nº de renovações de ar)

Componentes

α: absorvidade e: espessura (m)
 ρ: refletividade d: densidade (kg/m³)
 τ: transmissividade λ: condutividade (W/m.K)
 c: calor específico (J/kg.K)

Cobertura

-Telha de cimento amianto escurecida.
 e=0.006 ; d=1600 ; λ =0.4 ; c=1000 ; α =0.8

-Forro de madeira
 e=0.010 ; d=600 ; λ=0.14 ; c=1200

Parede

-Tijolo maciço aparente
 e=0.100 ; d=1650 ; λ=0.81 ; c=800 ; α=0.6

Janela

-Armação de madeira (20% da área de janela)
 d=600 ; λ=0.14 ; c=1200

- Vidro
 c=0.003 ; α=0,07 ; τ=0.85 ; ρ=0,08

Porta

-Madeira
 c=0.020 ; d=600 ; λ=0.14 ; c=1200 ; α=0,6

Piso

-Concreto
 e= 0.050 ; d=2000 ; λ=1.13 ; c=1000 ; α=0.5

Solo Argiloso

d=1500 ; λ=1.1 ; c=1000
 Albedo = 0.2

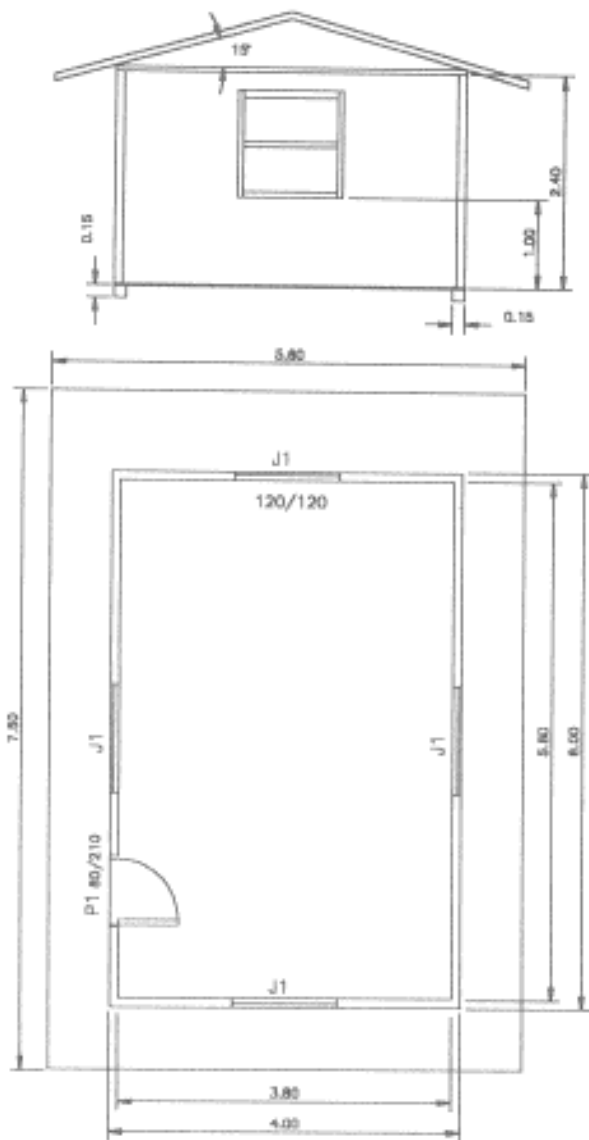


Figura 1 - Planta Baixa Projeto Padrão

RZSULTADOS DAS SIMULAÇÕES

A seguir são apresentados os resultados das simulações em cada programa para cada usuário e alguns gráficos comparativos destes resultados.

Tabela 3a - Temperatura extremas para simulação com ventilação nula.

usuário	ARCHIPAK	ARQUITROP	THEDES
	T _{máx} T _{mín}	T _{máx} T _{mín}	T _{máx} T _{mín}
1	37.7 23.9	34.6 23.0	37.0 23.9
2	42.6 24.4	34.6 23.0	37.0 24.0
3	37.7 23.9	35.7 23.1	36.3 23.6
4	37.7 23.9	34.6 23.0	37.1 23.9

Tabela 3b - Temperatura extremas para simulação com 10 trocas de ar/hora.

usuário	ARCHIPAK	ARQUITROP	THEDES
	T _{máx} T _{mín}	T _{máx} T _{mín}	T _{máx} T _{mín}
1	31.1 21.1	29.3 20.9	30.7 21.1
2	33.5 21.3	29.5 21.0	28.9 21.2
3	31.1 21.1	30.0 21.0	30.5 21.1
4	31.1 21.1	29.5 21.0	29.9 20.8

Tabela 3c - Horário de ocorrência de temperaturas extremas.

Vent	ARCHIPAK	ARQUITROP	THEDES
	T _{máx} T _{mín}	T _{máx} T _{mín}	T _{máx} T _{mín}
0 tr/h	13h 04h	12h 04h	16h 07h
10 tr/h	13h 04h	13h 04h	15h 08h

COMPARAÇÃO ENTRE OS PROGRAMAS

Os programas comparados apresentaram diferenças nas temperaturas internas resultantes da simulação e principalmente nos fluxos de calor através dos componentes da edificação. Entre elas pode-se destacar:

quanto à temperatura

Para uma situação de, ventilação nula, como mostra a figura 2, os picos de temperatura dos programas ARCHIPAK e, THEDES se aproximam, mas ocorrem em horários diferentes, estando os resultados do THEMES atrasados duas horas em relação ao ARCHIPAK. No programa ARQUITROP as temperaturas são mais baixas durante todo o dia, com horário de pico coincidindo com os do ARCHIPAK.

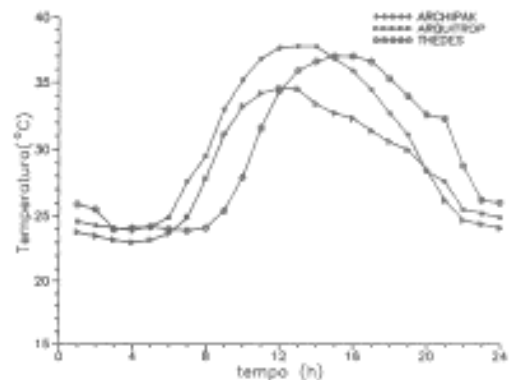


Figura 2 - Temperaturas internas do ar - ventilação nula - usuário 1

Para uma situação de 10 trocas de ar por hora (Figura 3) estas características também se verificam, porém as temperaturas são mais próximas entre os programas.

O programa ARQUITROP apresenta amplitude de temperaturas menores.

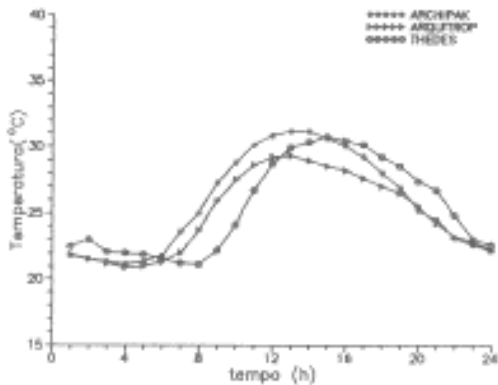


Figura 3 - Temperaturas internas do ar ventilacao=10 tr/h - usuario 1

Quanto ao fluxo de calor

Os fluxos de calor por elemento do projeto apresentam valores bastante discordantes. As figuras 4 a 12 mostram os resultados obtidos para cada elemento. As figuras 12 e 13 mostram o fluxo de calor total para ventilação nula e para 10 trocas de ar respectivamente.

Através das paredes

O fluxo de calor através das paredes está representado na figura 4 (ventilação nula) e figura 5 (10 trocas de ar). O programa THEDES apresenta ganhos maiores que os outros programas com valor de máximo as 20 horas. O horário de máximo para os outros programas ocorre as 1.7 horas para o ARCHIPAK e 1.8 horas para o ARQUITROP,

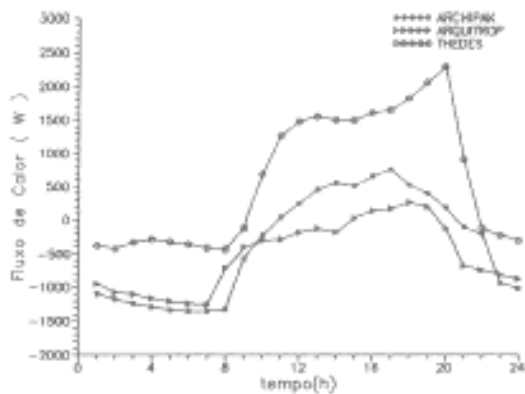


Figura 4 - Fluxo de calor através das paredes da edificação ventilacao nula - usuario 1

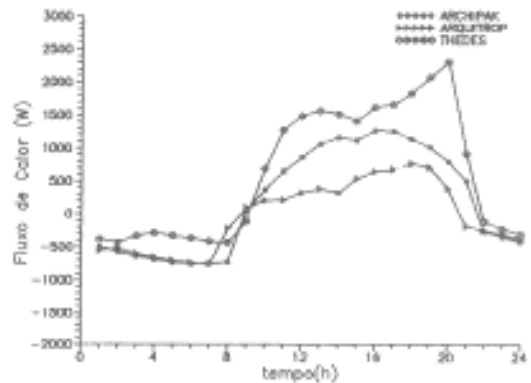


Figura 5 - Fluxo de calor através das paredes da edificação ventilacao=10 tr/h - usuario 1

Através das janelas

O fluxo de calor através das janelas está representado nas figuras 6 e 7. Nos programas ARCHIPAK e ARQUITROP os ganhos de calor iniciam as 6 e as 8 horas da manhã. No programa THEDES os ganhos iniciam a partir das 10 horas atingindo um máximo as 24 horas. Isto demonstra um retardo na transmissão de calor bem maior que nos outros programas.

Para o programa ARQUITROP os horários de máximo ganho de calor por cada janela são; 15 horas para a janela Norte e 10 horas para a Sul. Para as janelas Leste e Oeste os horários são 11 e 19 horas respectivamente. No programa THEDES os pontos de máximo ganho de calor por orientação da janela são; 15 horas para a janela Norte, 1,3 horas para a Leste, 16 horas para a Sul, e 21 horas para a janela Oeste. O programa ARCHIPAK tem para a janela Norte, e janela Sul um máximo às 14 horas. A janela Leste tem máximo ganho às 11 horas e a Oeste às 16 horas.

Nas simulações no programa ARQUITROP, os vidros da fachada Sul apresentam perda de calor durante o período diurno com ganhos no período noturno.

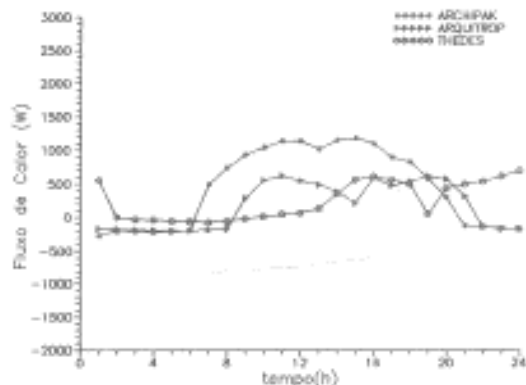


Figura 6 - Fluxo de calor através das janelas da edificação ventilacao nula - usuario 1

No programa THEDES ocorre ganho de calor pelas janelas durante o período noturno, demonstrando um retardo na transmissão de calor bem maior que nos outros programas.

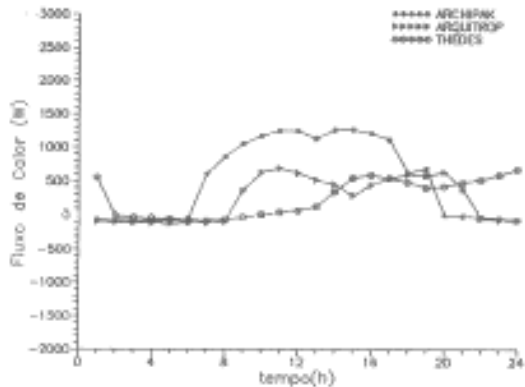


Figura 7 - Fluxo de Calor através das janelas da edificação ventilacao= 10 tr/h - usuario 1.

Através da cobertura

As figuras 8 e 9 mostram o fluxo de calor através da cobertura para os diferentes programas. Os fluxos por este elemento apresentam, um Comportamento semelhante entre os programas. Os pontos de máximo ganho ocorrem as 12 horas para o programa ARQUITROP e ARCHIPAK e no programa THEDES o ponto de fluxo máximo ocorre às 13 horas.

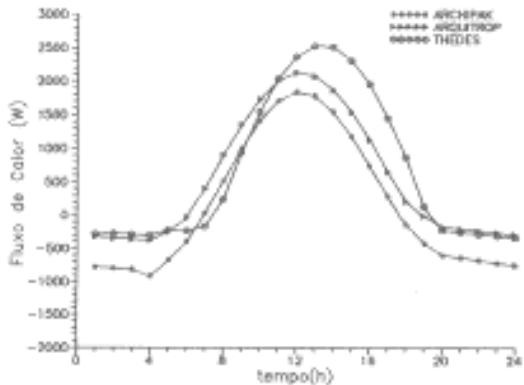


Figura 8 - Fluxo de Calor através da cobertura da edificação ventilacao nula - usuario 1.

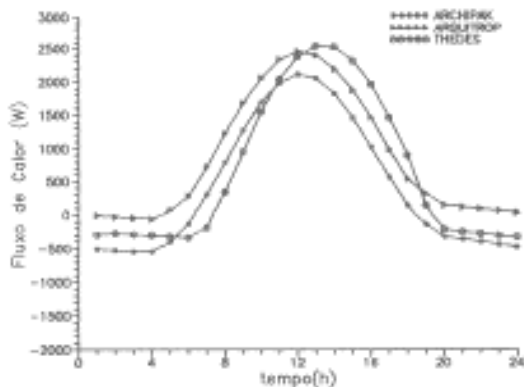


Figura 9 - Fluxo de Calor através da cobertura da edificação ventilacao=10 tr/h - usuario 1.

Através do piso

Como mostram as figuras 10 e 11, os ganhos são praticamente nulos no THEDES, e perdas constantes nos programas ARQUITROP e ARCHIPAK. Com ventilação nula as perdas são maiores do que com ventilação - 10 tr/h no programa ARQUITROP e ARCHIPAK.

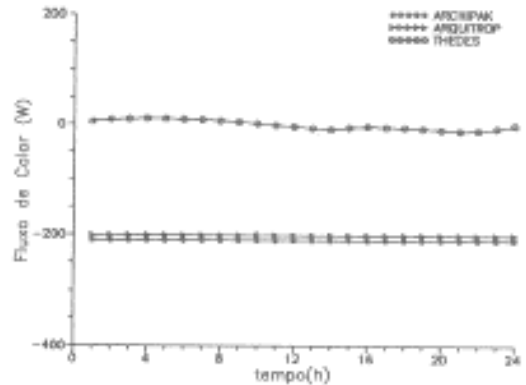


Figura 10 - Fluxo de Calor através do piso da edificação ventilacao nula - usuario 1

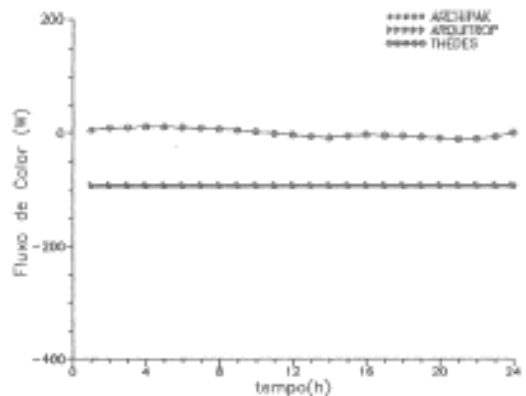


Figura 11 - Fluxo de Calor através do piso da edificação ventilacao=10 tr/h - usuario 1.

Por ventilação

Nos programas ARCHIPAK e ARQUITROP há perdas durante todo o dia, apresentando-se estas maiores nos horários de maior temperatura interna. O programa THEDES apresenta ganhos durante o dia e perdas a noite (Figura 12). Durante o dia temos temperatura interna mais alta do que a externa e portanto esperava-se que a ventilação significasse perda de calor.

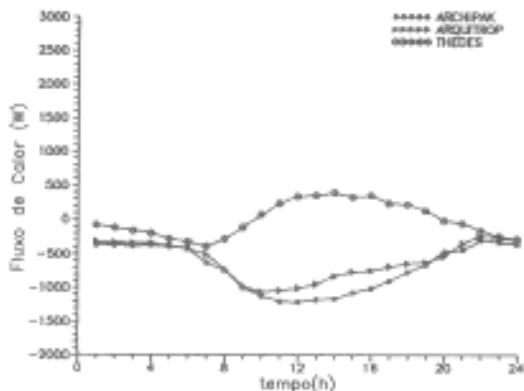


Figura 12 - Transferência de Calor por ventilação (10tr/h) usuário 1

Fluxos Totais (Paredes + janelas + piso + cobertura + ventilação)

Os fluxos de calor (Figuras 13 e 14) são bastante parecidas, porém com ganhos maiores no programa THEDES. Os programas ARQUITROP e ARCHIPAK apresentam um balanço entre ganhos e perdas de calor enquanto o programa THEDES apresenta ganhos maiores que as perdas. A tabela 4 apresenta os balanços dos três programas.

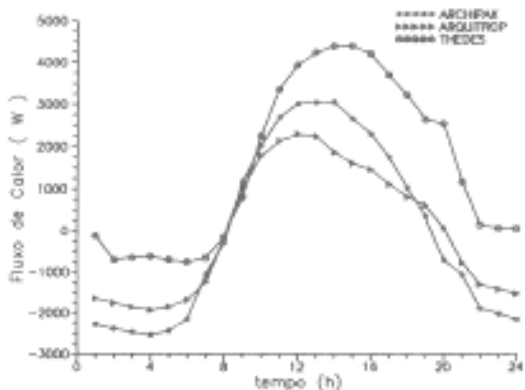


Figura 13 - Fluxos Totais de Calor com ventilação nula usuário 1

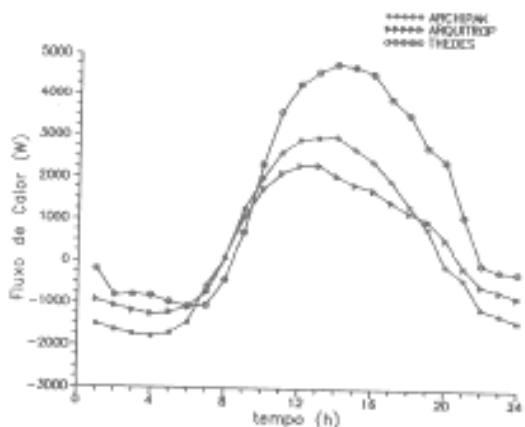


Figura 14 - Fluxos Totais de Calor com ventilação=10 tr/h usuário 1

Tabela 4 - Balanços de Fluxo de Calor.[Wh]

Vent.	ARCHIPAK		ARQUITROP		THEDES	
	0tr	10tr	0tr	10tr	0tr	10tr
Ganhos	23139	24208	17085	19551	43359	46050
Perdas	23363	14509	17172	9757	6472	9161
Totais	-224	9699	-87	9794	36887	36889

INTERFACE PROGRAMA-USUÁRIO

Programa ARCHIPAK

A figura 15 mostra uma boa concordância entre 3 usuários ao simularem o projeto padrão. o desvio nos resultados da simulação pelo usuário 2 se deve a escolha do componente telhado no banco de componentes. O usuário 2, ao escolher o componente, optou por um elemento com transmitância 2.70 W/m2K e admitância de 2.72 W/m2K pelo fato deste componente ter a inclinação correta. Os outros usuários consideram o material correto (transmitância 2.58 W/m2K e admitância 2.67 W/m2K) porém com inclinação falsa; 300. Este detalhe explica o fato de ocorrerem temperaturas mais altas para o usuário 2.

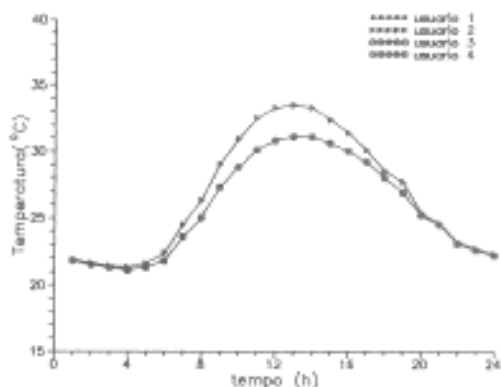


Figura 15 - Temperatura interna do ar p/ diferentes usuários ARCHIPAK

Programa ARQUITROP

A simulação do projeto padrão no programa ARQUITROP pelos diferentes usuários também mostrou uma boa concordância. o resultado é mostrado na figura 16. O pequeno desvio de temperatura observado para o usuário 3 deve-se a escolha da cor da parede. Enquanto os outros usuários optaram pela opção 2, dentro da escala de cores proporcionada pelo programa referente as cores verde e cinza clara, o usuário 3 escolheu a parede de cor vermelha a marrom (número 4). A escolha desta cor leva a uma maior absorvidade da parede e com isto a uma maior temperatura interna.

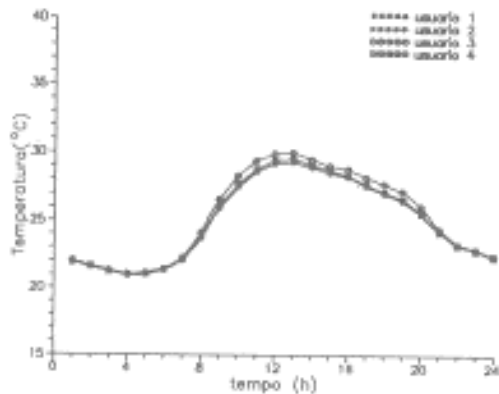


Figura 16 - Temperatura internas do ar p/ diferentes usuarios ARQUITROP

Programa THEDES

O programa THEDES apresenta boa concordância para os usuários 1 e 3 (Figura 17) A distribuição de temperatura para o usuário 4 mostra temperaturas mais baixas porém se deve a escolha de um componente janela com menor área. Na sua entrada de dados, quando requisitada a área de janela, o programa refere-se a área de esquadria estando o vidro do componente janela incluso no item áreas envidraçadas. As temperaturas mais baixas obtidas pelo usuário 2 deve-se a especificação do componente telhado. O programa não especifica a ordem de entrada das camadas do componente. O usuário 2 considerou na entrada uma disposição de camadas do ambiente externo para o interno enquanto que os outros usuários consideraram o inverso.

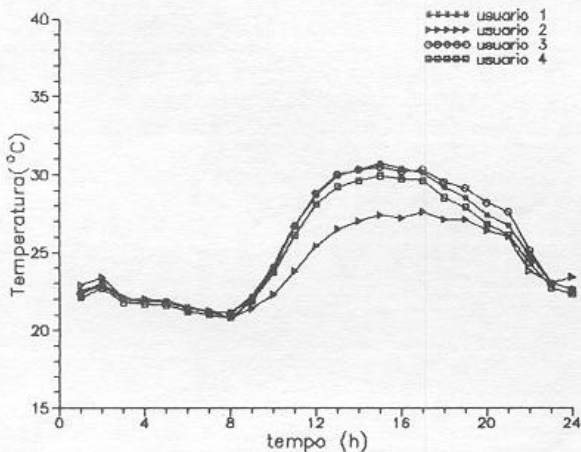


Figura 17 - Temperatura internas do ar p/ diferentes usuarios THEDES

COMPARAÇÃO AUTOR-USUÁRIO

THEDES

Na figura 18 estão representadas as temperaturas internas do ar para uma situação de 17 trocas de ar por hora quando simuladas

pelo usuário 1 e pelo autor do programa (Miguel Sattler).

Os resultados obtidos pelo autor e os obtidos pelo usuário não apresentam diferenças significativas.

Os dados de entrada apresentam diferenças apenas nas dimensões dos componentes, resultado de diferentes interpretações e considerações em relação a planta baixa.

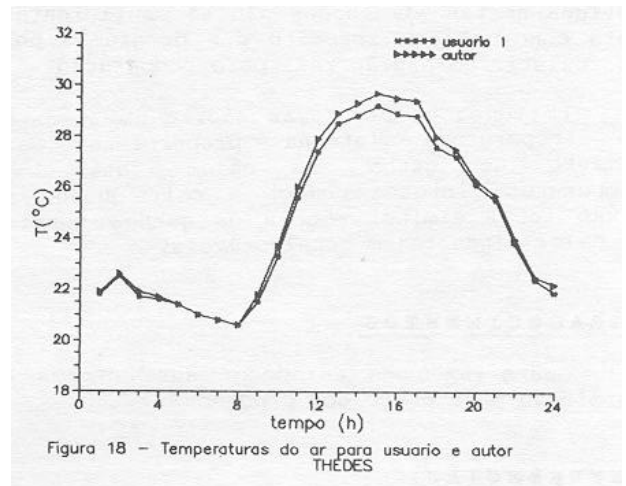


Figura 18 - Temperaturas do ar para usuario e autor THEDES

ARQUITROP

Os resultados obtidos pelos autores (Maurício Roriz e Admir Basso) e pelo usuário 1 apresentam algumas diferenças como pode ser visto na figura 19. Estas diferenças são resultado dos diferentes dados de entrada de cada usuário. As principais são:

- a) cor do telhado: usuário 1. e Basso = 5
Roriz = 4
- b) área envidraçada: usuário 1 e Basso = 1.15m²/fachada
Roriz = 1.44m²/fachada
- c) cor da parede: usuário 1. e Roriz=3
Basso = 4
- d) volume da edificação: usuário 1 e
Roriz = 57.6m³
Basso = 52.9m³

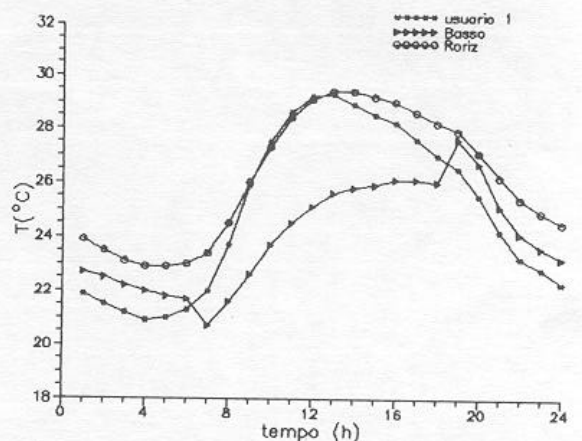


Figura 19 - Temperaturas do ar para usuario e autores ARQUITROP

CONCLUSÃO

Os resultados das simulações, embora com programas baseados no mesmo modelo (admitância), mostraram algumas discordâncias.

A influência de cada elemento no ganho de calor total é diversa, sendo ponto em comum a maior influência da cobertura da edificação.

Vale novamente lembrar que os resultados obtidos nestas simulações não são suficientes para conclusões a respeito dos programas por não existir um padrão real para comparação.

Em todos os programas ocorre um aumento da temperatura interna proporcional ao aumento de ganho de calor total. A temperatura interna começa a cair quando o fluxo diminui embora os ganhos totais de calor ainda sejam consideráveis.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer aos autores a permissão para o uso dos programas.

REFERÊNCIAS

- [1] A. D Irving, Validation of Dynamic Thermal Models, *Energy and Buildings* 10(1988) 213 - 220.
- [2] T. J. Wiltshire and A. J. Wright, Advances in Building Energy Simulation in the U.K. - The Science and Engineering Research Council's Programme, *Energy and Buildings* 10(1988) 175 - 183
- [3] Architrop - Manual do usuário
- [4] Casamo-Clim - Manuel d'utilisation 1989
- [5] Archipak - User's guide