



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
Campus Universitário – Trindade
Florianópolis – SC – CEP 88040-900
Caixa Postal 476

LabEEE

Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
<http://www.labeee.ufsc.br>
Telefones: (48) 3721-5184 / 3721-5185

O MÉTODO DO BALANÇO TÉRMICO ATRAVÉS DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NO PROGRAMA *ENERGYPLUS*

Ana Paula Melo, M. Eng.
Roberto Lamberts, PhD.

Florianópolis, Setembro de 2008.

O MÉTODO DO BALAÇO TÉRMICO ATRAVÉS DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NO PROGRAMA ENERGYPLUS

Elaborado por:

Ana Paula Melo, M. Eng.

apaula_melo@labeee.ufsc.br

Roberto Lamberts, PhD.

lamberts@labeee.ufsc.br

Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

Campus Universitário – Trindade

Florianópolis – 88040-900

<http://www.labeee.ufsc.br>

Telefones: (48) 3721-5184 / 3721-5185

INFORMAÇÕES GERAIS

O balanço térmico tem como objetivo auxiliar o usuário a analisar os ganhos e as perdas de calor através dos componentes opacos, originados para cargas internas e cargas para o envelope. A elaboração deste material baseou-se nos resultados de simulações computacionais e nos *documentos Input Output Reference* e *Engineering Reference*, fornecidos pelo programa *EnergyPlus*. O método é apresentado de forma clara e objetiva, descrevendo cada *output* necessário para a análise dos ganhos e perdas nas edificações.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	5
2. O PROGRAMA COMPUTACIONAL <i>ENERGYPLUS</i>.....	5
3. BALANÇO TÉRMICO	6
<i>3.1 Relatórios de saída</i>	8
4. EXEMPLO	9

1. INTRODUÇÃO

Durante muitos anos, diversos métodos vêm sendo desenvolvidos para explicar as características do consumo de energia das edificações. Muitos destes métodos calculam as perdas da edificação, a influência da temperatura externa e da radiação solar no consumo das edificações, como é o caso dos métodos PRISM (Princeton Scorekeeping Method), SLR (Solar Ratio Method), H-m Method. Mas, a utilização destes métodos não é apropriada para edificações onde as cargas de aquecimento e resfriamento contribuem para o consumo de energia. Bauer e Scartezini (1998) desenvolveram o Método Etha, o qual considera os ganhos internos, como os ganhos solares, podendo ser utilizado para caracterizar os ganhos com o sistema de aquecimento e resfriamento.

Em 1991, o SSPC (*Standing Standard Project Committee*) decidiu que a nova versão da *ASHRAE Standard 90.1* deveria economizar mais energia quando comparada com a versão anterior, sendo que o critério adotado seria baseado na economia. Com base nesta decisão, McBride (1995) desenvolveu uma relação escalar baseada em um multiplicador para a energia economizada referente a fatores econômicos como o número de anos, custos e área de interesses. Adotou-se o critério de custo efetivo para o proprietário da edificação, onde o balanço será alcançado entre todos os componentes que compõem a edificação. O balanço significa que cada seção da *Standard 90.1* contribui para a eficiência da edificação.

As características construtivas de uma edificação são de extrema importância para que esta seja energeticamente eficiente. Dessa forma, empresas e projetistas têm buscado um maior conhecimento das interações térmicas que ocorrem em edificações para que os seus projetos produzam edificações menos dispendiosas e mais confortáveis aos usuários.

2. O PROGRAMA COMPUTACIONAL *ENERGYPLUS*

Para o desenvolvimento desta metodologia utilizou-se o programa computacional *EnergyPlus* (versão 2.1.0). Este programa calcula a carga térmica necessária para aquecer ou resfriar um ambiente. Este cálculo é baseado no comportamento térmico e energético da edificação, no clima que a edificação está inserida e nos valores de cargas térmicas encontradas.

O *EnergyPlus* possui diversas características que o destacam em relação a outros programas de simulações existentes, quais sejam: i) cálculo da energia necessária para resfriar ou aquecer um ambiente, ii) condução de calor transiente

através dos elementos construtivos, iii) modelo de conforto térmico, iv) técnica de solução baseada no balanço de energia para as cargas térmicas prediais, v) fornece dados de saída de cada componente inserido no programa, possibilitando analisar a influência de cada parâmetro individualmente de acordo com o intervalo definido pelo usuário, vi) analisar a influência dos parâmetros em diversos tipos de clima, uma vez que o programa possui uma biblioteca com um grande número de arquivos climáticos, entre outras.

O balanço de energia para cada elemento da edificação no programa *EnergyPlus*, envolve os processos de condução, convecção e de radiação os quais ocorrem nas superfícies internas e externas. Os ganhos de calor internos com o sistema de iluminação, sistema de condicionamento de ar, equipamentos e pessoas são de extrema importância para o cálculo do balanço térmico na edificação. As superfícies interagem com o balanço térmico do ar da zona por convecção. O balanço térmico do ar envolve o processo de convecção em relação às cargas internas, ao ar que o sistema de condicionamento de ar insere na zona e ao sistema de ventilação e infiltração presentes na zona.

3. BALANÇO TÉRMICO

A metodologia utilizada para analisar os ganhos e perdas de calor é baseada no cálculo do fluxo de calor por convecção entre as temperaturas internas de cada superfície (cobertura, paredes, piso e janelas) com a temperatura do ambiente no qual está inserida (Figura 1).

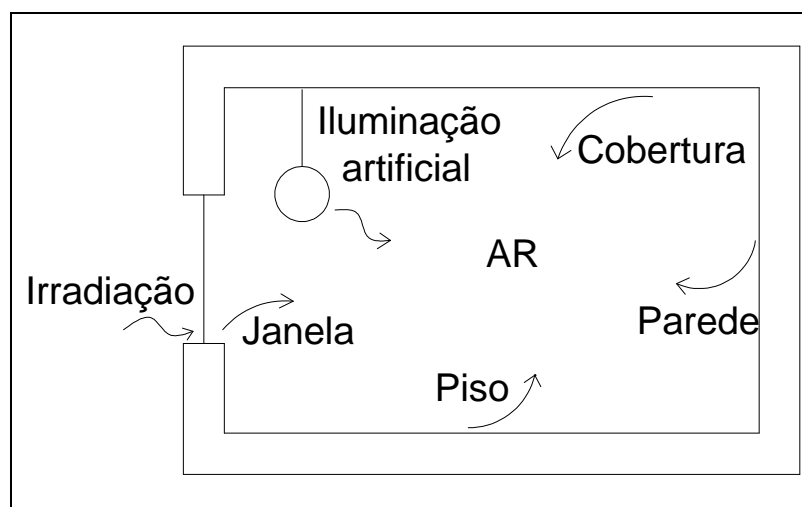


Figura 1. Balanço térmico.

Através dos relatórios de saída do programa EnergyPlus é possível analisar o calor ganho/perdido referente a cada superfície e o ganho por convecção referentes ao sistema de iluminação, equipamentos e pessoas; além de fornecer o valor referente ao ganho ou perda com a infiltração de hora em hora.

Devem ser analisados hora a hora os ganhos internos com o sistema de iluminação, equipamentos, pessoas, infiltração e o fluxo de calor por convecção entre as estruturas internas e o ar.

A soma hora a hora dos sistemas que envolvem a edificação representa o quanto de calor deve ser adicionado ou retirado do ambiente. Esta soma permite que o usuário analise os ganhos e perdas de calor através dos componentes opacos, originados para cargas internas e cargas para o envelope.

A carga térmica é o calor a ser fornecido ou extraído do ar, por unidade de tempo, para manter o ambiente nas condições desejadas. Esta carga está relacionada com os ganhos de calor por radiação, condução e convecção, infiltração e renovação de ar; ganhos internos através de pessoas, iluminação artificial, motores e cargas especiais.

Através do sistema de condicionamento de ar inserido nos casos simulados, pode-se verificar se o procedimento utilizado para o cálculo do balanço térmico foi realizado corretamente, uma vez que este sistema informa a quantidade de calor que dever ser adicionado ou retirado do ambiente para manter a temperatura do ambiente em condições de conforto. Ou seja, a soma hora a hora do balanço térmico representa o quanto de calor deve ser adicionado ou retirado do ambiente para atender a temperatura de controle adotada.

Recomenda-se primeiramente utilizar o sistema *purchased air* (sistema de condicionamento de ar ideal), no modelo em análise para o cálculo do balanço térmico, uma vez que este sistema de condicionamento ideal informa a quantidade de carga térmica necessária para manter o ambiente dentro das temperaturas desejadas. Assim sendo, os resultados obtidos através da solicitação dos relatórios referentes ao *purchased air* devem estar semelhantes (em módulo) aos resultados finais do cálculo do balanço térmico.

Por exemplo: se um ambiente de uma determinada edificação possuir somente iluminação a equação de ganhos e perdas será:

$$|(\text{Elementos Opacos} + \text{Iluminação} + \text{Ganhos Infiltração}) - \text{Perdas Infiltração}| = \text{Carga térmica do purchased air}$$

Observa-se que o cálculo do balanço térmico também pode ser realizado com a utilização do sistema de condicionamento de ar. Entretanto, vale lembrar que os valores de entrada da equação acima podem diferenciar-se dos valores de saída em uma maior escala uma vez que este tipo de sistema vai funcionar de acordo com as características adotadas pelo usuário.

Ressalta-se que o cálculo do balanço térmico deve ser realizado por zonas térmicas separadamente, podendo analisar a influência de cada zona térmica no consumo final da edificação.

3.1 Relatórios de saída

Para a análise dos ganhos e perdas de calor através do método do balanço térmico é necessário solicitar as variáveis referentes ao modelo analisado. Estas variáveis estão relacionados no *Input/Output Reference* do programa *EnergyPlus*. De acordo com os sistemas inseridos no modelo, devem-se solicitar:

- **Surface Int Convection Heat Gain to Air:** this field is the amount of convective heat gain for the interior surface in Joules.
- **People Convective Heat Gain:** this field is the amount of convective heat gain for this PEOPLE object in Joules. This is determined by the current sensible heat gain from people to the zone and the "Fraction Radiant" specified in input. Note that the radiant and convective gains should add up to the sensible heat gain from people. The convective heat gain from people is added to the zone air heat balance directly.
- **Lights Convective Heat Gain:** the amount of heat gain from lights that is convected to the zone air.
- **Electric Equipment Convective Heat Gain:** This field is the amount of convective heat gain for the equipment object in Joules. This is determined by

the current heat gain from the equipment to the zone and the "Fraction Radiant", "Fraction Lost", "Fraction Latent" specified in input ($1 - \text{FractionRadiant} - \text{FractionLost} - \text{FractionLatent} = \text{FractionConvected}$). The convective heat gain is added to the zone air heat balance directly.

- **Zone Infiltration Sensible Heat Loss:** the sensible (temperature) heat loss that occurs when the infiltration air temperature (outdoor) < zone air temperature.

- **Zone Infiltration Sensible Heat Gain:** The sensible (temperature) heat gain that occurs when the infiltration air temperature (outdoor) \geq zone air temperature.

- **Purchased Air Heating Rate:** the rate at which energy is added to the mixed outside and return air stream to raise its temperature to the specified temperature of the supply air stream. Any energy needed for moisture addition or removal is ignored.

- **Purchased Air Sensible Cooling Rate :** the rate at which energy is removed from the mixed outside and return air stream in order to lower its temperature to the specified temperature of the supply air stream. Any energy needed for moisture addition or removal is ignored.

- **Zone Sys/Sensible Heating Rate:** fornece a carga de aquecimento hora a hora do sistema de condicionamento de ar.

- **Zone Sys/Sensible Cooling Rate:** fornece a carga de resfriamento hora a hora do sistema de aquecimento de condicionamento de ar.

4. EXEMPLO

O modelo utilizado como exemplo é baseado no modelo do Caso 600 da Norma americana ASHRAE *Standard 140*. A edificação do Caso 600 possui uma área total de 48m² e a fachada principal voltada para o sul, onde há a presença de duas janelas de 3m x 2m. Neste caso, a edificação não possui usuário e nem potência instalada em equipamentos, somente potência instalada de iluminação de 200W e taxa de infiltração de 0,018m³/s. O sistema de condicionamento de ar existente é do tipo ideal (*purchased air*), ou seja, vai retirar ou adicionar calor ao ambiente de acordo com a necessidade para manter a temperatura interna dentro da faixa de controle. A temperatura de controle de aquecimento é de 20°C e a de resfriamento é de 27°C.

Nas paredes, piso e cobertura do Caso 600 são utilizados materiais com baixa densidade. As paredes possuem uma camada externa de madeira, uma camada de isolante térmico com espessura de 0.066m e uma camada de reboco resultando em uma transmitância térmica total no valor de 0,514 W/(m²K). O piso, além da camada de madeira, também possui isolamento térmico com resistência térmica total igual a 25.075(m²K)/W ficando com uma transmitância térmica total de 0,039 W/(m²K). Quanto à cobertura, a camada de madeira e o reboco são separados por uma camada de isolamento térmico com espessura de 0.11m resultando no valor de 0,318 W/(m²K) de transmitância térmica. As duas janelas são compostas por duas camadas de vidro separadas por uma câmara de ar. A absorvância das paredes e coberturas à radiação solar inserida no Caso 600 é de 0.70.

Através das Figuras 02, 03, 04 e 05 pode-se observar a utilização do método do balanço térmico através do Caso 600 para o clima de Denver e Florianópolis, respectivamente.

E, através das Figuras 06, 07, 08 e 09 observa-se a influência do aumento da transmitância térmica das paredes e coberturas para 1W/m²K no funcionamento do sistema de condicionamento de ar.

Juntamente com os gráficos do balanço térmico é apresentada a influência do ILD e da troca de calor entre os componentes opacos e o ar interno da zona (convecção) em razão do consumo do sistema de condicionamento de ar.

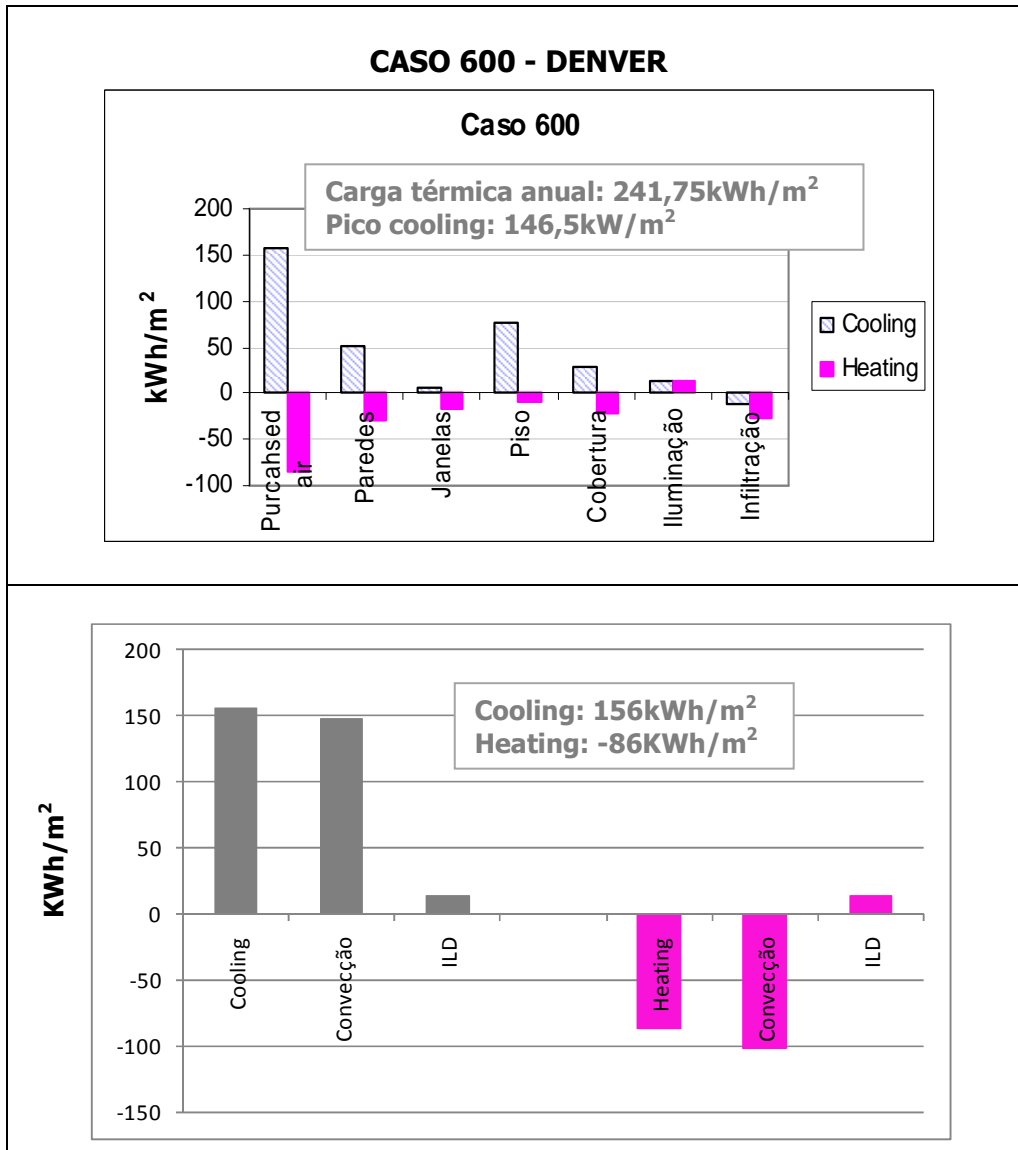


Figura 2. Balanço térmico do Caso 600 para o clima de Denver.

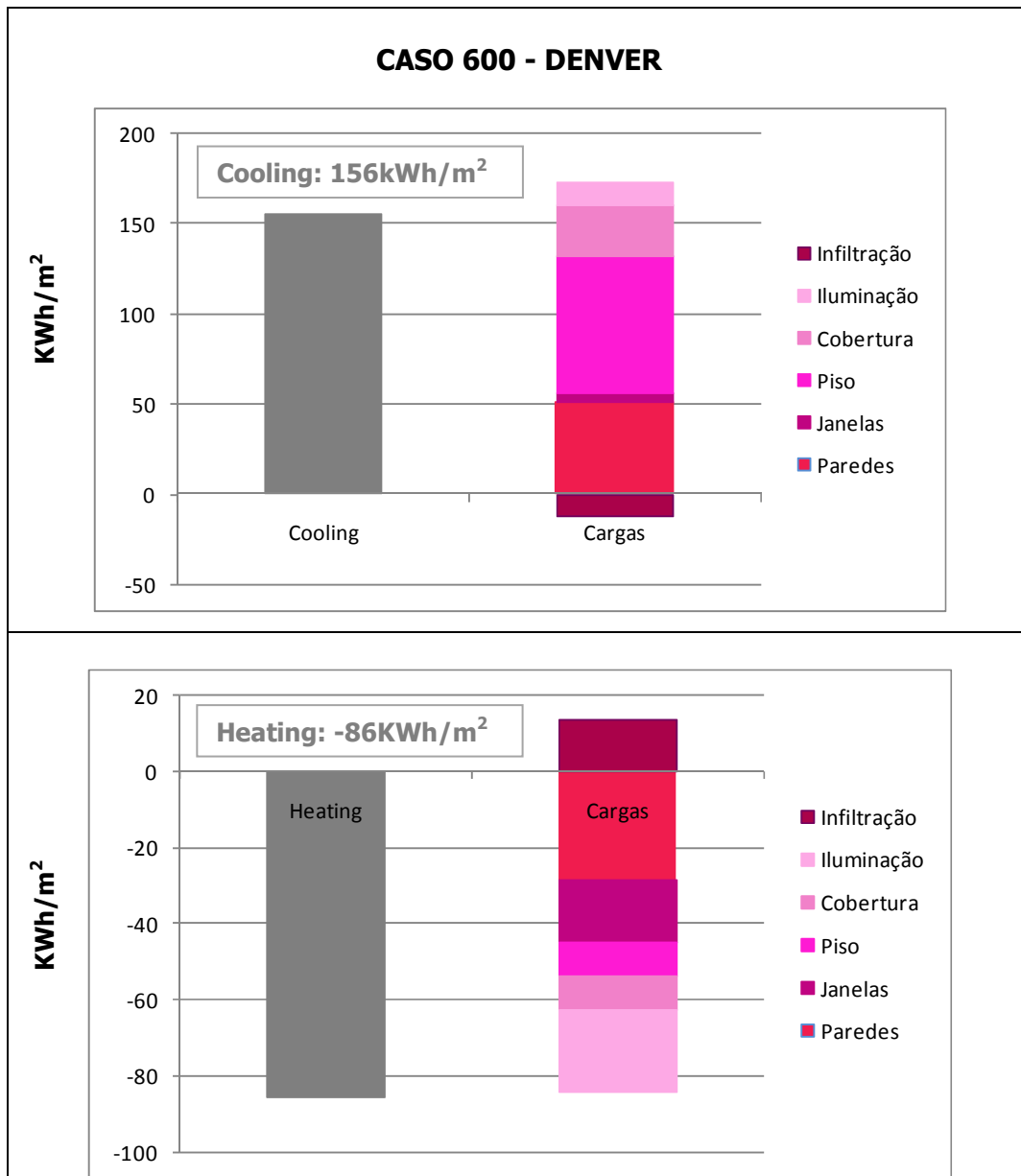


Figura 3. Balanço térmico do Caso 600 para o clima de Denver.

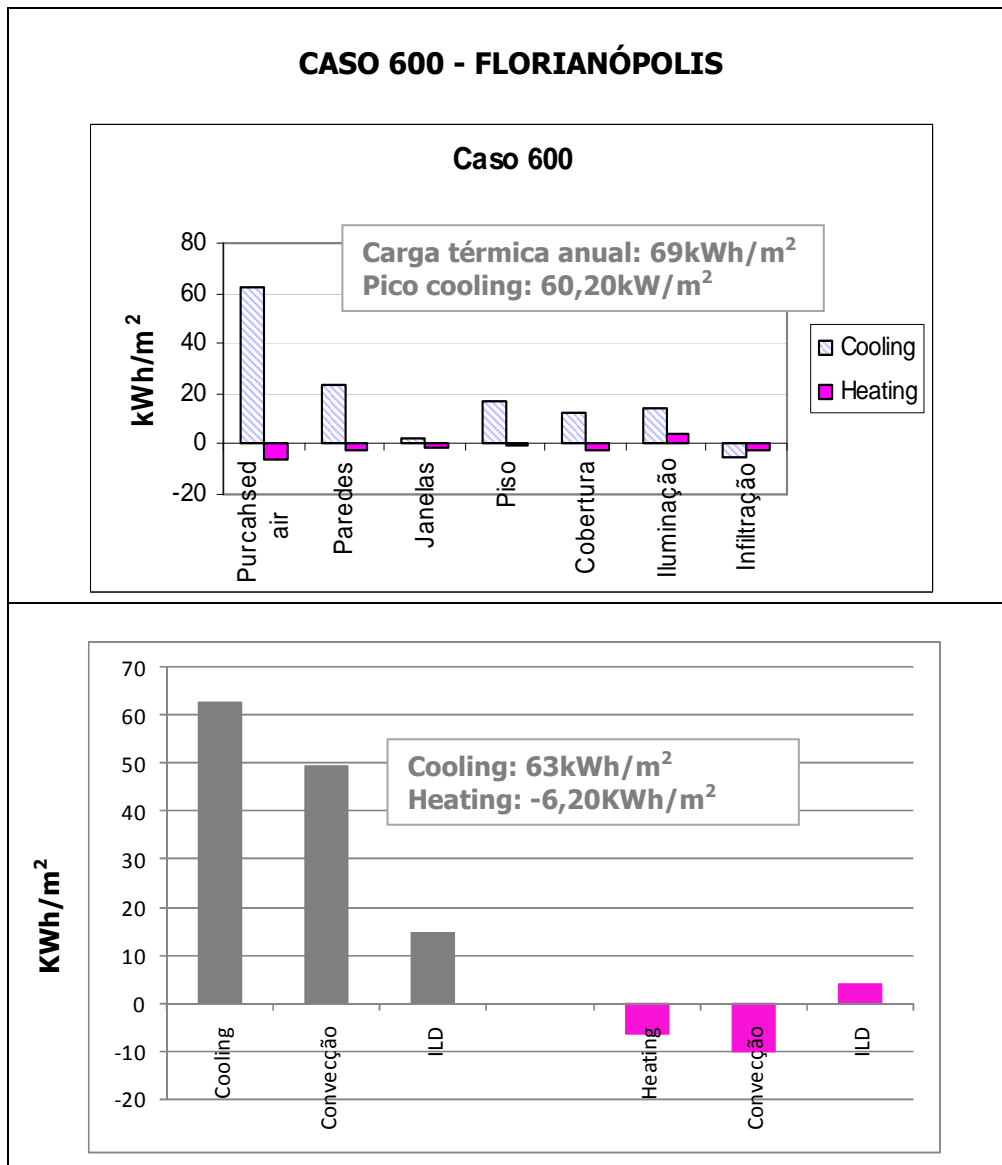


Figura 4. Balanço térmico do Caso 600 para o clima de Florianópolis.

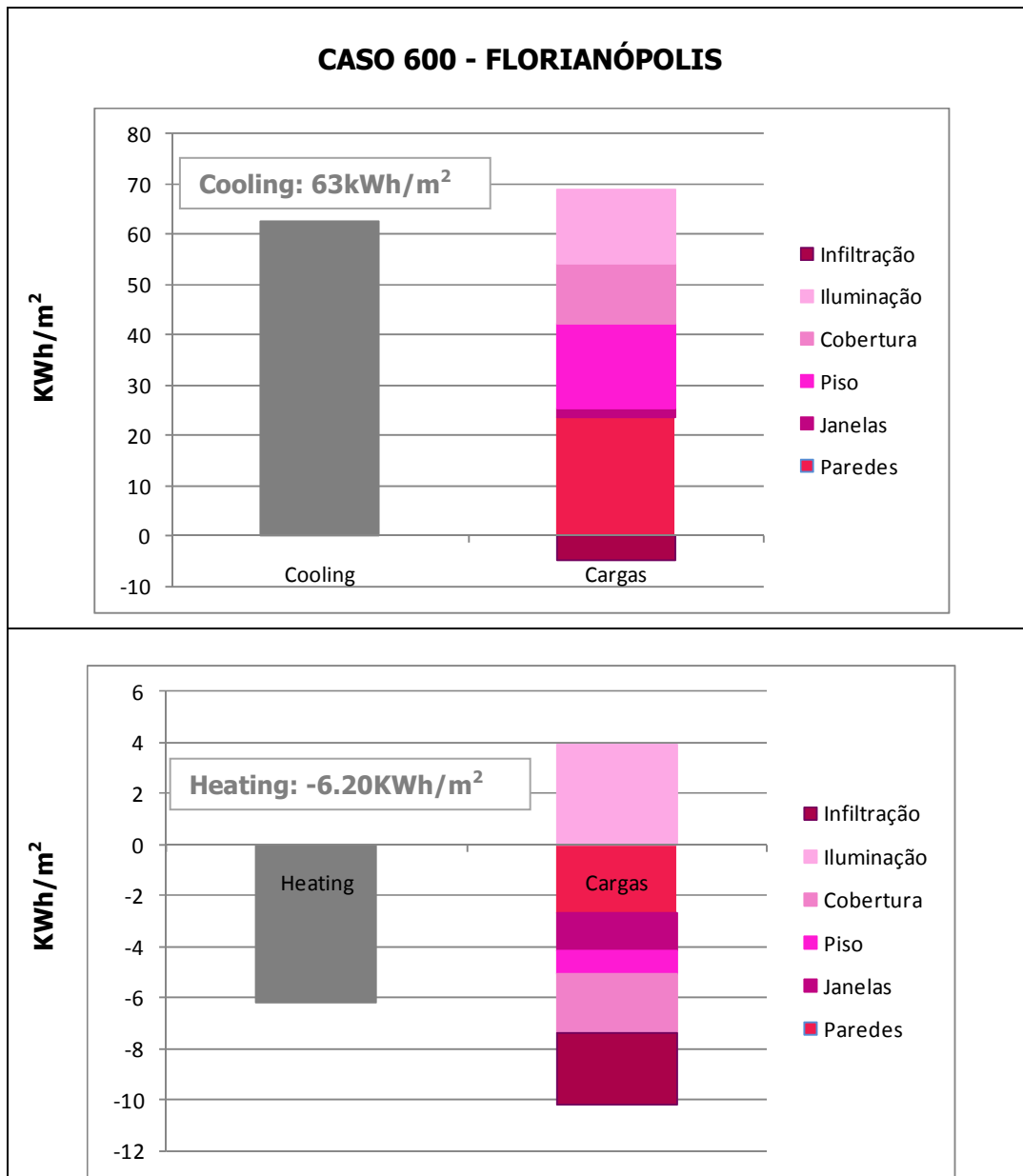


Figura 5. Balanço térmico do Caso 600 para o clima de Florianópolis.

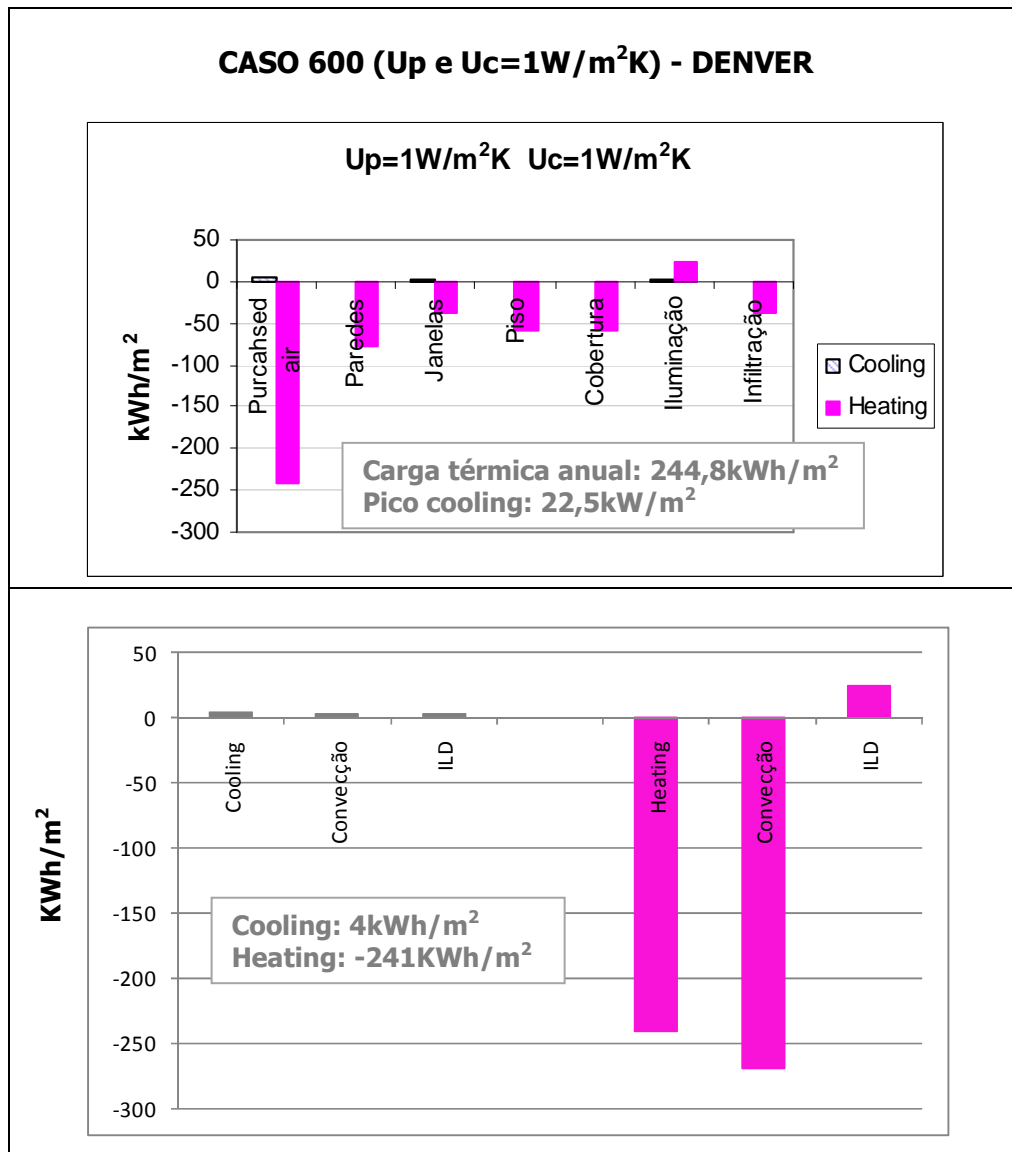


Figura 6. Balanço térmico do Caso 600 com aumento da transmitância para o clima de Denver.

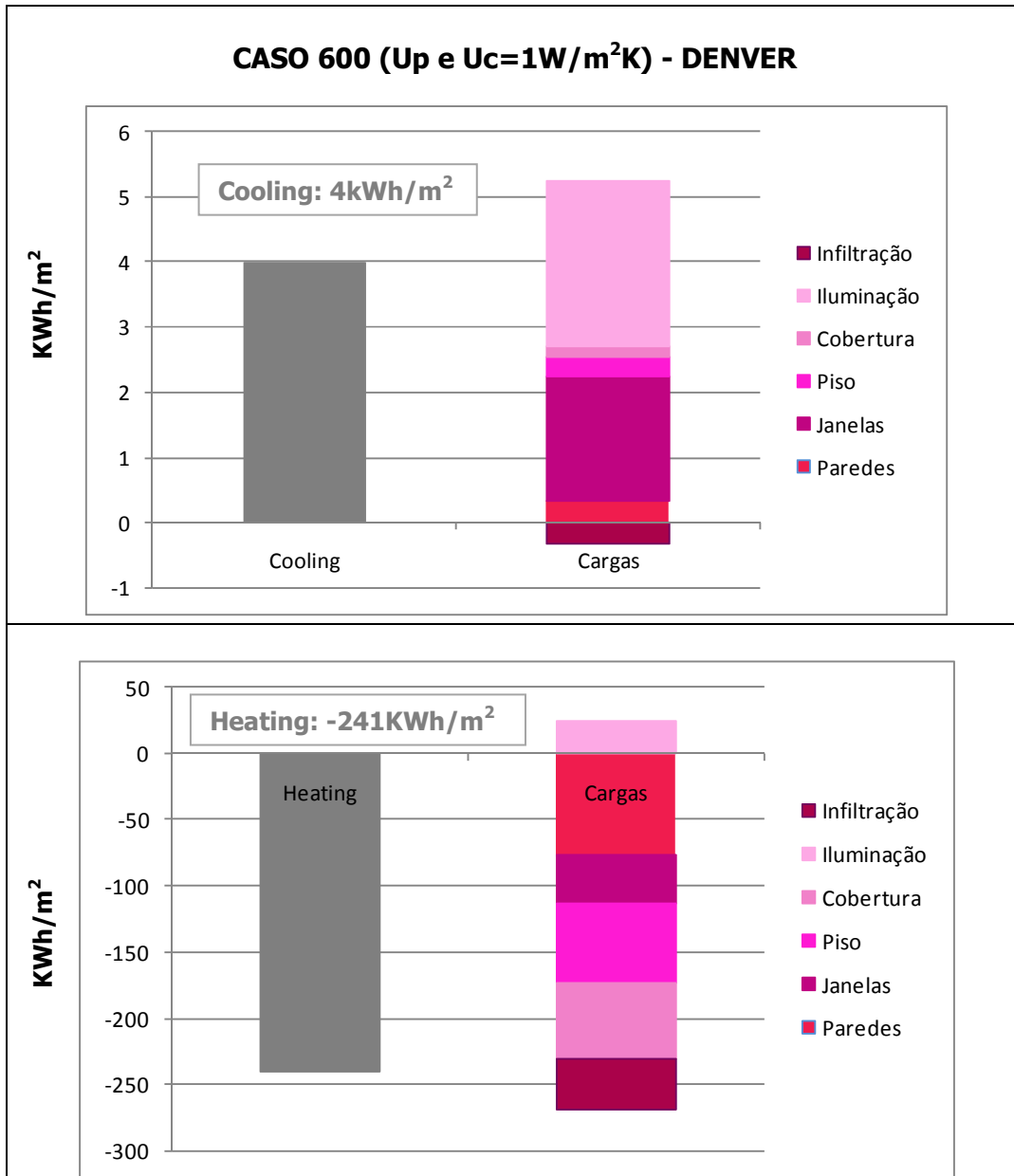


Figura 7. Balanço térmico do Caso 600 com aumento da transmitância para o clima de Denver.

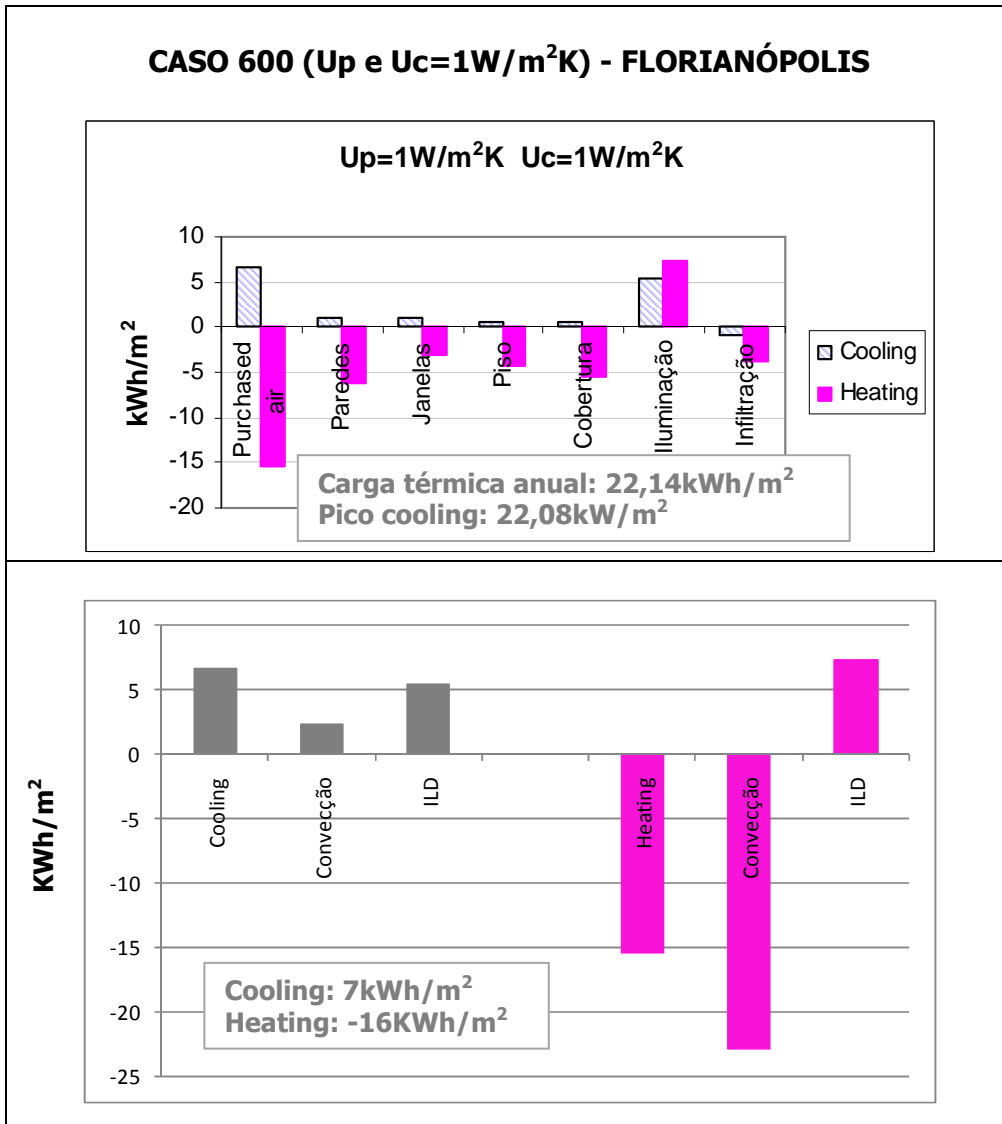


Figura 8. Balanço térmico do Caso 600 com aumento da transmitância para o clima de Florianópolis.

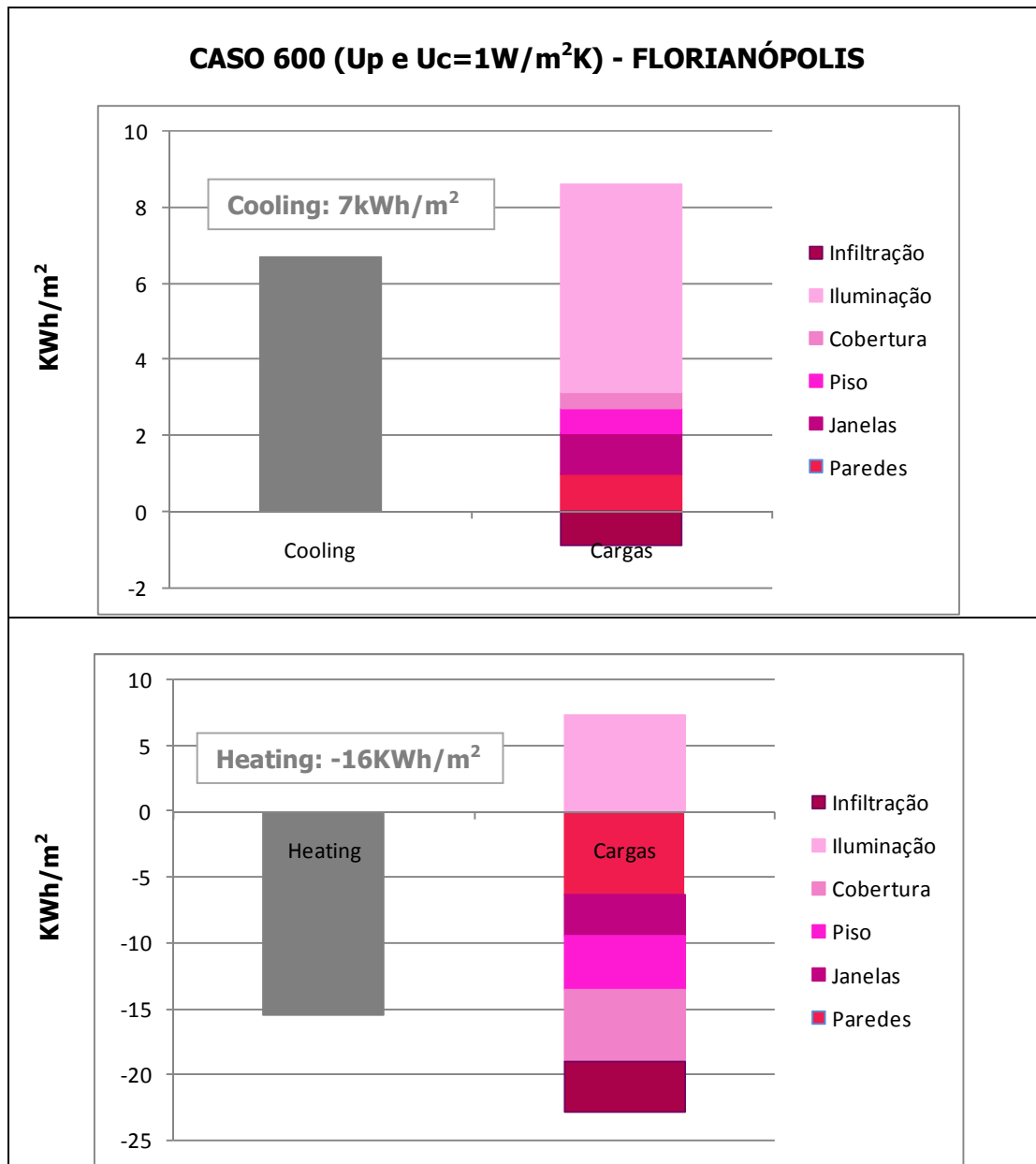


Figura 9. Balanço térmico do Caso 600 com aumento da transmitância para o clima de Florianópolis.

Para a cidade de Denver observa-se que o aumento da transmitância térmica influencia em um aumento na carga térmica do modelo. O Caso 600 para o clima de Denver utiliza tanto o sistema de resfriamento como o de aquecimento para manter a temperatura do ambiente dentro da faixa de controle. Mas, com o aumento do valor da transmitância térmica das paredes e cobertura para $1.00\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$, observa-se que a carga térmica de aquecimento é maior quando comparado com o Caso 600; já a utilização da carga de resfriamento é reduzida em $59\text{kWh}/\text{m}^2$ (94%). Pelo fato do clima de Denver possuir um período de inverno rigoroso e verões amenos, o sistema de condicionamento de ar de aquecimento é mais utilizado durante o ano. Então, o aumento da transmitância térmica das paredes e cobertura neste tipo de clima irá refletir em um aumento do valor da carga térmica para que a temperatura do ambiente permaneça dentro do limite adotado.

Nas simulações para a cidade de Florianópolis, nota-se que a carga térmica diminuiu com o aumento da transmitância térmica das paredes e cobertura. Sendo que o aumento da transmitância das paredes e cobertura para $1.00\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ proporcionou uma redução de 33% no valor da carga térmica. No Caso 600, simulado com o clima da cidade de Florianópolis, nota-se que o *purchased air* de resfriamento é mais utilizado que o *purchased air* de aquecimento. Como o clima da cidade de Florianópolis possui invernos amenos e verões quentes, o uso de alta espessura do isolamento térmico nas paredes e cobertura deste modelo, não permitem a dissipação da carga interna e dos ganhos com as janelas para o ambiente externo. Já com o aumento das transmitâncias térmicas das paredes e cobertura permitiu que o calor interno dissipasse para o ambiente externo com maior facilidade, resultando em uma redução da carga térmica.

Com relação aos casos com as paredes e cobertura com transmitância de $1.00\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$, nota-se que para o clima de Denver a perda pelas paredes é maior quando comparado com o clima de Florianópolis, resultando também em uma maior utilização do sistema de condicionamento de ar de aquecimento.

Nota-se que a superfície do piso dos casos simulados apresenta uma grande parcela de ganho de calor. Isto acontece em razão do piso estar ganhando calor por irradiação proveniente das janelas.

Apesar de alguns casos possuírem a mesma quantidade de carga interna instalada, observa-se que o ganho interno com equipamentos, pessoas e iluminação varia entre estes casos. Este fato ocorre, pois os ganhos com estes parâmetros são

somente utilizados no cálculo do balanço térmico quando há o funcionamento do sistema de condicionamento de ar.

Através dos relatórios de saída fornecidos pelo *EnergyPlus* é possível analisar o consumo dos sistemas de condicionamento de ar e o pico de carga de cada equipamento. Além disso, o próprio programa dimensiona a potência do sistema de condicionamento de ar que poderá ser inserido em cada zona.