

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO DESEMPENHO TÉRMICO DOS FECHAMENTOS OPACOS ATRAVÉS DO BALANÇO TÉRMICO

Ana Paula Melo (1); Roberto Lamberts (2)

(1) Departamento de Engenharia Civil – LabEEE - Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil – e-mail: apaula_melo@labeee.ufsc.br

(2) Departamento de Engenharia Civil – LabEEE – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil – e-mail: lamberts@labeee.ufsc.br

RESUMO

Este trabalho apresenta uma metodologia para avaliar a influência de diferentes componentes da carga térmica de aquecimento e resfriamento na otimização do desempenho térmico da envoltória em um dado clima. Para o desenvolvimento do método, adotou-se como modelo base o Caso 600 do método BESTEST, proposto pela ASHRAE *Standard 140*. A análise será realizada para os climas da cidade de Denver, nos Estados Unidos, e Florianópolis, no Brasil, utilizando a ferramenta de simulação computacional *EnergyPlus* versão 2.0. O emprego de diferentes valores de transmitância térmica e capacidade térmica dos elementos opacos originaram alterações no valor da carga térmica. Observou-se que para o clima de Denver, o aumento da transmitância térmica das paredes e coberturas do Caso 600 ocasionou aumento no valor da carga térmica, podendo o valor chegar ao dobro do valor da carga térmica do modelo base. Já para o clima de Florianópolis, o aumento da transmitância térmica dos elementos opacos refletiu em uma redução do valor da carga térmica, reduzindo em até 33% em relação ao modelo base. O aumento da inércia térmica nas paredes da edificação reduziu a carga térmica do modelo para ambas as cidades analisadas, reduzindo em até 27% para a cidade de Florianópolis e 60% para a cidade de Denver.

Palavras-chave: balanço térmico; transmitância térmica; carga de aquecimento e resfriamento.

ABSTRACT

This paper presents a methodology to evaluate the influence of different components of the annual heating and cooling load of buildings, analyzing the energy performance of building surfaces which are exposed to different weather conditions. The methodology was tested according to BESTEST method, described in the ASHRAE Standard 140. The analysis was carried out through computer simulation using the EnergyPlus program and weather files for Denver in the United States, and Florianopolis in Brazil. The effects of different thermal transmittance and thermal capacity conditions of the envelope were reflected in the heating and cooling load. For the weather of Denver, increasing the thermal transmittance of the walls and roof of Case 600 resulted in an increase in the thermal load to twice the value of the base case. Using the weather of Florianopolis, increasing the thermal transmittance of the envelope resulted in a reduction in the thermal load, to 33% less than the base case. The benefits of increasing the thermal mass of the walls are evident for both weathers as it reduces the thermal load by 27% for Florianopolis and 60% for Denver weather conditions.

Keywords: heat balance; thermal transmittance; cooling and heating load.

1 INTRODUÇÃO

O aquecimento global é um fenômeno climático, o qual vem provocando um aumento da temperatura da superfície terrestre. Atualmente, já está comprovado que o aquecimento global está se agravando consideravelmente, o que se deve em grande parte as atividades humanas (IPCC, 2007). A principal evidência do aquecimento global vem sendo as altas temperaturas registradas em todo o mundo e a

mudança brusca da temperatura. Dentre as conseqüências do aquecimento global estão o aumento do nível dos oceanos, o crescimento e surgimento de desertos, aumento de furacões e ciclones. Outro fator de risco são as ondas de calor o qual reflete uma maior utilização dos sistemas de condicionamento de ar nas edificações. Tais sistemas consomem energia, a qual provoca geralmente a emissão de dióxido de carbono na atmosfera. A emissão de dióxido de carbono possui um profundo impacto sobre o efeito estufa, uma vez que este forma uma redoma protetora que aprisiona parte das radiações infravermelhas emitidas pelo Sol e as reflete para a superfície.

Segundo o Balanço Energético Nacional de 2007, com ano base de 2006 (MME, 2007), as edificações foram responsáveis por 42% do consumo total de toda energia elétrica consumida no país. O setor residencial consumiu 23%, o comercial em 11% e o setor público 8%. O consumo dos sistemas de condicionamento de ar nos prédios comerciais e públicos foi responsável por 48% deste consumo. Este fato está relacionado com a influência dos projetos arquitetônicos, especificações de materiais e das condições de uso da edificação (PROCEL, 2007).

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.

No mundo, as edificações são responsáveis por 40% do consumo de energia elétrica. Grande parte deste consumo deve-se a utilização de sistemas de condicionamento de ar em edifícios públicos e comerciais, os quais são responsáveis por 50% no consumo anual destas edificações. Este fato está relacionado com a influência dos projetos arquitetônicos, especificações de materiais e das condições de uso da edificação. Nos EUA, os prédios comerciais, residenciais e públicos consomem em torno de 65% da energia elétrica distribuída e são responsáveis por 30% das emissões de poluentes causadores do efeito estufa.

As conseqüências do aumento do isolamento térmico no período de verão foram analisadas por Chvatal et al. (2005) em edifícios residenciais e comerciais de Portugal, com base no consumo anual de energia elétrica da edificação. Os resultados mostram que, o uso de sistemas de condicionamento de ar em edifícios residenciais no verão é reduzido em até 8% com o aumento do isolamento nas paredes quando o sombreamento externo fica em torno de 75%. Já para os edifícios comerciais, que possuem uma maior carga interna, observou-se que o aumento do isolamento térmico dificulta a dissipação dos ganhos internos para o ambiente externo, não sendo, portanto recomendável, uma vez que aumenta a quantidade de horas de sobreaquecimento.

Inércia térmica é a capacidade de uma edificação de armazenar e liberar calor. Para que a utilização da inércia térmica seja eficiente em uma edificação, é necessário controlar a entrada do ar externo para dentro da edificação. A necessidade da utilização da inércia térmica aumenta quanto maior for a variação da temperatura externa, radiação solar e ou ganhos de calor.

2 OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma metodologia para otimizar as especificações de elementos opacos frente aos valores de carga térmica de edificações.

3 METODOLOGIA

3.1 Ferramenta utilizada

Para o desenvolvimento desta metodologia utilizou-se o programa computacional *EnergyPlus* (versão 2.0). 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.

Algumas das características mais importantes do *EnergyPlus* são: 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.

3.2 Método BESTEST – Caso 600

O modelo utilizado nas simulações é baseado no modelo do Caso 600 da Norma americana ASHRAE *Standard 140*. A edificação do Caso 600 possui uma área total de 48m^2 e a fachada principal voltada para o sul, onde há a presença de duas janelas de $3\text{m} \times 2\text{m}$. 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 $0,018\text{m}^3/\text{s}$. 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. Este tipo de sistema não fornece consumo, mas sim a carga parcial referente a cada zona térmica do modelo.

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 $0,066\text{m}$ e uma camada de reboco resultando em uma transmitância térmica total no valor de $0,514\text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. O piso, além da camada de madeira, também possui isolamento térmico com resistência térmica total igual a $25,075(\text{m}^2\text{K})/\text{W}$ ficando com uma transmitância térmica total de $0,039\text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Quanto à cobertura, a camada de madeira e o reboco são separados por uma camada de isolamento térmico com espessura de $0,11\text{m}$ resultando no valor de $0,318\text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ 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 $0,70$.

3.3 Balanço térmico

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 Scartezzini (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.

Este estudo propõe uma metodologia para calcular o balanço térmico através do programa computacional EnergyPlus. O processo baseia-se no cálculo do balanço térmico por convecção entre as temperaturas internas de cada superfície (cobertura, paredes, piso e janelas) com a temperatura do ambiente no qual está inserida. O cálculo baseia-se na multiplicação da área de cada elemento construtivo pela diferença de temperatura entre a superfície e o ar interno da zona e depois multiplicado pelo coeficiente de convecção referente a cada superfície. Depois, com a soma destas multiplicações é adicionado o ganho total do sistema de iluminação, equipamentos, pessoas, e depois subtraído com o valor referente ao ganho ou perda com a infiltração de hora em hora.

Foram analisados hora a hora os ganhos internos e 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. Através do consumo do sistema de condicionamento de ar é possível verificar se o procedimento utilizado para o cálculo do balanço térmico foi realizado corretamente. Os resultados são analisados através de gráficos os quais permitem o usuário analisar a quantidade de ganho e perda de calor através dos elementos opacos.

3.4 Parâmetros analisados

A influência de diferentes construções de paredes e cobertura no Caso 600 será analisada através dos valores de transmitância e inércia térmica. O valor da carga térmica anual integrada (kWh/m^2), em relação

à área do piso, servirá como base para analisar a influência da mudança dos parâmetros e ter o conhecimento destes em relação ao desempenho térmico do modelo.

Os climas da cidade de Florianópolis e Denver foram adotados para analisar a quantidade de ganho e perda de calor através da influência da transmitância e da inércia térmica. O arquivo climático da cidade de Florianópolis é do tipo TRY (*Test Referency Year*) de 1963, o qual representa um ano climático médio dentro de uma série de 30 anos. Para o clima de Denver o arquivo climático utilizado é do tipo TMY (*Typical Metereological Year*), o qual representa do por meses individuais de diferentes anos ao longo de um período.

Através dos arquivos climáticos da cidade de Denver e Florianópolis foi calculado o total de graus horas de aquecimento e de resfriamento. A quantidade de graus hora de aquecimento e resfriamento das temperaturas base do Caso 600 pode ser observada na Tabela 1.

Tabela 1 - Graus-hora de aquecimento e resfriamento.

	Aquecimento	Resfriamento
	Graus-hora (tb=20°C)	Graus-hora (tb=27°C)
Denver	98.761	1.461
Florianópolis	12.298	1.160

Analisando a quantidade de graus-hora da cidade de Denver e Florianópolis para a temperatura de resfriamento observa-se que ambos os climas possuem a quantidade de graus-hora semelhantes. Já para a temperatura de aquecimento, nota-se que o clima da cidade de Denver possui uma quantidade de graus-hora 8 vezes maior que a cidade de Florianópolis.

4 RESULTADOS

4.1 Caso 600

A metodologia do BESTEST, desenvolvida pela Norma ASHRAE *Standard 140*, avalia a capacidade de programas computacionais desenvolvidos para o cálculo de desempenho termoenergético de edificações. O BESTEST tem como finalidade testar a habilidade de programas de simulação computacional. Além disso, a ASHRAE *Standard 140* pode ser adotada como material de referência para o treinamento de usuários, uma vez que esta apresenta a descrição detalhada de cada caso a ser simulado e fornece os resultados obtidos em diversos programas de simulação computacional.

Em razão de o método BESTEST ser bem reconhecido entre os simuladores e por este disponibilizar os dados de saída de programas de simulação, permitindo que o usuário analise a eficiência do programa e do modelo simulado, adotou-se como modelo base o Caso 600 para realização do cálculo do balanço térmico.

Foram inseridas as diversas características do modelo no programa computacional *EnergyPlus*, utilizando o clima da cidade de Denver. Depois de entrar com todos os dados referentes ao caso, o modelo é simulado e os resultados obtidos através dos relatórios devem ser comparados com os relatórios divulgados a cada nova versão do programa *EnergyPlus*, analisando se o modelo foi representado corretamente pelo usuário. Devem ser analisados os valores de carga anual (MWh) de aquecimento e resfriamento e o valor de pico da carga anual de aquecimento e resfriamento (kW). Analisando os valores encontrados com a simulação (Tabela 2) observa-se que estes estão dentro do limite máximo e mínimo permitidos pela ASHRAE *Standard 140*, assim como também estes valores encontram-se próximos dos valores encontrados pelos relatórios com base no programa computacional *EnergyPlus*, concluindo que o modelo foi simulado corretamente pelo usuário.

Tabela 2 - Comparação entre a ASHRAE Standard 140 e os resultados obtidos.

		Aquecimento		Resfriamento	
		Carga anual (MWh)	Carga de pico anual (kW)	Carga anual (MWh)	Carga de pico anual (kW)
ASHRAE	Máximo	5.709	4.354	8.448	7.188
	Mínimo	4.296	3.437	6.137	5.965
EnergyPlus 2.0		4.497	3.834	6.919	6.630
Modelo		4.413	3.797	7.005	6.789

4.2 Balanço Térmico

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. Não são inseridos os ganhos com equipamentos e pessoas pelo fato destes não estarem presentes na definição do modelo utilizado. O cálculo da carga térmica é obtido através da soma anual dos valores referentes ao *purchased air*. Este sistema de condicionamento de ar é do tipo ideal o qual informa o total de calor que deve ser adicionado ou retirado da zona. 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. O cálculo do balanço térmico para a cidade de Denver no dia 04 de junho pode ser observado através da Figura 1. Adotou-se o dia 04 de junho como exemplo, pois neste dia pode-se observar o funcionamento do *purchased air* de aquecimento e de resfriamento.

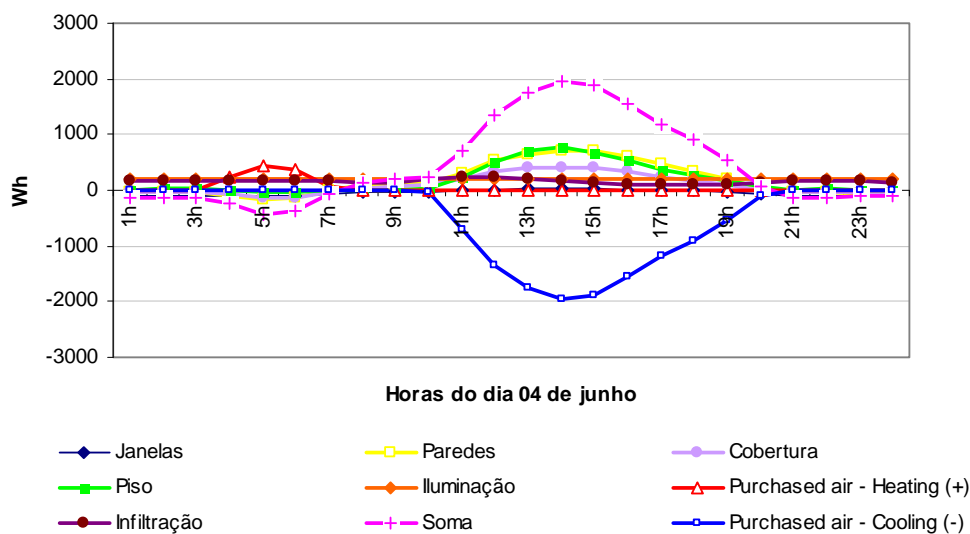


Figura 1 - Balanço térmico.

Pode-se observar que quando o ambiente está perdendo calor, o sistema de condicionamento de ar ideal funciona adicionando calor ao ambiente. Como por exemplo, das 3h até as 7h. Quando o ambiente está ganhando calor, o *purchased air* de resfriamento retira o calor excedente como pode ser observado das 10h às 20h.

A carga térmica adicionada ou retirada do ambiente está relacionada com a temperatura de controle adotada. Se a temperatura da zona estiver abaixo da temperatura de controle (20°C), o *purchased air* adiciona calor no ambiente para manter a temperatura do ambiente dentro do limite adotado. Caso a

temperatura do ambiente fique acima da temperatura de 27°C, o purchased air é acionado para retirar o calor do ambiente. Existem horas durante os dias do ano as quais o *purchased air* não adiciona ou retira o calor do ambiente pelo fato do ar interno estar nas condições desejáveis.

Observa-se que o sistema de condicionamento de ar de resfriamento funciona durante um período maior do que o sistema de aquecimento. Este fato está relacionado com o mês de junho, o qual representa a estação de verão em Denver, necessitando um maior resfriamento para que a temperatura do ambiente fique dentro das temperaturas de controle adotadas.

4.3 Parâmetros analisados

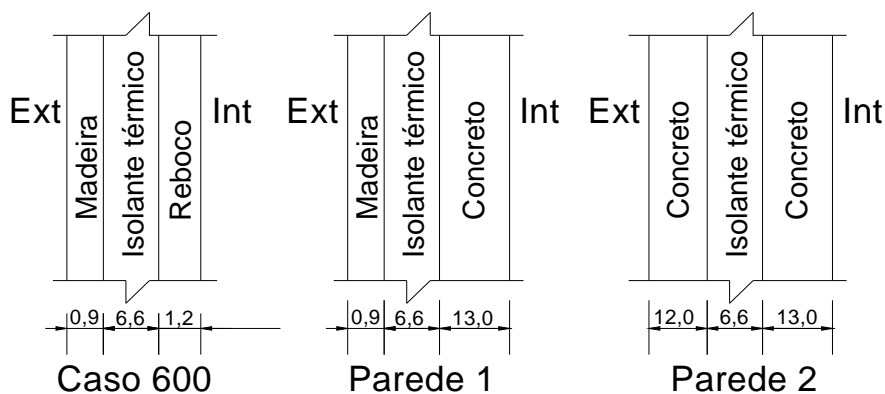
O valor da carga térmica integrada do Caso 600 para a cidade de Denver e Florianópolis será comparado com o valor da carga térmica integrada das novas construções dos elementos opacos. Ressalta-se que a fachada principal do Caso 600 está orientado para o Sul, sendo esta a melhor orientação para o clima de Denver. Para Florianópolis, a orientação Norte reflete em um nível mínimo de insolação diária; ou seja, receberá mais Sol no inverno e menos Sol no verão. Entretanto, optou-se em simular os casos com a orientação Sul para ambos os climas para melhor compreender e comparar a influência do isolamento térmico na edificação.

Analisou-se a mudança das transmitâncias térmicas das paredes e cobertura do Caso 600. As paredes do modelo possuem 0.5104W/m²K e as coberturas possuem 0.318W/m²K de valor de transmitância térmica. Foram simuladas paredes com valores de transmitância térmica de 1.00W/m²K (parede dupla de tijolos 8 furos assentados na maior dimensão e 4.50W/m²K (parede de concreto maciço), sempre utilizando o valor de 1.00W/m²K (telha de fibro-cimento com lâmina de alumínio polido e laje de concreto) para a cobertura. A transmitância térmica do piso foi mantida com o mesmo valor inicial, de 0,039W/m²K.

A inércia térmica é responsável pelo armazenamento e pela liberação do calor. O uso de inércia térmica nas paredes, pisos e cobertura da edificação ajuda na diminuição dos picos de temperatura interna, responsáveis pela variação da temperatura externa. Além disso, a inércia ajuda no atraso do fluxo de calor, evitando a oscilação da temperatura interna durante o dia, dissipando o calor mais tarde.

Balaras (1996) analisou e classificou diferentes métodos os quais são utilizados para calcular as cargas de resfriamento e a temperatura interna das edificações, levando em conta os efeitos da inércia térmica. Os métodos foram caracterizados de acordo com os dados de entrada e saída necessários, como é abordada a inércia térmica, o tipo de cargas utilizado e as limitações do método.

Para analisar a influência da inércia térmica no desempenho térmico do Caso 600 para a cidade de Denver realizou-se a mudança da construção das paredes, como pode ser observado na Figura 2.



* Espessuras em cm

Figura 2 - Novos layouts das paredes.

Na nova construção Parede 1 observa-se a mudança da camada de reboco do Caso 600 para uma camada de concreto. E na Parede 2, observa-se a troca da camada de madeira e da camada de reboco por camadas de concreto. As espessuras das novas camadas de materiais foram calculadas de forma que a transmitância térmica das paredes permanecesse no valor do adotado pelo Caso 600: $0,5104\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$.

4.2.1 Denver

Através da Figura 3 pode-se observar a influência dos novos valores de transmitância térmica das paredes para o clima de Denver.

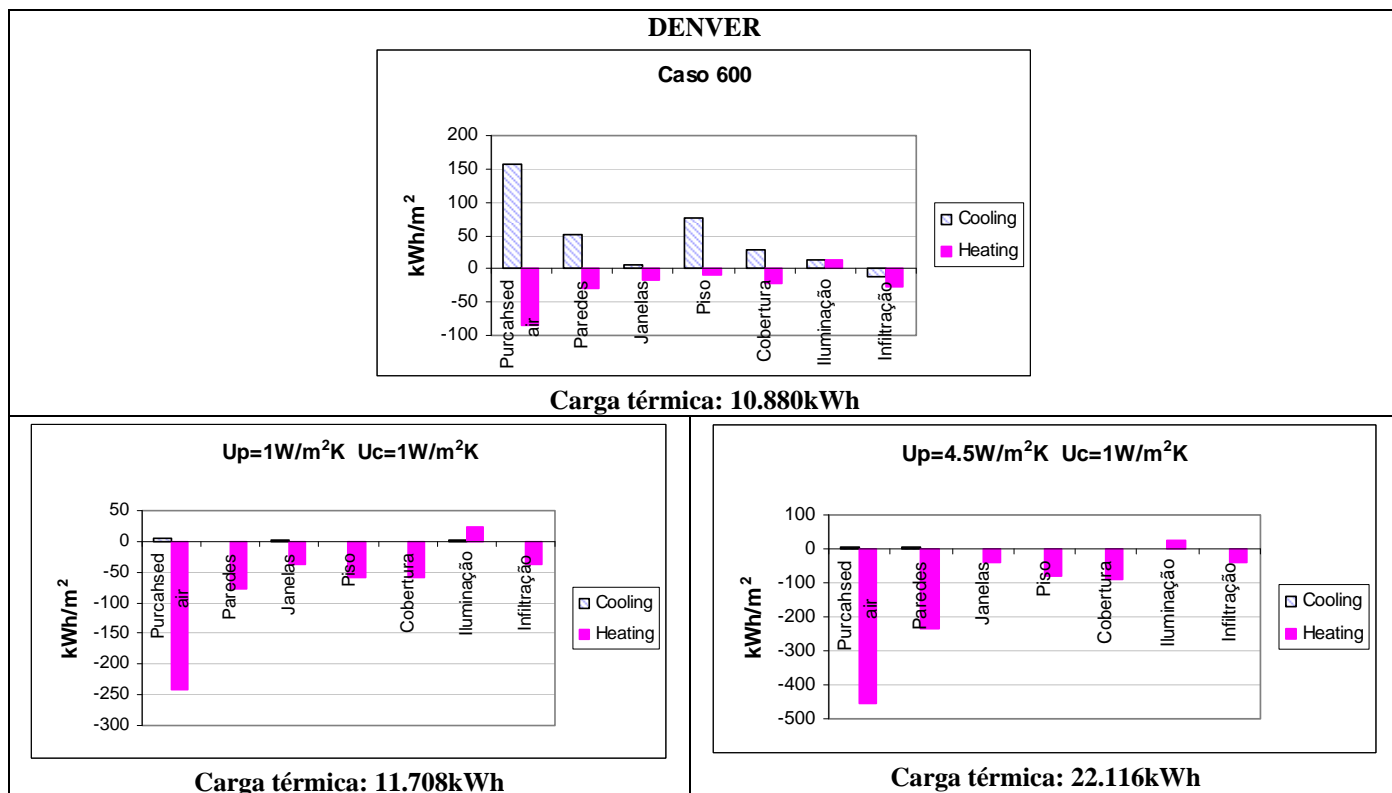


Figura 3 - Influência da transmitância térmica - Denver.

Para a cidade de Denver observa-se que o aumento da transmitância térmica influencia no 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 para $4.50\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ e da cobertura para $1.00\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$, observa-se que a carga térmica de aquecimento é de aproximadamente 6 vezes maior quando comparado com o Caso 600; já a utilização da carga de resfriamento é reduzida em 24 vezes. 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. Através da Figura 4 pode ser observada a influência das novas construções de paredes para os climas da cidade de Denver.

Comparando a construção das paredes do Caso 600 com as novas construções nota-se que estas reduziram a carga térmica do modelo para o clima de Denver. A nova construção Parede 1 reduziu o funcionamento do *purchased air* de aquecimento e resfriamento.

As construções com o aumento da inércia nas paredes do modelo reduziram os valores de carga térmica quando comparados com o Caso 600. Para Denver, a utilização de concreto externa e internamente (Parede 2) nas paredes foi à mudança que representou a maior redução (60%) do valor da carga térmica quando comparado com o Caso 600; já a utilização da Parede 1 representou uma redução de 59%. O aumento da massa térmica influenciou na diminuição dos ganhos de calor através das paredes em 72%, comparando com o ganho de calor através das paredes do Caso 600.

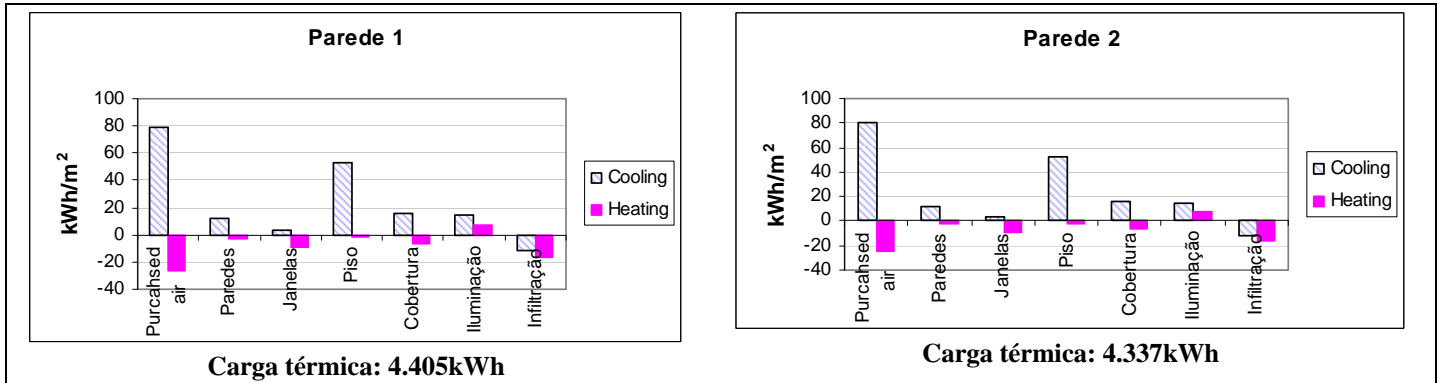


Figura 4 - Influência da inércia térmica - Denver.

4.2.1 Florianópolis

Os resultados dos novos valores adotados de transmitância térmica das paredes e o valor da transmitância do Caso 600 podem ser observados através da Figura 5.

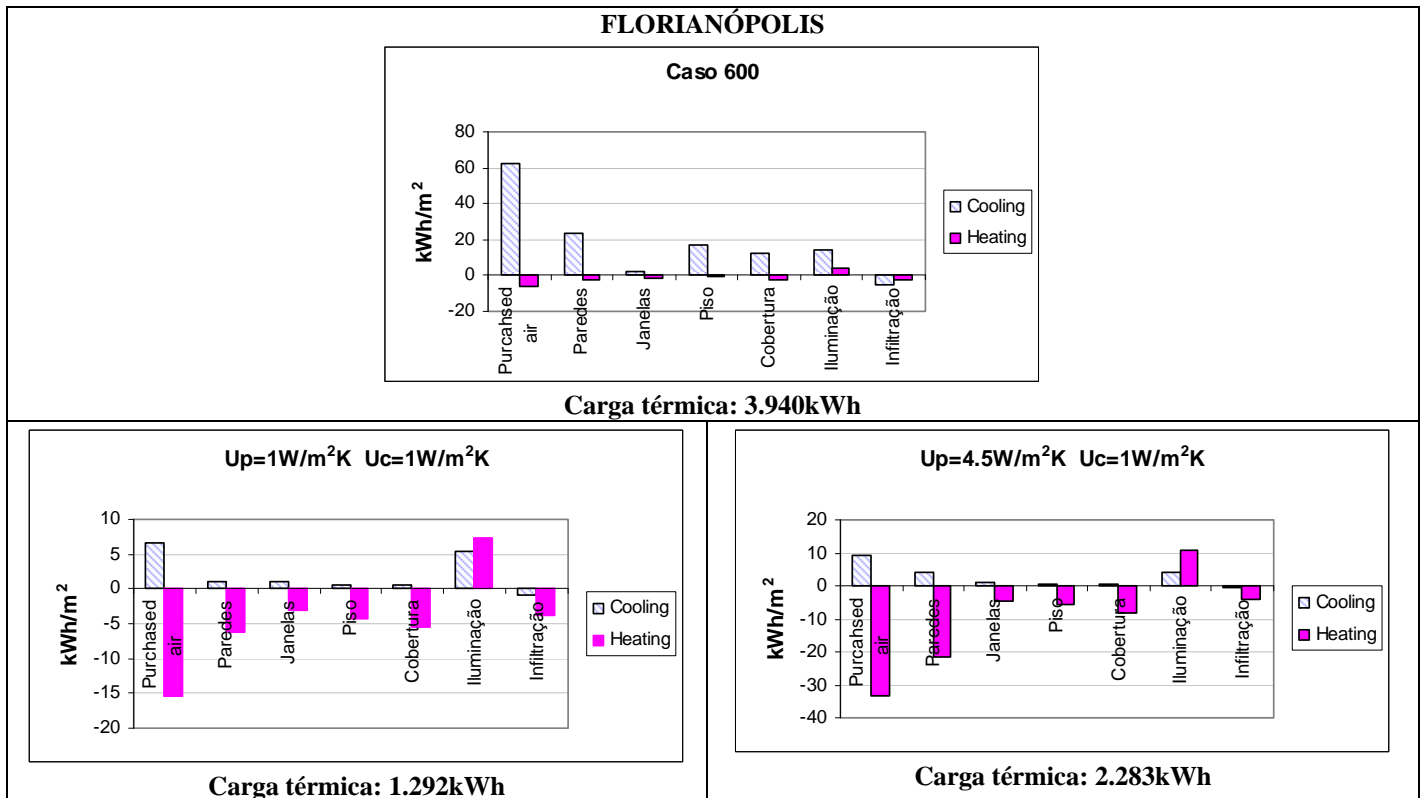


Figura 5 - Influência da transmitância térmica – Florianópolis.

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. A utilização de transmitância térmica de valor de $1\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ para as paredes e coberturas reduziu em 86% o ganho de calor através das paredes e em 87% para a cobertura quando comparado com os ganhos de calor do Caso 600. As paredes com transmitância de $1\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ representou a menor carga térmica quando comparado com o Caso 600. Mas, analisando o resultado da carga térmica das paredes com transmitância de $4,5\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ nota-se que este também reduziu o valor da carga térmica quando comparado com o Caso 600. Entretanto, observa-se que estes casos apresentam uma maior quantidade de ganhos de calor através das paredes quando comparado com o caso com as paredes com transmitância de $1\text{W}/\text{m}^2\text{K}$.

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.

A influência da inércia térmica para o clima de Florianópolis pode ser observada através da Figura 6.

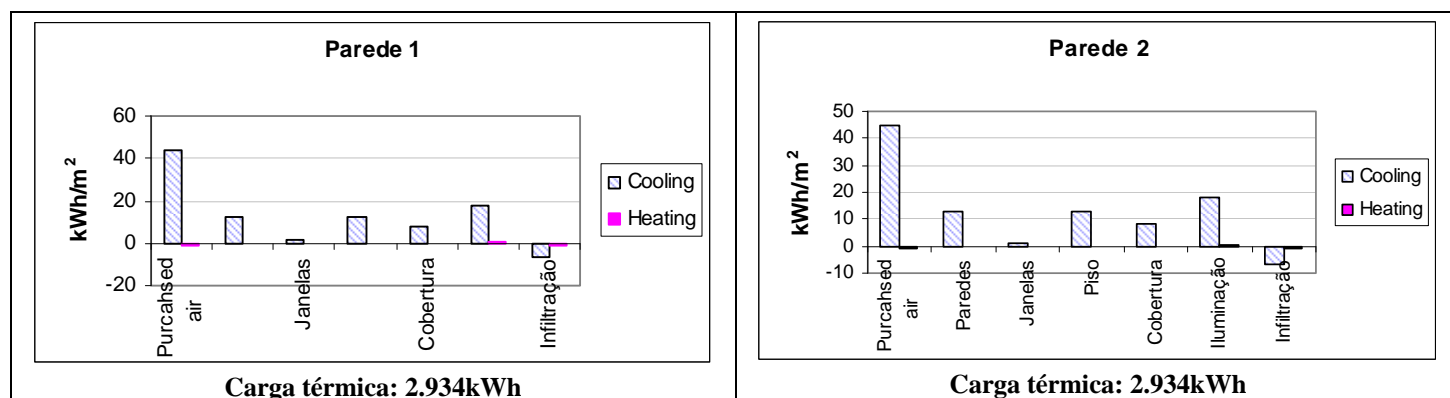


Figura 6 - Influência da inércia térmica – Florianópolis.

Para Florianópolis a maior redução da carga térmica ocorreu quando se utilizou concreto internamente (Parede 1), reduzindo 27% do valor da carga térmica quando comparado com o Caso 600, para a utilização da Parede 2 a redução foi de 25%. Nota-se que para ambas as cidades a redução da carga térmica é semelhante para a utilização da Parede 1 como para a utilização da Parede 2.

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados da simulação realizada para o cálculo do balanço térmico do Caso 600, pode-se concluir que os valores encontrados com a soma das variáveis de ganho e perda de calor hora a hora estão coerentes quando comparados aos valores do *purchased air*, indicando que o modelo foi bem representado pelo usuário. O balanço térmico permite que o usuário analise os ganhos e perdas de calor através dos elementos opacos, originados para cargas internas e cargas para o envelope.

A utilização do isolante térmico nas paredes de edificações localizadas em climas com invernos rigorosos torna a edificação mais confortável internamente pelo fato de manter a temperatura interna por mais tempo constante, gerando assim uma redução no valor da conta de energia elétrica. No entanto, esta pesquisa demonstra que dependendo do clima no qual a edificação está inserida a utilização de isolamento térmico poderá aumentar o valor da carga térmica integrada. Nas regiões mais quentes, uma envoltória muito

isolada dificulta a dissipação dos ganhos internos e solares para o exterior. Este fato contribui para a elevação da temperatura interna, exigindo uma maior utilização de sistema de condicionamento de ar.

Adicionando inércia nas paredes do Caso 600 para os climas de Denver e Florianópolis, observou-se que tanto o funcionamento do *purchased air* de resfriamento como o de aquecimento diminuem. Pode-se concluir que com a inércia nas paredes, a capacidade térmica ajuda a reduzir as cargas anuais.

A orientação da fachada principal da edificação é de extrema importância na construção. Pois, dependendo da época do ano, algumas paredes recebem uma maior incidência solar do que outras paredes da edificação. Este fato irá influenciar no valor da carga térmica total que é transferida para o interior da instalação. Desta forma, a carga térmica incidente em uma edificação poderá ser reduzida, utilizando-se uma orientação adequada.

Mas, deve-se ressaltar que a economia de energia vai depender do clima; do tamanho e da forma da edificação; das áreas envidraçadas; das cargas internas; das propriedades dos materiais utilizados na construção, além do tipo e da eficiência dos sistemas de condicionamento de ar existentes.

Este método pode ser utilizado para otimizar as variáveis da envoltória frente a combinação de cargas internas, ganhos através da envoltória, ganhos internos em um dado clima e volumetria.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

C. A. BALARAS, The role of thermal mass on the cooling load of buildings. An overview of computational methods, *Energy and Buildings* 24 (1996) 1-10.

ASHRAE, 2004. **ANSI/ASHRAE Standard 90.1-2004**: Energy Standard for Building Except Low-Rise Residential Buildings. American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc. USA, Atlanta: 2004.

BRASIL. Decreto Nº 4.059, de 19 de dezembro de 2001. Regulamenta a Lei Nº 10.295 e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 20 dez. 2001.

_____. Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional**. Brasília, DF, 2007. Disponível em: <http://www.mme.gov.br>.

CHVATAL, K. M. S.; MALDONADO, E. A. B.; CORVACHO, M. H. P. 2005. Study of the impact of the increase of the thermal insulation of the building envelope upon its thermal performance. *PALENC – Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment*, 2005.

DOE, Department of energy. EnergyPlus version 2.0. [S.l.]: US Department of Energy, 2007. Disponível em: <<http://www.energyplus.gov>>

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. Disponível em: <http://www.ipcc.ch> .

MCBRIDE, M.F. 1995. “Development of Economic Scalar Ratios for ASHRAE Standard 90.1R”. VI Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings, 1995.

PROCEL, Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, 2007. Disponível em: <http://www.procel.gov.br>