

## **AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO DE UMA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL SEGUNDO DESIGN BUILDER.**

**Bianca Negreiros (1);**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Caixa Postal 1524 - Campus Universitário Lagoa Nova, CEP 59072-970 Natal - RN - Brasil,

(1) 84 3215-3722. e-mail: bianegreiros@hotmail.com

### **RESUMO**

**Proposta:** O presente trabalho discute as análises do desempenho térmico de um protótipo de edificação de interesse social a partir de simulações realizadas no Design Builder 1.0. O objetivo é caracterizar o comportamento térmico da habitação através da análise de fluxo de calor dos fechamentos desta. Com a introdução recente do Design Builder no Laboratório de Conforto Ambiental (LABCON/ UFRN), o desempenho está sendo avaliado para que, no futuro, sejam comparados os resultados de simulações com os de monitoramento. **Método de pesquisa:** simulação computacional. As simulações consistem na adoção de rotinas representativas, no emprego de um arquivo climático TRY, na reprodução da geometria e das características termofísicas dos materiais comuns aos modelos. **Resultados:** Os resultados comparados são os fluxos de calor e as ocorrências de temperaturas de bulbo seco na faixa de conforto térmico. A habitação utilizada, construída no campus da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, faz parte do projeto de pesquisa Rede de Pesquisa em Eficiência Energética de Sistemas Construtivos/Habitare. O protótipo utiliza o sistema construtivo de painéis de concreto celular e é composto de dois quartos, banheiro, uma sala e cozinha integrada. **Contribuições:** A edificação foi projetada para servir de referência para os estudos de validação de softwares para o clima local e para difundir práticas construtivas apropriadas.

Palavras-chave: desempenho térmico, simulação computacional, edificação de interesse social.

### **ABSTRACT**

**Proposal:** This work argues thermal comfort evaluation of a social interest habitation archetype from simulation made in Design Builder 1.0. The objective is to characterize the archetype thermal performance through its heat flow envelope analysis. The recent introduction of Design Builder in the Laboratory of Ambient Comfort (LABCON/ UFRN) allows evaluation of the performance so, in future, they can be compared with the monitoring results. **Methods:** computational simulation. The simulations consist in adoption of representatives routines, thermal references years (TRY), reproduction of the geometry and thermofysics characteristics of the materials used. **Findings:** The compared results are heat flow and dry bulb temperature in thermal comfort zone. The habitation used, built in the campus of Universidade Federal do Rio Grande do Norte, is part of the project Net of Research in Energy Efficiency of Constructive Systems/ Habitare. The archetype is made of cellular concrete panels and it is composed of two bedrooms, a bathroom and a living room with integrated kitchen. **Value:** The habitation was designed to serve of reference for softwares validation studies to local climate and to spread out appropriated constructive practices.

Keywords: thermal performance, computational simulation, social interest habitation.

# **1 INTRODUÇÃO**

## **1.1 Simulação Computacional**

A simulação do desempenho térmico e energético é realizada através de programas computacionais que reproduzem os fenômenos físicos de uma edificação virtual modelada. Os primeiros programas de simulação computacional surgiram nos anos 70, em meio à crise de energia, motivados pela necessidade de se testar alternativas para construções com menor impacto energético. A evolução da informática, nas décadas seguintes, possibilitou o aprimoramento de programas voltados para o auxílio à concepção de projetos, oferecendo meios de se mensurar o ganho energético, através de análises de elementos como a geometria do edifício, sistemas de iluminação e ventilação adotados, além da rotina de utilização da edificação (MENDES et al 2001).

Softwares mais recentes permitem grande refinamento quanto às trocas térmicas entre o meio interno e externo, que ocorrem pelos elementos de envoltória opacos e translúcidos (VITTORINO et al 2004). Normalmente os programas de simulação energética trabalham com três grupos de variáveis principais, que reúnem uma série de parâmetros de influência sobre o desempenho térmico da edificação: variáveis climáticas locais; variáveis de projeto (layout interno, geometria, propriedades termo-físicas da construção etc), e variáveis de uso e ocupação (rotinas, cargas térmicas internas, uso de equipamentos etc.) (OLIVEIRA, 2006).

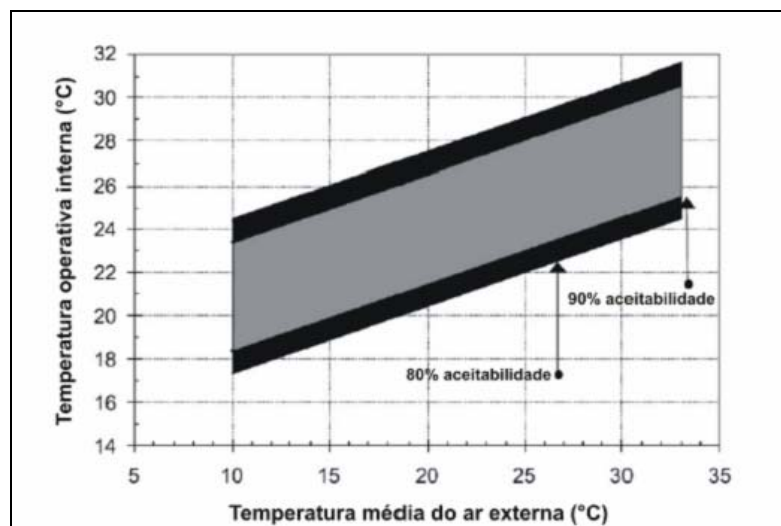
O Design Builder, software escolhido para desenvolvimento da pesquisa, é uma interface gráfica para o programa de simulação térmica dinâmica EnergyPlus. As pré-definições permitem que se atribuam aos modelos dados características de construções, atividades, ocupações, sistemas de climatização e iluminação. O projetista pode construir pré-definições, consoante às necessidades de cada projeto, sendo possíveis alterações desde o nível mais geral - o edifício - ao nível mais detalhado - partes constituintes das zonas, como paredes, tetos, janelas, etc. Algumas das possibilidades são: modelar sistemas de ventilação natural para controlar a abertura de janelas, controle de iluminação, análise de sombreamento para cada dia do ano e dimensionamento das unidades de climatização feito com base em dados climáticos.

A base de dados inclui o último conjunto de dados climáticos e de localização ASHRAE em nível mundial, bibliotecas pré-definidas, que permitem definir materiais e construções, atividades e sistemas de iluminação e climatização. Também é possível criar bibliotecas de pré-definições personalizadas, caso seja útil utilizar determinadas definições em várias construções e edifícios. Por fim, os dados das simulações são apresentados sem necessidade de se recorrer a módulos externos. No entanto, esses dados podem sempre ser exportados, caso o utilizador tenha uma necessidade específica. (NATURAL WORKS, 2002)

## **1.2 Critérios de Desempenho**

Os critérios de avaliação do conforto térmico para clima quente e úmido ainda são polêmicos e apresentam restrições. Não há um único critério satisfatório em bibliografia que contemple os efeitos da temperatura de bulbo seco, umidade relativa, velocidade do ar e temperatura radiante média. Assim adotou-se a variável clássica de avaliação, através da temperatura de bulbo seco interna, visto que esta é a que apresenta maior impacto sobre a sensação de conforto.

A inclusão da adaptabilidade foi implementada pela proposta de De Dear e Brager (2002) que propõem uma faixa de conforto térmico que relaciona a temperatura média do ar externo com um intervalo de temperatura operativa interna. Os limites de conforto para edificações nesse modelo são definidos por  $T_c \pm 2,5^{\circ}\text{C}$  para 90% de pessoas satisfeitas e  $T_c \pm 3,5^{\circ}\text{C}$ , para 80% (Gráfico 1).



**Gráfico 1** – Norma de conforto adaptativo (ACS) proposto pela ASHRAE Standard 55-2004 para edificações naturalmente ventiladas (DEAR e BRAGER, 2002)

De acordo com Dear e Brager (2002), o modelo adaptativo adotado é representado pela eq. 1:

$$T_c = 0.31T_e + 17.8 \text{ (eq 1)}$$

Onde:

$T_c$  = temperatura de conforto

$T_e$  = temperatura externa

Recomenda-se este modelo para espaços condicionados naturalmente, onde as condições térmicas são controladas principalmente pela abertura e fechamento de janelas:

- podem ter aquecimento artificial, mas não se aplica quando em funcionamento;
- não podem ter sistemas mecânicos de resfriamento;
- podem ter sistemas de ventilação mecânica, porém sem condicionamento de ar;
- os ocupantes devem estar em atividade sedentária (1-1.4 met) e estarem livres para adaptar a vestimenta e as condições térmicas entre o interior e o exterior.

### 1.3 O protótipo

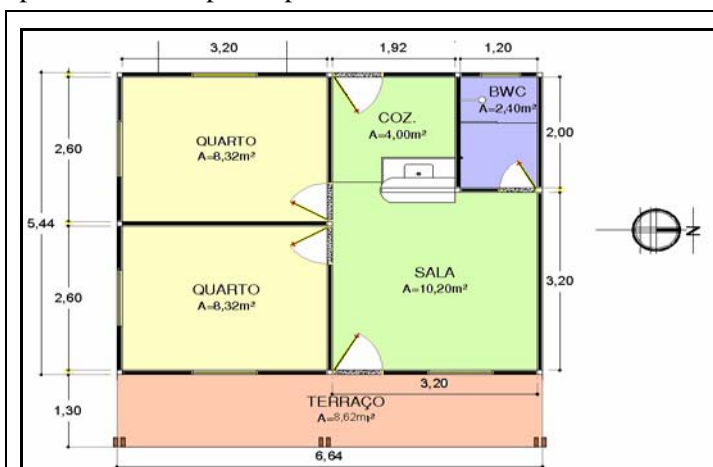
O protótipo utilizado faz parte do projeto de pesquisa Rede de Pesquisa em Eficiência Energética de Sistemas Construtivos (REPESC) que tem como objetivo geral consolidar uma rede de pesquisa regional voltada ao estudo do desempenho térmico de sistemas construtivos para o Nordeste, considerando as particularidades climáticas, econômicas e sociais. O interesse das pesquisas pertinentes ao projeto está concentrado em sistemas construtivos que otimizem o conforto térmico no ambiente construído e que reduza os gastos de energia necessários ao condicionamento ambiental. Busca-se enfatizar o uso de materiais desenvolvidos por empresas locais, que apresentem eficiência, baixo custo e baixo impacto ambiental. O grupo é integrado por pesquisadores das áreas de arquitetura e engenharias de diversas universidades, com reconhecida produção na área de conforto ambiental e desempenho térmico de sistemas construtivos (HABITARE, 1994).

A elaboração do projeto do protótipo buscou conciliar as estratégias de conforto térmico recomendadas para o clima local (quente e úmido de baixa latitude) às condições de mercado propostas pela empresa 2A, interveniente da pesquisa. Uma das estratégias que se valorizou foi a possibilidade de ventilação cruzada nos ambientes, o que justifica a existência de duas janelas nos

quartos, instaladas para permitir esta ação. O foco foi também a otimização no uso do sistema construtivo, aproveitando as vantagens da pré-fabricação, através da modulação e elaboração detalhada e integrada dos projetos complementares.

O sistema construtivo utilizado nas envoltórias laterais do protótipo consiste em painéis modulados em concreto celular espumoso. Este material é uma mistura homogênea de argamassa com espuma, gerando um material fluido que logo em seguida é despejado sobre as fôrmas nas dimensões-padrão da construtora. Vãos de aberturas e dutos para a passagem de instalações elétricas e hidrosanitárias já são locados durante esta fase, com o objetivo de evitar a quebra do painel depois de pronto. As dimensões padrão da construtora são 2,45m de altura por múltiplos de 80 cm na largura.

A coberta, feita com telhas cerâmicas, possui inclinação de 25% e beirais de 60cm. Os ambientes que constituem o protótipo são: dois quartos, um banheiro, uma sala e cozinha integradas e uma área de terraço. O protótipo apresenta dimensões de 5,44 x 6,64m resultando numa área total de 45,15m<sup>2</sup>. A planta baixa do protótipo com suas dimensões está ilustrada na Figura 1.



**Figura 1** – Planta-baixa do protótipo de habitação social



**Figura 2** – Perspectiva do protótipo de habitação social

## 2 OBJETIVO

O objetivo deste artigo é caracterizar o comportamento térmico de uma habitação de interesse social através da análise de fluxo de calor dos fechamentos desta. Para isto é feita identificação da contribuição de cada elemento da construção em separado no desempenho térmico da habitação.

## 3 METODOLOGIA

Durante as simulações são definidos os parâmetros de influência no desempenho térmico da edificação. Esses parâmetros são as variáveis climáticas, de projeto e de uso e ocupação adotados. Os dados climáticos utilizados nas simulações são do tipo TRY (Typical Reference Year) e as variáveis de projeto e de uso e ocupação utilizados estão descritos abaixo:

Considerando-se a casa adequada para 4 pessoas foi utilizada uma taxa de ocupação de 0,08 pessoa/m<sup>2</sup> no horário de 8:00 as 18:00h durante todos os dias da semana incluindo os sábados e nenhuma ocupação nos domingos. O metabolismo adotado foi de 110 W/pessoa e fator 0,9. As vestimentas foram admitidas com valores de 1,0 clo para inverno e 0,5 clo para verão.

As variáveis de controle do ambiente foram fixadas em uma quantidade máxima de ar fresco por pessoa de 10 litros/segundo x pessoa e uma iluminância mínima de 150lux e foi adotado ganho de 5W/m<sup>2</sup> por parte de equipamentos de escritório.

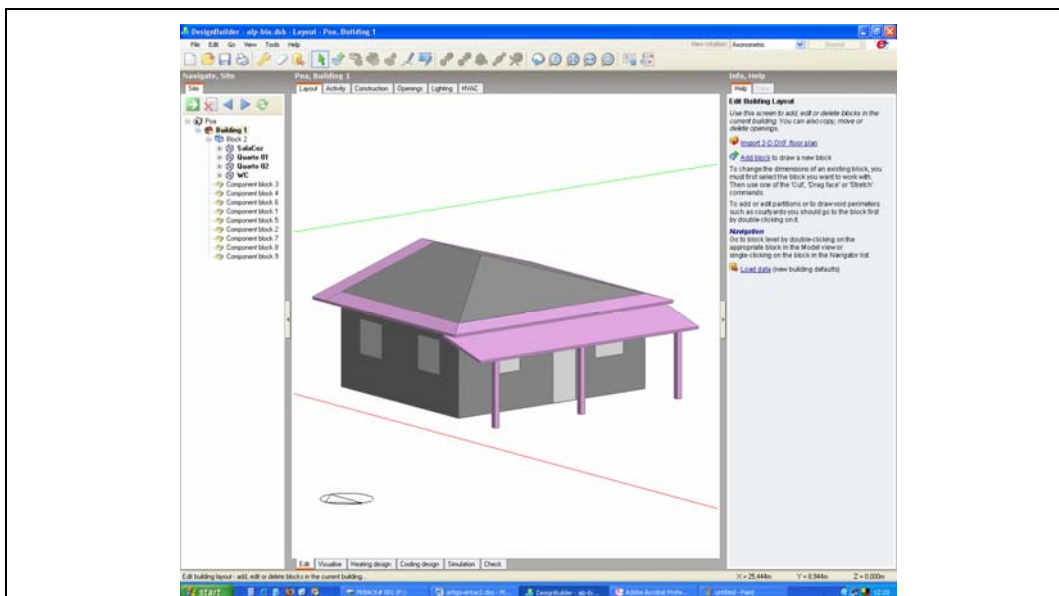
Com relação aos materiais de construção foram adotados os seguintes valores:

- Paredes: parede de concreto celular de 0,08cm de espessura, transmitância  $U=3,03 \text{ W/m}^2\text{K}$  e

absortância de 20%;

- Coberta: telha cerâmica 1 cm de espessura, transmitância  $U=6,667 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  e absortância de 60%.
- Portas externas de metal de transmitância  $U=3,124 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  e portas internas de madeira de transmitância  $U=2,823 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ .
- Piso de 1 cm, transmitância  $U=4,636 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  e absortância de 70%;
- Sub-superfície das paredes: piso 1 cm;
- Sub-superfície internas: piso 1 cm;
- Sub-superfície da cobertura: cerâmica 1 cm;
- Massa térmica interna de concreto com transmitância  $U=4,73 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ;
- Infiltração do ar de 0,5 troca por hora.

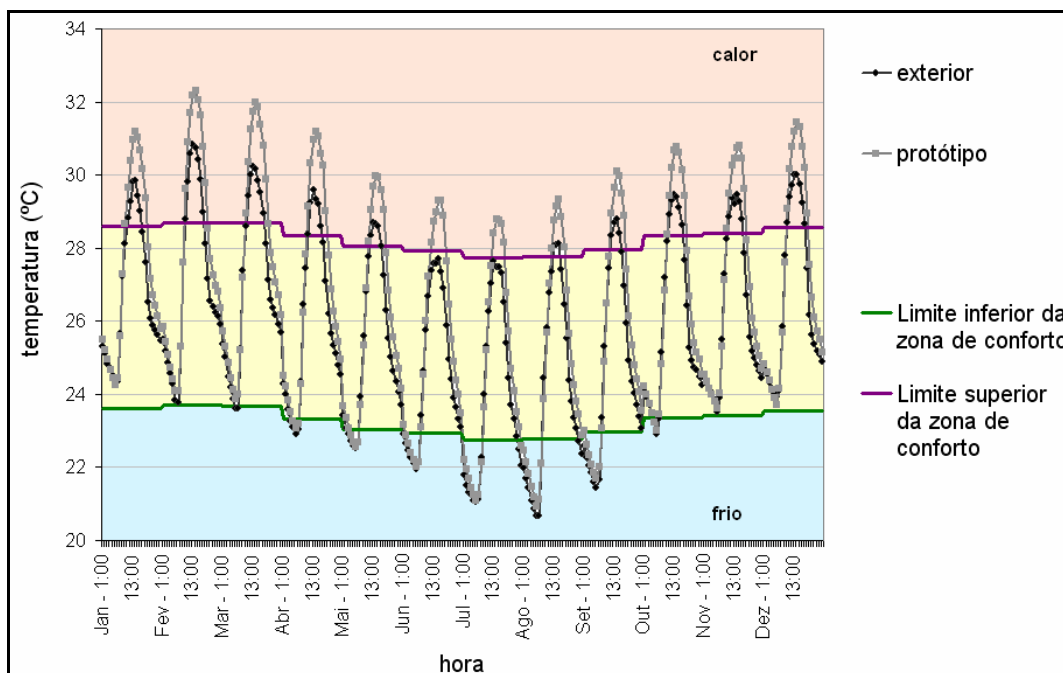
Os parâmetros adotados para as aberturas foram de uso de vidro simples de fator solar  $=0,907$ ; transmissão solar direta  $= 0,9$ ; transmissão de luz  $= 0,892$  e transmitância  $U = 6,306 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ . com 50% da área de abertura aberta durante todos os dias o dia todo. As rotinas de iluminação adotaram valores de  $4 \text{ W/m}^2$ , com horários compatíveis com uma casa de habitação social e o sistema de climatização ficou apenas com ventilação natural.



**Figura 3** – Vista do modelo simulado no programa Design Builder

## 4 ANÁLISE DE RESULTADOS

De acordo com o Gráfico 2 tem-se que o protótipo atingiu temperaturas mais elevadas que a temperatura externa em 85% do ano. De acordo com a equação do modelo adaptativo adotado, encontra-se a zona de conforto variável e tem-se que em 15% das horas do ano a temperatura do ar no interior do protótipo encontra-se na zona de desconforto ao frio, 30% das horas em zona de desconforto ao calor e 55% das horas encontra-se na zona de conforto. O clima externo apresenta 18% das horas do ano em desconforto ao frio, 23% de desconforto ao calor e 59% em zona de conforto.



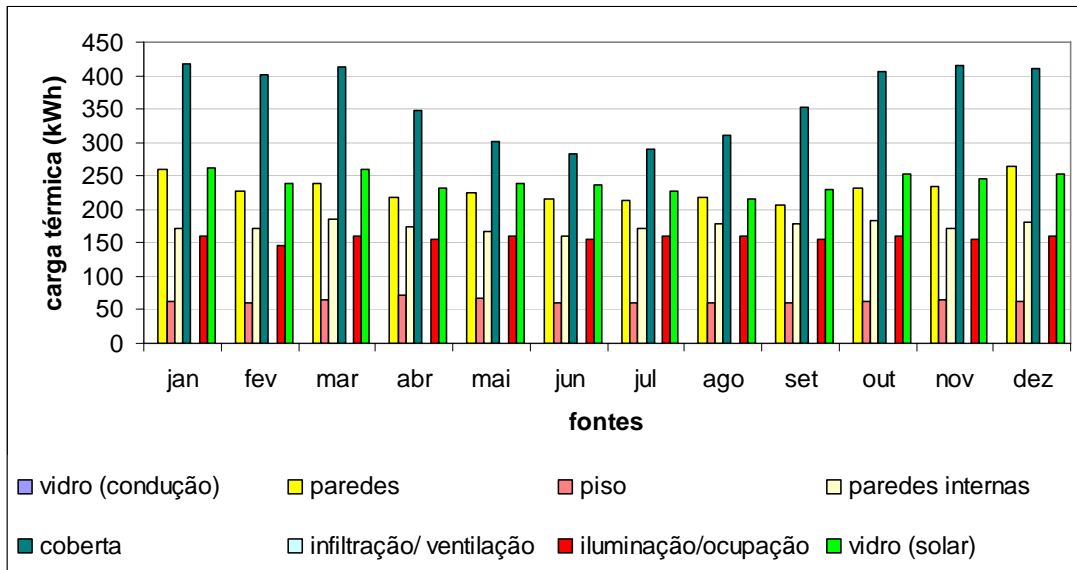
**Gráfico 2** – Zona de Conforto e média de temperatura externa e do protótipo

O comportamento térmico do protótipo é função da resultante das cargas térmicas incidentes ou geradas no modelo. O somatório das cargas térmicas de aquecimento e resfriamento é que determina o comportamento térmico da edificação. Se for positivo, representando que o modelo está ganhando calor do meio, a temperatura interna tende a aumentar. Se for negativo, representando perda de calor para o meio, a temperatura tende a cair. O resultado da simulação mostra que os componentes com maior contribuição para ganho de calor são cobertura, paredes e vidro (Gráfico 3).

Os maiores ganhos vêm da cobertura, que responde por 29% da carga térmica incidente e apresentam maior variação ao longo do ano comparado aos demais fatores. Os meses com maior valor de ganho térmico correspondem ao período do verão. Nos meses de junho e julho, inverno, a carga térmica incidente é menor, implicando em menor temperatura interna, também representada na Gráfico 2

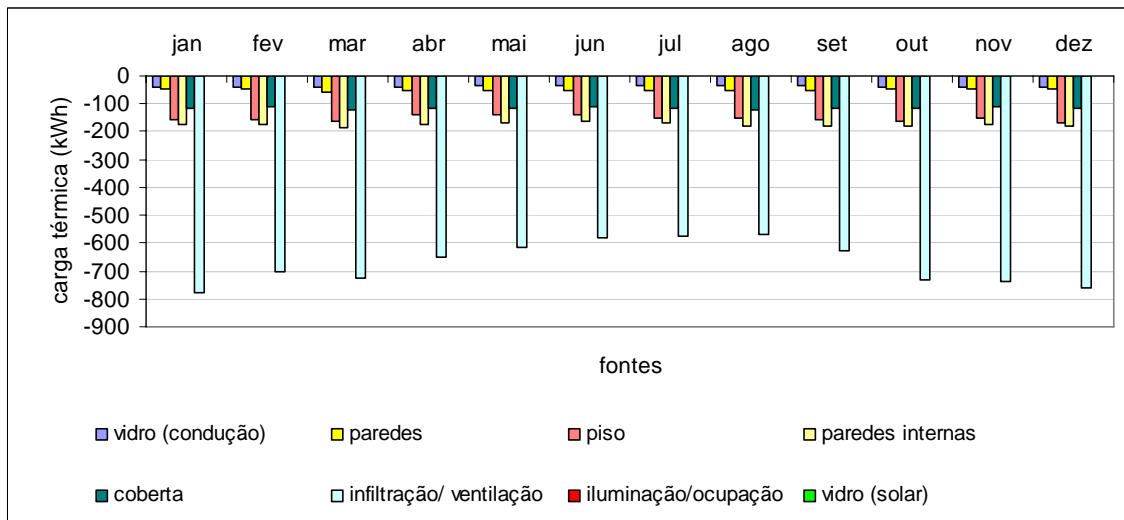
Os dados de radiação incidente no plano horizontal contido no arquivo climático atingem valores de até 1300 W/m<sup>2</sup>. Considerando a absorvidade da cobertura de 60%, significa que nas horas de maior altura solar a cobertura contribui com até 780W/m<sup>2</sup>. Logo, como a área da cobertura é bastante significativa no somatório da envoltória de edificações térreas, fica evidente o cuidado a ser dispensado na escolha adequada do sistema construtivo adotado para a cobertura.

O vidro, através da radiação, é o segundo maior contribuinte (20%), no entanto não apresenta grande variação. De acordo com o fator solar do vidro simples das janelas (90%) o ganho térmico chega a um valor de 1170 W/m<sup>2</sup>. Desta forma, a área de vidro, apesar de ser menor do que a área de paredes tem maior contribuição ao aquecimento devido ao seu alto valor de fator solar. Logo, o sombreamento da área envidraçada torna-se indispensável a fim de evitar ganhos térmicos excessivos pela radiação solar direta. O mesmo raciocínio aplica-se às paredes. Tendo em vista que mesmo a adoção de cores claras nas faces externas da envoltória implica numa absorvidade superior a 20%. O sombreamento, além de reduzir significativamente os ganhos térmicos, permite ao arquiteto maior liberdade na escolha das cores, sem que isto acarrete em ganhos térmicos para o meio interno.



**Gráfico 3** - Gráfico de cargas térmicas de aquecimento

Tratando-se de edificação sem climatização artificial, a principal carga de resfriamento que pode ser declarada na modelagem é a contribuição da ventilação natural. A simulação mostra que os componentes com maior contribuição para retirar calor do modelo foram ventilação (56%), seguida com grande diferença pelas paredes internas (15%) e piso (13%) (Gráfico 4). A variável ventilação possui variação ao longo do ano, o que não acontece na mesma proporção com as demais variáveis. Fato este possivelmente atribuído a posição das aberturas em relação ao ângulo de incidência do vento predominante, que varia mensalmente. Todavia, os menores valores de resfriamento ocorrem justamente nos meses de julho e agosto, quando as temperaturas externas são mais amenas (Gráfico 2).



**Gráfico 4** – Gráfico de cargas térmicas de resfriamento

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma das maiores dificuldades para avaliar o desempenho térmico é a demarcação de critérios baseados em predição de conforto térmico para edificações de clima quente e úmido condicionadas passivamente. O critério de avaliação através da análise de temperatura operativa era um desejo, no entanto o cálculo desta, segundo ISO (1994), depende da eq.2:

$$t_o = At_a + (1 - A)t_r \quad (\text{eq. 2})$$



Onde:

$t_o$  : temperatura operativa

$A$  : depende da faixa de velocidades, sendo 0.5 para  $v < 0.2$  m/s, 0.6 para  $0.2 < v < 0.6$  m/s, e 0.7 para  $0.6 < v < 1,0$  m/s

$t_a$  : temperatura do ar

$t_r$  : temperatura radiante média

No entanto, o programa de simulação não fornece a velocidade interna do ar, apenas o número de renovações impossibilitando o cálculo da temperatura operativa. O critério de análise de temperatura interna do ar foi então adotado através da distribuição de temperatura anual na zona de conforto adaptativa, que mostrou o protótipo em conforto em 55% das horas.

Uma das estratégias para o clima de Natal é tentar aproximar a temperatura interna da externa, através do uso da ventilação natural. Desta maneira, percebe-se que o protótipo tende a seguir esta recomendação na maior parte do ano. Portanto o sistema construtivo adotado é adequado para o clima local, pois não acumula calor. Os picos de temperatura que ocorrem no verão podem ser reduzidos pela adoção de algum elemento isolante a ser utilizado, como forro, e pelo melhor sombreamento das aberturas e paredes, através do paisagismo do entorno.

Com relação às cargas térmicas alguns componentes contribuem tanto para aquecer o ambiente quanto para resfriar (Gráfico 5). De acordo com este resultado algumas considerações podem ser feitas. O vidro contribui para o aquecimento com radiação de maneira bem mais efetiva do que contribui para o resfriamento através da condução. Assim para uma melhoria do desempenho térmico desta habitação, o sombreamento, utilizando-se protetores solares nas aberturas, seria uma alternativa, no sentido de minimizar o aquecimento. O uso de materiais isolantes ao contrário traria problemas na perda térmica por condução. Da mesma forma, o uso de materiais isolantes na cobertura e paredes também trariam problema na perda térmica por condução.

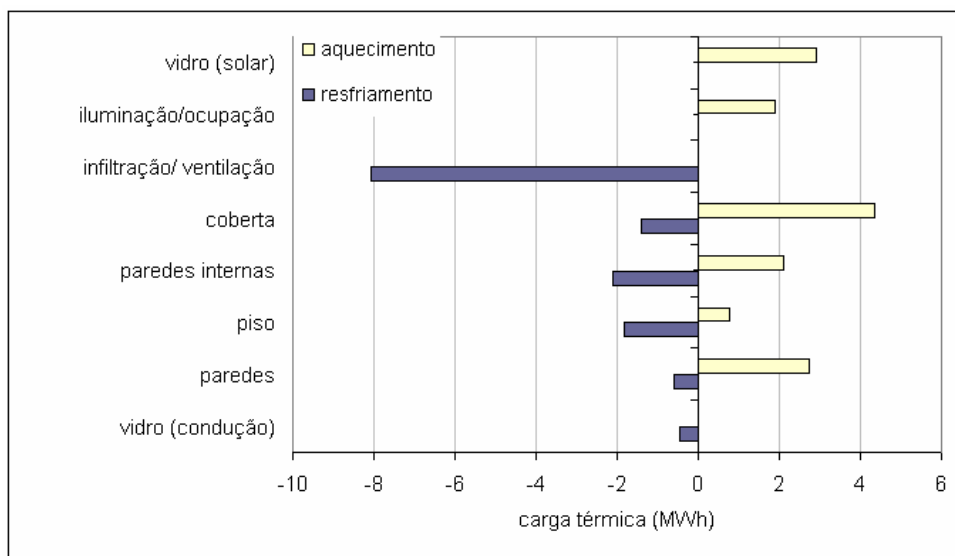


Gráfico 5 - Relação entre cargas térmicas positivas e negativas de cada variável.

## 6 REFERÊNCIAS

DE DEAR, R. J.;BRAGER, G. S. **Thermal comfort in naturally ventilated buildings**: revisions to ASHRAE Standard 55. Energy and Buildings. 34, 6, 549-561, JUL, 2002.



HABITARE. **Programa de tecnologia em habitação**. Projetos: informações. 1994. Disponível em: <http://www.habitare.org.br/DetalheProjeto.aspx> . Acesso em: 10 de janeiro de 2008;

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARTIZATION, **ISO 7730**: Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. Geneva, 1994. 31 p.

MENDES N.; LAMBERTS R.; CUNHA NETO, J. A. B. 2001. Building Simulation in Brazil. In: SEVENTH INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE - BUILDING SIMULATION 01, 2001, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Building Simulation, 2001.

NATURAL WORKS. **Empresa de consultoria em física de edifícios**. 2002. Design Builder. Disponível em: <http://www.natural-works.com>. Acesso em: 12 de janeiro de 2008;

OLIVEIRA, Alexandre G. de. **Metodologia para avaliação do desempenho térmico em residências unifamiliares no clima quente úmido**. 2006. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

VITTORINO, F. ; AKUTSU, M. **Validação de softwares aplicativos para simulação do comportamento térmico de habitações**, São Paulo: IPT, 2004. (IPT, relatório técnico, 72)