

# Energia solar na climatização passiva do ambiente construído

Sérgio Ricardo Lourenço  
Coordenador do curso de Engenharia  
de Produção Mecânica – Uninove.  
São Paulo – SP [Brasil]  
slourenco@uninove.br

O ambiente construído deve servir ao homem e ao seu conforto, proporcionando condições saudáveis de vida. Nesse ambiente, a intervenção humana remete ao ato de construir espaços internos e externos, alterando condições climáticas locais. A racionalização do uso de energia apresenta estreitos laços com a adequação da arquitetura ao clima, para evitar ou reduzir a adoção de sistemas de condicionamento artificial de aquecimento ou resfriamento. Assim, o menor consumo de energia para obtenção da climatização deve visar à melhora da eficiência energética. Neste estudo, uma das técnicas de climatização passiva é apresentada e comparada a outro método artificial que visa ao mesmo objetivo.

**Palavras-chave:** Climatização passiva.  
Eficiência energética. Parede de Trombe.



## 1 Introdução

A vida vegetal e a animal completam-se quando há estabelecimento entre matéria viva e mundo externo de forma que haja circulação da energia solar. Independentemente das formas pelas quais os organismos animais transformam a energia química dos alimentos, tudo ocorre a partir da combustão das substâncias ingeridas, cujo resultado final é a excreção dos produtos da oxidação. Do ponto de vista energético, ocorre produção de trabalho e calor. Portanto, os organismos animais são fontes de calor, pois necessitam de um gradiente térmico em relação ao meio externo para desenvolver sua atividade vital (COSTA, 1982).

Ao conjunto das transformações de matéria e energia que se relacionam com os processos vitais dá-se o nome genérico de metabolismo. Sendo essa a atividade dos organismos animais (troca de calor com o meio externo) e as condições climáticas altamente variáveis, é interessante analisar o mecanismo pelo qual eles podem manter o equilíbrio energético, de forma independente, tanto de sua atividade quanto da temperatura exterior. Um meio de manutenção desse equilíbrio seria a climatização do ambiente construído com o objetivo de manter, nos períodos quentes, temperaturas internas inferiores às externas e, nos períodos frios, temperaturas internas superiores às externas.

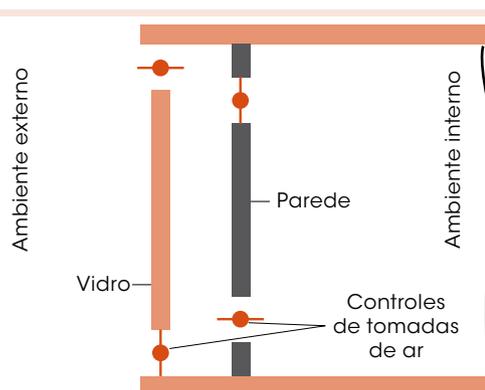
Neste estudo, pretende-se delinear, qualitativa e quantitativamente, uma comparação entre um mecanismo de climatização passiva, conhecido como parede de trombe, e um de climatização artificial, do ponto de vista do consumo energético necessário para manutenção do gradiente térmico do ambiente.

## 2 Climatização passiva

A climatização passiva consiste na criação e manutenção de um microclima sem a utilização

de máquinas ou equipamentos térmicos. Um sistema que utiliza esse conceito é a parede de trombe, construída em 1967, na França, pelo professor Félix Trombe (PALZ, 1995). Esse mecanismo utiliza a energia solar para aquecer ou resfriar um ambiente.

A Figura 1 esquematiza a parede de Trombe. Notam-se os controles de tomada de ar que são posicionados segundo a conveniência de uso, aquecimento ou resfriamento.



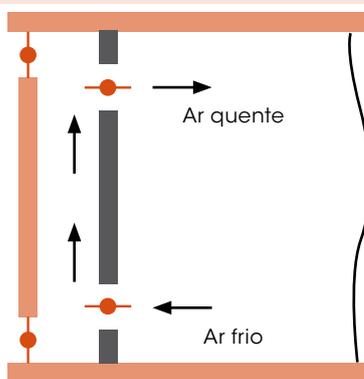
**Figura 1: Parede de Trombe**

Fonte: GAN, 1998.

Entre a parede e uma lâmina de vidro há espaço para circulação do ar, que é aquecido pela radiação solar e introduzido no interior da casa pelo efeito de termossifão, possibilitando, assim, o aquecimento do ambiente nos dias frios. O vidro evita que a parede perca calor por convecção e por radiação para o exterior. Por ser extremamente transparente às ondas curtas e opaco às longas, o vidro torna-se também pouco reflexivo em ambas as regiões do espectro. Essa opacidade à onda longa provoca o fenômeno conhecido por efeito estufa (LAMBERTS, 2004). Quando tal efeito é transmitido para dentro, o calor encontra dificuldade de sair pelo vidro e fica confinado no ambiente interior na forma de energia térmica (interna). Dessa forma, uma convecção induzida ocasiona a subida do ar quente que propicia fluxo de ar conduzido, por sua vez, pelos controles de tomada de ar, se-

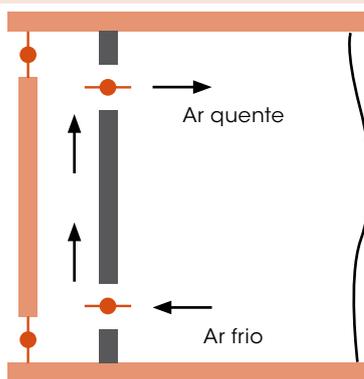
gundo a conveniência de aquecer (Figura 2), ou resfriar (Figura 3) o ambiente (COSTA, 1982).

O princípio de funcionamento é o mesmo para qualquer situação, diferindo apenas no sentido do fluxo de ar para aquecer ou resfriar o ambiente, necessitando de controle nas entradas e saídas de ar do sistema. O controle pode ser feito de forma manual ou automatizada, com sistemas de servomecanismos, por exemplo, que controlariam as condições dos ambientes internos e externos para manter a temperatura do ambiente nos níveis desejados (HINRICHS, 2003).



**Figura 2: Fluxo de ar para aquecer o ambiente**

Fonte: GAN, 1998.



**Figura 3: Fluxo de ar para resfriar o ambiente**

Fonte: GAN, 1998.

### 3 Carga térmica

A quantidade de calor que se deve fornecer ou extrair do ar do ambiente construído, para

mantê-lo em condições confortáveis de temperatura e umidade, é chamada de carga térmica. Os principais fatores ou fontes térmicas consideráveis no levantamento da carga térmica são:

- Climáticos: insolação, temperatura e umidade do ar externo;
- Humanos: calor gerado pelos ocupantes, dependendo da atividade física praticada (metabolismo) e do número de pessoas no ambiente;
- Arquitetônicos: fechamentos opacos, fechamentos transparentes, iluminação artificial, equipamentos, infiltração e renovação do ar.

Para o cálculo da carga térmica total ( $Q_T$ ), condução e convecção ( $Q_{CC}$ ), radiação ( $Q_R$ ), ocupantes ( $Q_O$ ) e iluminação ( $Q_I$ ), deve-se definir os coeficientes globais de transferência de calor ( $K$ ) para cada fechamento. Segundo Frota (1999), a relação que possibilita calcular o coeficiente  $K$  é descrita na equação 1:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} + \frac{e}{\lambda}}$$

(1)

em que  $h_i$  e  $h_e$  são os coeficientes de condutância térmica superficial interna e externa, respectivamente;  $e$  e  $\lambda$  são a espessura e o coeficiente de condutibilidade térmica do fechamento, respectivamente. Assim, a carga térmica total pode ser determinada pela somatória das cargas de cada fechamento por condução, convecção e radiação, conforme pode ser visto na equação 2:

$$Q_T = \Sigma Q_{CC} + \Sigma Q_R + Q_P + Q_I$$

(2)

Sendo  $k$  a transmitância térmica, inverso da resistência térmica total do fechamento,  $S$  a área do fechamento,  $\Delta T$  a variação de temperatura entre os ambientes interno e externo e  $\Delta \theta$  a variação entre as temperaturas das superfícies externas e



internas, segundo Frota (1999),  $Q_{CC}$  e  $Q_R$  podem ser calculados por meio das equações 3 e 4, respectivamente:

$$Q_{CC} = k \cdot S \cdot \Delta T \quad (3)$$

$$Q_R = k \cdot S \cdot \Delta \theta \quad (4)$$

A vazão  $\phi$  de ar necessária para manutenção da temperatura interna, em razão da carga térmica, pode ser obtida pela relação representada pela equação 5 (FROTA, 1999):

$$\phi = \frac{Q_T}{Ncd\Delta T} \quad (5)$$

em que  $N$  representa a taxa de renovação horária de ar do recinto,  $\Delta T$  é a diferença de temperatura do ar interno e externo,  $c$  e  $d$  o calor específico e a densidade do ar, respectivamente. Considerando a vazão de ar decorrente da diferença de pressão em uma coluna de ar em que há o gradiente de temperatura, tem-se a equação 6:

$$\phi = 0,14 \cdot S_1 \sqrt{h \cdot (1 - m) \cdot \Delta T_1} \quad (6)$$

A área da abertura de entrada e saída é  $S_1$ , e  $h$  representa a altura medida a partir da metade da altura da abertura de entrada de ar até a metade da abertura de saída do ar. O coeficiente de amortecimento térmico é representado por  $m$ ,  $\Delta T_1$ , a diferença de temperatura na coluna de ar (FROTA, 1999). A manipulação das equações 5 e 6 resulta na equação 7, que proporciona condições para cálculo da área necessária às aberturas e entrada e saída de ar:

$$S_1 = \frac{Q_T}{0,14cdN\Delta T \sqrt{h \cdot (1 - m) \cdot \Delta T_1}} \quad (7)$$

A radiação solar ( $I$ ) que atinge o vidro é objeto de estudo da Geometria da Insolação (LAMBERTS, 2004) e é função de vários fatores (entre os quais latitude, longitude e data) fundamentais na sensibilidade do fluxo de ar dentro da parede (GAN, 1998). Níveis mais elevados de intensidade de radiação permitirão fluxos maiores e, conseqüentemente, melhor eficiência no sistema. As dimensões da altura do canal e a distância entre o vidro e a parede são fatores relevantes para o sistema, pois o fluxo de ar é sensível a esses parâmetros (GAN, 1998).

## 4 Resultados e discussão

Para efeito de comparação entre o sistema passivo que utiliza a parede de trombe e um sistema de climatização artificial (aparelho de ar-condicionado), as equações descritas anteriormente serão aplicadas em um exemplo de projeto prático. Torcellini (2004) apresenta uma experiência prática aplicada a um projeto beneficiado com uso da parede de trombe; no estudo prático, há ganhos da ordem de 20% na economia anual de energia elétrica utilizada nos aquecedores de irradiação. Liping (2006), entretanto, utiliza a mesma técnica de climatização passiva para simular numericamente situações de aplicação da parede de trombe em um sistema de ventilação em edifícios. Em face da variação de parâmetros relevantes à sistemática de funcionamento e eficiência do processo, conclui-se que há ótima relação entre a área de tomada de ar e a altura da chaminé, o que possibilita obter maior fluxo na ventilação.

Na aplicação do uso da parede de trombe em situação real, será considerado um ambiente constituído por uma sala comercial quadrada de 16 m<sup>2</sup>, com pé direito de 2,8 m, laje de concreto de 0,2 m de espessura, paredes de alvenaria de 0,15 m de espessura, janela com abertura de 4 m<sup>2</sup> orientada a oeste e com vidro claro de 4 mm, ilumina-

ção de  $15 \text{ W/m}^2$  e habitada por quatro ocupantes. Como as condições de conforto do ambiente, além de outros parâmetros, são conseguidas de forma eficiente a  $24 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $297 \text{ K}$ ), essa temperatura será utilizada no projeto, sendo a temperatura externa de  $31^\circ\text{C}$  ( $304 \text{ K}$ ). A sala comercial está situada na cidade de São Paulo (latitude  $23^\circ 61'$ , longitude  $46^\circ 39'$ , altitude  $802 \text{ m}$ ), segundo a carta solar obtida com auxílio do *software* Solar (LABEEE, 2007) da cidade, o dia 22 de dezembro é a data mais crítica e, às 16 horas, a radiação solar, mais favorável,  $I = 704 \text{ W/m}^2$  (LAMBERTS, 2004).

Os dados para aplicação das equações são arrolados em seguida e estão disponíveis em Lamberts (2004). Percebem-se variações em razão dos materiais utilizados na construção do ambiente.

$$\begin{aligned} h_i &= 8,3 \text{ W/m}^2 \text{ K}; \\ h_e &= 25 \text{ W/m}^2 \text{ K}; \\ k_{\text{vidro}} &= 0,78 \text{ W/m}^2 \text{ K}; \\ k_{\text{concreto}} &= 1,1 \text{ W/m}^2 \text{ K}. \end{aligned}$$

Após aplicação das equações 1 a 4 e análise dos dados da situação apresentada, o cálculo permite chegar aos seguintes resultados:

- Coeficientes globais de transferência de calor ( $k$ )

$$\begin{aligned} k_{\text{laje}} &= 2,92 \text{ W/m}^2 \text{ K} \\ k_{\text{parede}} &= 3,57 \text{ W/m}^2 \text{ K} \\ k_{\text{vidro}} &= 6,04 \text{ W/m}^2 \text{ K} \end{aligned}$$

- Condução e convecção

$$\begin{aligned} Q_{\text{CC-laje}} &= 327,04 \text{ W} \\ Q_{\text{CC-paredes}} &= 1056,83 \text{ W} \\ Q_{\text{CC-vidro}} &= 169,12 \text{ W} \\ \Sigma Q_{\text{CC}} &= 1553 \text{ W} \end{aligned}$$

- Radiação

$$\begin{aligned} Q_{\text{R-laje}} &= 1074,56 \text{ W} \\ Q_{\text{R-leste}} &= 547,3 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{R-norte}} &= 18,87 \text{ W} \\ Q_{\text{R-oeste}} &= 547,3 \text{ W} \\ Q_{\text{R-vidro}} &= 1160 \text{ W} \end{aligned}$$

- Ocupantes

Cada ocupante cede ao ambiente, na execução de atividade moderada,  $65 \text{ W}$  (FROTA, 1999); quatro ocupantes, portanto:

$$Q_o = 260 \text{ W}$$

- Iluminação

$$\begin{aligned} Q_i &= 240 \text{ W} \\ \therefore Q_T &= 3847,7 \text{ W} \end{aligned}$$

Ao utilizar-se a equação 7, para  $m = 0,8$  (FROTA, 1999),  $N=10$  (FROTA, 1999), e ao considerar-se o aumento na temperatura do ar entre o vidro e a parede (FROTA, 1999), a área  $S_1$  necessária para que haja o fluxo satisfatório de ar é de  $S_1 = 0,77 \text{ m}^2$ . Essa área refere-se à área total de entrada e saída de ar, pois a diferença de volume entre as duas entradas é irrelevante (GAN, 1998).

Com a utilização de um aparelho de condicionamento artificial, ar-condicionado de janela, com capacidade de refrigeração de  $3 \text{ k W}$  ( $P$ ) (LAMBERTS, 2004), o consumo mensal de energia – calculado pela equação 8 – para essa carga térmica seria, em um período de sete horas diárias, em 22 dias por mês ( $\Delta t$ ):

$$E = P \cdot \Delta t \quad (8)$$

$$E = 462 \text{ kWh}$$

Percebe-se que a economia é relevante; no entanto, o dia considerado no projeto apresenta condições favoráveis para o funcionamento da parede de trombe em razão do grande fluxo de ar conseguido pela diferença de temperaturas (interna e externa). Por outro lado, ao longo dos outros dias do ano, com condições menos favoráveis de gradiente térmico, a necessidade do uso de equipamentos de



condicionamento de ar também é minimizada. Isso posto, é possível traçar, de acordo com as características da construção e ocupação, relação da economia proporcionada ao longo dos dias do ano. Para tanto, basta aplicar a mesma metodologia proposta neste trabalho, o que possibilitará dimensionar e mensurar, com maior exatidão, a economia obtida com a aplicação da parede de trombe.

## 5 Considerações finais

A utilização de equipamentos artificiais de climatização demanda grande consumo energético na arquitetura. Por isso, são necessárias alternativas que visem à substituição ou minimização dos custos com uso da energia. A relação custo-benefício propiciada pela climatização passiva torna-se bastante interessante em relação à eficiência energética, pois permite o uso de um recurso energético renovável: a energia solar.

Operacionalmente, a viabilidade técnica do projeto é conseguida com algumas modificações nos padrões e estilos atuais, visando à interatividade do sistema com a arquitetura corrente. No exemplo demonstrado, a economia mensal de energia elétrica seria de 462 kWh, no dia e cidade considerados.

Há que atentar que a aplicação desse tipo de climatização pode ser incorporada às novas edificações, pois, quando seu projeto é realizado em conjunto com a concepção do edifício, deve ter maior eficiência global.

### Solar energy in the passive acclimatization of the constructed environment

The indoor environment should serve the mankind, providing comfort and healthy conditions of life. In that sense, the human intervention in order to live along with the weather conditions

is expressed by building indoor and outdoor spaces. The energy rationalization is related to the adaptation of the architecture to the weather, in order to avoid or decrease the use of artificial conditioning systems for heating or cooling. So, lower energy consumption for acclimatizing has to converge to improve the energy efficiency. In this study, it is showed one of the passive acclimatization techniques and its comparison to other artificial methods with the same aim.

**Key words:** Energy efficiency.  
Passive acclimatization. Trombe wall.

## Referências

- COSTA, E. C. *Arquitetura ecológica: condicionamento térmico*. São Paulo: Edgar Blücher, 1982.
- FROTA, A. B. *Manual de conforto térmico*. 3. ed. São Paulo: Studio Nobel, 1999.
- GAN, G. A *Parametric study of trombe walls for passive cooling of buildings*. *Energy and Buildings*, New York, vol. 27, n. 1, p. 37-43, 1998.
- HINRICHS, R. A. *Energia e meio ambiente*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.
- LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES (LabEEE). *Sol-ar: software para obtenção de carta solar*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2007. Disponível em: <[www.labee.ufsc.br/downloads/downloads.html](http://www.labee.ufsc.br/downloads/downloads.html)>. Acesso em: 14 ago. 2007.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. *Eficiência energética na arquitetura*. 2. ed. São Paulo: PróLivros, 2004.
- LIPING, W.; ANGUI, L. *A numerical study of Trombe Wall for enhancing stack ventilation on buildings*. Geneve: The 23<sup>th</sup> Conference on Passive and Low Energy Architecture, 2006.
- PALZ, W. *Energia solar e fontes alternativas*. São Paulo: Hemus, 1995.
- TORCELLINI, P.; PLESS, S. *Trombe Walls in low-energy buildings: practical experiences*. Denver: World Renewable Energy Congress VIII and Expo, 2004.

Recebido em 21 maio 2007 / aprovado em 5 jun. 2007

#### Para referenciar este texto

LOURENÇO, S. R. Energia solar na climatização passiva do ambiente construído. *Exacta*, São Paulo, v. 5, n. 2, p. 253-258, jul./dez. 2007.