

50 - Protótipo de Aquecedor Solar para a Cidade de Passo Fundo, RS: Caracterização do Desempenho

Prototype of Solar Collector for the City of Passo Fundo-Rs: Characterization of Performance

CUNHA, Eduardo Grala da (1), MACHADO, Nino Roberto Schleder (2)

(1) Professor Doutor, Adjunto, Universidade de Passo Fundo – Curso de Arquitetura e Urbanismo, Campus I, BR 285 – Km 171, Bairro São José, (54) 33168216

e-mail: egcunha@upf.com.br – Bolsista CNPq

(2) Professor M.Sc., Titular, Curso de Arquitetura e Urbanismo, e-mail: nino@via-rs.net

Resumo

O artigo apresenta o projeto e a análise dos dados coletados durante os invernos de 2006 e 2007 do protótipo de aquecimento solar passivo, construído no Laboratório Anemométrico da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo, RS. O protótipo é caracterizado por uma estrutura metálica em alumínio, com as dimensões de 0.80 x 1.00 x 0.20 m, com fechamento em vidro 3 mm, transparente, com aberturas para entrada de ar na parte inferior, superior e lateral. O protótipo possui ainda uma persiana plástica utilizada para a proteção solar no verão. Na parede onde a primeira versão do equipamento foi instalado foram criadas duas aberturas superiores para permitir o aquecimento do espaço interior por intermédio, principalmente, da convecção. A primeira versão do protótipo foi caracterizada como “de ciclo aberto”, considerando que o ar a ser aquecido vem do espaço exterior. Na segunda, foram criadas duas aberturas inferiores para permitir o “ciclo fechado”, ou seja, o ar a ser aquecido é proveniente do espaço interior. Foram colhidos dados de temperatura de bulbo seco, umidade relativa do ar e temperatura superficial da parede interior nos meses de junho, julho, agosto e setembro. Foram utilizados dataloggers com sensores de umidade relativa e temperatura do ar nas aberturas inferiores, superiores, próximo da entrada de ar quente na sala e na parede posterior. Os dados mostraram uma performance de aquecimento chegando até 980 Wh/m² de área de absorção em dias com a abóboda celeste clara.

Palavras-chave: Aquecimento Solar Passivo; Aquecedor Solar; Calefação de Ambientes.

ABSTRACT

The paper presents the project and the analysis of the data collected during the winters of 2006 and 2007, of the passive solar heating prototype that was built in the Anemometric Laboratory of Architecture and Engineering College at the University of Passo Fundo, RS. The prototype is characterized by an aluminum metallic structure, measuring 0.80 m x 1.00 m x 0.20 m, with transparent glass 3 mm. thick and windows for the entrance of air in the lower, upper and lateral parts. The prototype also has a plastic window used for solar protection in the summer. On the wall, where the first version of the equipment was installed, two upper windows were created to allow the heating of the interior space, mainly through convection. The first version of the prototype was characterized as “open cycle heating”, considering that the air to be heated originates from the external space. In the second version of the prototype, two lower windows were created in order to allow the “closed cycle”, characterized by the heating of the inner air. Data of dry bulb temperature, air

relative humidity and superficial temperature of the inner wall were collected in the months of June, July, August and September. Dataloggers with humidity and temperature sensors were used in the lower and upper windows, closed to the heated air entrance, as well as on the back wall. The data showed a heating performance reaching up to 980 Wh/m² of absorption area in clear days.

Keywords: *Passive Solar Heating; Solar Heater; Heating Spaces.*

Introdução

O efeito do consumo de energia no aquecimento global é um dos motivos mais importantes para se adotar políticas de redução do desperdício de energia elétrica. Em 1995, 62% da energia elétrica mundial era gerada por usinas termoelétricas, causando grande poluição ambiental. Embora, atualmente, a geração de energia elétrica no Brasil esteja concentrada em usinas hidroelétricas, já estão em curso planos para implantação de centrais termoelétricas a gás, algumas delas já em funcionamento no Rio Grande do Sul. Entretanto, a condição para o desenvolvimento sustentável é a redução do consumo, mais do que a mudança de produção de energia elétrica, especialmente pela queima de combustíveis não renováveis e pela redução da poluição gerada, incluindo os resíduos. A grande disparidade entre os países industrializados e os em desenvolvimento tem levado ao aumento da pressão para aumentar e melhorar os serviços de energia, fornecendo-o àqueles que não o tem. Os que decidiram, interpretaram esta pressão como o indicativo para o aumento da geração de energia. A implementação dessas medidas, aliada ao crescimento da população, à densificação urbana descontrolada e ao consumo de produtos eletroeletrônicos, levou a um crescimento quase linear no consumo de energia dos países em desenvolvimento durante as últimas três décadas. Esse aumento é insustentável, de modo que um novo ponto de vista do problema energético é essencial, pois, além das implicações econômicas, a atual tendência de consumo de energia acarreta sérias conseqüências ambientais (CUNHA et al. , 2005, p.1). Segundo Reddy e Goldenberg (1998), um novo paradigma para o uso final urbano de energia é essencial. A energia não deve ser vista como um fim em si mesma ou como um serviço, mas como um meio de fornecer os serviços. São os serviços, não a energia, que diretamente satisfazem às necessidades da população. A mudança no que diz respeito à utilização de energias renováveis passa, inicialmente, pela revisão do método do projeto arquitetônico. Dentro de uma gama de conceitos presentes no processo de concepção, os aspectos vinculados ao meio ambiente e a sustentabilidade devem ser enfatizados de forma sistematizada. Em decorrência de aspectos como custos, falta de investimentos e apoio do poder público, carência na formação técnica dos arquitetos e da própria cultura local, são encontradas no Brasil muitas dificuldades na implementação e desenvolvimento de sistemas passivos de climatização e na utilização de recursos renováveis, como a radiação solar, por exemplo. No caso do sul do Brasil, onde são encontrados invernos muito rigorosos, com temperaturas negativas em alguns momentos, a parcela de energia gasta com a calefação de espaços é considerável. Tanto o custo despendido pelos usuários dos espaços, como também a infra-estrutura necessária para a geração da energia utilizada para tal tarefa são elevados. O objetivo deste artigo é a apresentação de uma proposta de um elemento de arquitetura cuja função principal é a calefação de espaços interiores, por intermédio do aproveitamento da energia proveniente da radiação solar.

O Clima de Passo Fundo – RS

A cidade de Passo Fundo localiza-se no planalto sul-rio-grandense, na cota média de 680 m acima do nível do mar, cuja altitude considerada para simulações é de 687,00 m, conforme localização da estação de coleta de dados, com o centro urbano na altitude de 709 m (ponto de cota máxima), situado nas coordenadas 28°15'46" sul e 52°24'39" oeste. Pela localização geográfica, Passo Fundo apresenta, de acordo com a classificação climática de Köppen, modificada por Trewartha (1954, p. 233-238; 302-312), o clima mesotérmico úmido (temperado), do tipo subtropical úmido-Cfa, caracterizado por temperaturas médias, no mês mais frio, entre 0 °C e 18 °C e no mês mais quente acima de 22 °C, ou seja, com verões quentes e um regime pluviométrico de chuvas bem distribuído durante o ano (nenhum mês com menos de 60 mm). Considerados esses aspectos, pode-se definir o clima local como sendo subtropical úmido de altitude.

O método de avaliação climática de Givoni (1969, p. 317-355) foi objeto de estudo das aplicações no caso de Passo Fundo, pois, além de oferecer elementos para associação de estratégias projetuais e conforto térmico, envolve também estimativas das condições do interior dos edifícios. Para tanto, utilizou-se a Análise Psicrométrica através da aplicação do programa computacional Analysis 2.0 Bio – desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética da Universidade Federal de Santa Catarina – Labeee-UFSC (UFSC,1999). Essa simulação já inclui as adaptações sugeridas por Givoni (1992, p.15) vinculadas aos limites de temperatura e umidade de países em desenvolvimento de climas quentes, como é o caso do Brasil, considerando, ainda, as diferenças de metabolismo dos indivíduos. Em termos práticos, são ampliados os limites inferiores – para frio – e superiores – para calor - da zona de conforto, sendo sugeridos os intervalos de 18 a 25°C para inverno e de 20 a 27°C para verão. Na prática, Givoni sugere que esses limites, na realidade, deveriam receber estudos relativos à climatização dos indivíduos, segundo suas especificidades locais/regionais, neste caso, adequada a classificação climática de Passo Fundo, diferente das condições predominantes no Brasil. Tais limites de temperatura, associados à umidade do ar, implicam na redução progressiva nos limites de temperatura de conforto. Givoni (1992, p.20-22) considera, ainda, adequações aos limites de conforto devido a prováveis ganhos térmicos internos à velocidade do ar adequado às atividades desenvolvidas no ambiente. Utilizando-se os dados de temperaturas e umidade relativa de 2000, definido como Ano Climático de Referência – TRY, de acordo com os dados observados pela EMBRAPA (2001), observadas as 8.760 horas totais do ano, a análise climática local resultou em uma carta. Quanto às temperaturas mínimas observa-se que são necessárias estratégias de aquecimento adicional contínuo, pois os limites estão abaixo dos considerados como mínimos para conforto. Assim, os resultados proporcionais para as situações de conforto e de desconforto ao frio e ao calor são as seguintes: Situação de conforto em 29,1% do ano; situações de frio em 57,5% do ano; e situações de calor em 13,4% do ano.

As zonas de atuação para as características climáticas de Passo Fundo, segundo o zoneamento bioclimático (ABNT, 2005), relacionam-se com a zona bioclimática 2, a qual inclui os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. As características climáticas desta zona podem ter suas indicações estendidas diretamente às zonas 1 e 3, cobrindo uma parcela de 12,98% do território nacional. Assim, as estratégias de condicionamento térmico indicadas são de aquecimento artificial (calefação), aquecimento solar passivo da edificação, massa térmica para aquecimento, desumidificação (renovação do ar) e, ainda, ventilação de conforto. O fato das quatro estações do ano apresentarem características climáticas bem

definidas faz com que seja necessário a consideração de estratégias projetuais que contemplem as situações dos períodos frio e quente. Nessa complexidade climática, a determinação dos princípios do desenho do edifício e a escolha dos materiais a serem empregados devem ser feitas de maneira a associar soluções para vários climas as quais devem ser utilizadas de forma cautelosa e com eventuais ajustes, conforme salienta Frandoloso (2001, p.84).

Concepção do Termo-Acumulador

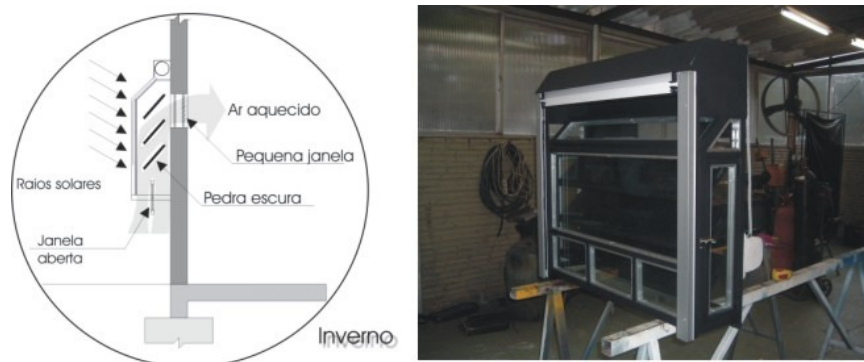
Sistemas de aquecedores solares passivos

Roaf (2006, p.173) apresenta sistemas de ganhos térmicos diretos e indiretos. Destacam-se os sistemas de ganho indireto – parede Trombe-Michel, parede de água, parede Barra-Constantini, estufas solares ou jardins de inverno de ganho semidireto, indireto e híbrido. Dentre os sistemas apresentados por Roaf (2006, p. 175) destaca-se ainda a estufa solar com termossifão. A radiação solar que penetra na estufa aquece o ar e aumenta a temperatura interna do espaço servido. O ar da estufa é transferido para o interior da edificação por intermédio das aberturas na parede divisória. Um efeito convectivo é produzido, explorando a estratificação térmica na estufa e otimizando o ganho térmico na edificação. Já Brown (2004, p.304) destaca entre os sistemas de ganhos indiretos os tanques de pedra, os quais são um meio de ampliação da massa térmica de uma edificação. O autor afirma ainda que, em sistemas passivos de aquecimento é vantajoso aumentar a armazenagem térmica além daquele disponível na estrutura da edificação. No caso da configuração 1 do protótipo, o princípio de funcionamento do termo-acumulador é semelhante ao da estufa solar com termossifão, com uma diferença no sentido da retro-alimentação do ar. O ar aquecido no termo-acumulador tem como origem o ambiente exterior, já na estufa solar com termossifão vem do espaço interior, ou seja, do compartimento condicionado. É o que acontece na configuração 2 do equipamento.

Projeto do termo-acumulador

O sistema tem como objetivo o aquecimento de ambientes por intermédio do aproveitamento da radiação solar direta em períodos de inverno. O dispositivo é composto por uma estrutura metálica, prismática, com dimensões de 0,80 x 0,50 x 0,20 m, com fechamentos horizontais e verticais em vidro comum 3 mm transparente. Na face superior do dispositivo foi implementada uma persiana plástica com o objetivo de controlar a radiação solar direta em períodos quentes. A escolha das dimensões do dispositivo projetado foram definidas a partir da análise das variáveis peso, custos e capacidade estimada de aquecimento do espaço interior. A proposta inicial foi a confecção de um dispositivo com peso inferior à 100 Kg, com um custo inferior à R\$ 500,00. As análises preliminares mostraram que considerando uma diferença de temperatura de até 35 °C entre o espaço interior e o exterior do dispositivo, dependendo do número de renovações do ar, poderiam ser gerados até 500 Wh para o contexto interior. A escala do equipamento projetado é bem menor do que a de uma estufa solar com termossifão. O protótipo foi implementado na fachada norte do Laboratório Anemométrico da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo, considerando a radiação solar direta em todas as horas do dia no período de inverno. No interior do dispositivo foi projetada a instalação de pedras graníticas com o intuito de acumular o calor gerado pela radiação solar direta. As figuras 1 e 2 ilustram o protótipo já construído e o projeto. Na situação de temperaturas mais elevadas o sistema de controle da radiação solar direta impede a entrada do raios diretos no período compreendido entre outubro e março, minimizando os ganhos térmicos indesejáveis. Nesse período deverá estar aberto o caixilho pivotante horizontal contido na parte superior do dispositivo,

possibilitando a saída do ar aquecido pela radiação solar difusa. A abertura na parede deverá estar fechada impedindo a entrada do ar aquecido no termo-acumulador para o ambiente interior. Na situação de inverno a radiação solar direta passa pelo fechamento transparente aquecendo as pedras graníticas contidas no espaço interior do dispositivo. A energia irradiada pelo fechamento opaco é acumulada no interior do dispositivo, provocando um aumento de temperatura do ar interior. O ar mais leve entra para o ambiente interior através dos caixilhos móveis na parede.



Figuras 1 e 2 – Projeto e construção do protótipo na FEAR, UPF

Metodologia de Análise dos Resultados

A partir da instalação do protótipo no Laboratório Anemométrico, foram monitoradas as variáveis ambientais, temperatura de bulbo seco, umidade relativa do ar, e temperatura superficial interna no período da manhã e tarde, nos meses de junho, julho e agosto de 2006 e 2007, para a realização da primeira análise de inverno, e setembro de 2007 para o monitoramento da alteração realizada no protótipo. O laboratório anemométrico é uma sala com 2,80 m x 4,30 m, com pé-direito de 2,70 m, e com uma área de 12 m². Possui uma janela de 2,50 m x 1,20 m, com vidro 3 mm pintado em a cor branca. É importante destacar que a parede externa tem um coeficiente global de transmissão térmica de 2,5 W/m²°C, estando de acordo com as prescrições da NBR 15220, Zona bioclimática 3. Para a realização das medições das variáveis climáticas foi observada a norma ISO 7726, a qual definiu o procedimento de aquisição de dados. Foram determinados dois pontos na sala monitorada, um próximo da janela e outro próximo da parede em lado oposto ao termo-acumulador. Os equipamentos utilizados foram quatro registradores de temperatura e umidade UTReg – S1615, marca Squiter que possuem sensores de temperatura e umidade relativa do ar embutidos. As medições foram realizadas a 1,20 m do nível do solo. Foi definido um dia típico de inverno no qual a temperatura estivesse no mínimo em torno dos 5 °C, temperatura de projeto para o contexto climático local segundo método ASHRAE (1993). Para a configuração 2, em decorrência da transformação de ciclo aberto para ciclo fechado ter ocorrido apenas no final de agosto, o dia típico de análise esteve com a temperatura mínima um pouco acima dos 5 °C, por volta de 6 °C. De posse dos dados temperatura exterior, temperatura interior na saída de ar do protótipo, da diferença de altura entre entrada e saída de ar no equipamento, foram determinadas as vazões horárias, utilizando a equação de Randall e Canover (Silvani, 2005), e posteriormente, o ganho térmico horário no espaço interior. Posteriormente, foi determinada a carga térmica de aquecimento e verificado o percentual do calor necessário fornecido pelo termo-acumulador. É importante salientar que foram testadas duas diferentes configurações do protótipo. A primeira versão já foi apresentada no item projeto do termo-acumulador, definida como de ciclo aberto, caracterizada pelo aquecimento do ar exterior no interior do protótipo e posterior deslocamento para o ambiente. A segunda é caracterizada pela transformação do protótipo para o processo de aquecimento de

ciclo fechado, no qual o ar aquecido é o do ambiente interior, que desloca-se para o interior do protótipo por uma abertura inferior na parede de instalação. A figura 5 caracteriza esquematicamente a nova versão.



Figura 3 – Transformação do processo de aquecimento para ciclo fechado – esquema de funcionamento

No que diz respeito às condições de utilização da sala é importante salientar que a mesma permaneceu fechada durante a realização das medições. Nos dias em que a sala foi utilizada as medições não foram realizadas. No laboratório anemométrico existe uma luminária com duas lâmpadas fluorescentes de 40 W com reator eletrônico. Durante a realização das medições as lâmpadas estiveram desligadas, ou seja, não existiu nenhuma fonte de calor no espaço interior. Um outro aspecto a ser apresentado na metodologia de análise dos resultados é a definição de um indicador de desempenho para o termo-acumulador, uma relação entre a superfície de vidro (área em m^2) do protótipo e do volume de ar a ser aquecido (m^3). As tabelas 1 e 2 apresentam o indicador superfície/volume (S/V) e os percentuais de carga térmica de aquecimento alcançados ao longo do dia. Além do cálculo do indicador S/V para o dispositivo existente, com os respectivos percentuais de carga térmica de aquecimento fornecidos pelo equipamento, foram determinados também as relações ideais S/V para as configurações 1 e 2 do equipamento, objetivando com isso o fornecimento de 100 % da carga térmica de aquecimento necessária no horário de maior rendimento do protótipo.

Considerações Preliminares

No que tange à configuração 1 (C01) verifica-se um maior ganho térmico por volta das 16:00 h, gráfico 2, onde a temperatura interna do protótipo chegou a $34,17^\circ\text{C}$. Nesse período a vazão de ar aquecido chegou a $57\text{ m}^3/\text{h}$, 1,5 renovação do ar do ambiente por hora, proporcionando um ganho térmico de aproximadamente 380 Wh ou 440 Kcalh. Este valor correspondeu a 31,5% da carga térmica de aquecimento, no período mencionado, conforme gráficos 1 e 2. O dia típico de inverno definido foi o 1º de julho, no qual a abóbada celeste estava clara e com temperaturas extremamente baixas, a mínima próxima dos 4°C . Foi encontrada uma relação de $0,012\text{ m}^2$ (superfície de aquecimento)/ m^3 (volume do ar do ambiente interior). Para esta sala seriam necessários pelo menos $0,038\text{ m}^2 / \text{m}^3$, conforme tabela 1, a qual caracteriza a relação ideal S/V considerando a obtenção da carga térmica de aquecimento plena às 16:00 h. Para o período entre 14:00 h e 18:00 h a carga térmica de aquecimento obtida pelo protótipo variaria entre 61% e 100% da necessária. Diferentemente da configuração 2 a ser apresentada a seguir, a maior temperatura no interior do protótipo, $34,17^\circ\text{C}$, e no interior da edificação, $20,6^\circ\text{C}$, ocorreram as 16:00 h, ou seja, no mesmo horário, conforme gráfico 1. Este fato ocorreu em decorrência do ar aquecido insuflado para o ambiente pela convecção ser proveniente do contexto exterior, onde as temperaturas são bem inferiores à temperatura do protótipo

(16:00 h, 15,8 °C). É importante destacar que as medições da segunda configuração (C02) do protótipo foram realizadas em setembro, não estando de acordo com as melhores condições desejadas, porém ainda configurando uma situação de período frio. Perto das 16:00 houve alguns momentos de alteração das condições da abóbada celeste de clara para parcialmente coberta, que pode ser observada no gráfico 3. Ainda como resultados preliminares, observam-se nas tabelas 3, 4 e 5 os percentuais do calor necessário para o aquecimento da sala analisada nos meses de junho e setembro, e o comportamento do protótipo com as diferentes configurações S/V, 0,0123 (real), 0,0382 (simulada) e 0,0705 (simulada). Deve ser observado que para o cálculo do calor de aquecimento necessário para o período frio foi utilizada a metodologia da prescrição normativa de economia de energia alemã EnEV 2007, com as necessárias adaptações para o contexto brasileiro, a qual utiliza a metodologia graus-dia, e portanto, considera os períodos de análise diários desconsiderando a sazonalidade.

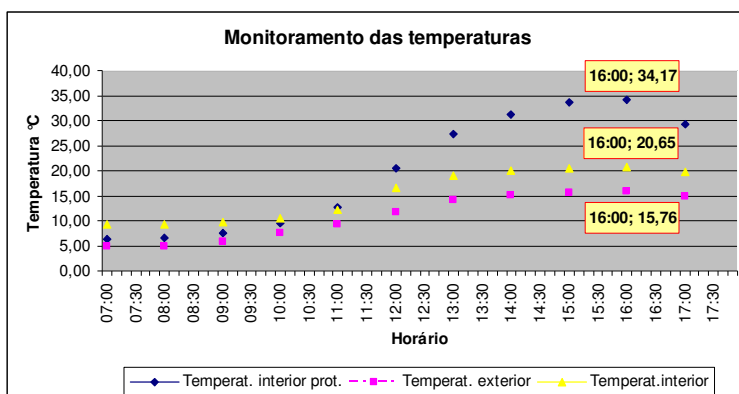


Gráfico 1 – monitoramento das temperaturas, dia típico de inverno, configuração 01

Ou seja, os ganhos térmicos necessários deveriam ser diferenciados considerando a noite e o dia, porém, os percentuais de eficiência do equipamento foram calculados considerando o período inteiro. Para a definição do calor necessário para o aquecimento interno do ambiente foram definidos três limites mínimos de temperatura, 17°C (PNBR 01.136), 19° (Givoni) e 20° (DIN 4108). Ainda com esta limitação é possível verificar a grande economia de energia com o emprego da relação S/V - 0,0705, para o protótipo 1, ou seja, para este caso um termo-acumulador de 1m de altura por 2,30 m de largura (1,00 m x 2,30 m, 0,20 m) geraria uma economia de aproximadamente 42% da energia necessária para climatizar o ambiente no período compreendido entre 08:00 h e 16:00 h no mês mais frio do ano. Como observações finais são destacados três importantes aspectos. Inicialmente a necessidade da nova verificação da configuração 2 no inverno de 2008, em decorrência das dificuldades encontradas na obtenção dos dados de análise. É compreensível que as maiores diferenças de temperatura entre o ar interior e exterior, no aquecimento de ciclo aberto, configuração 1, gerem uma maior diferença de pressão e conseqüentemente maior vazão de ar aquecido para o espaço interior, diferentemente da configuração 2, aquecimento de ciclo fechado, onde o ar aquecido é o próprio ar interior.

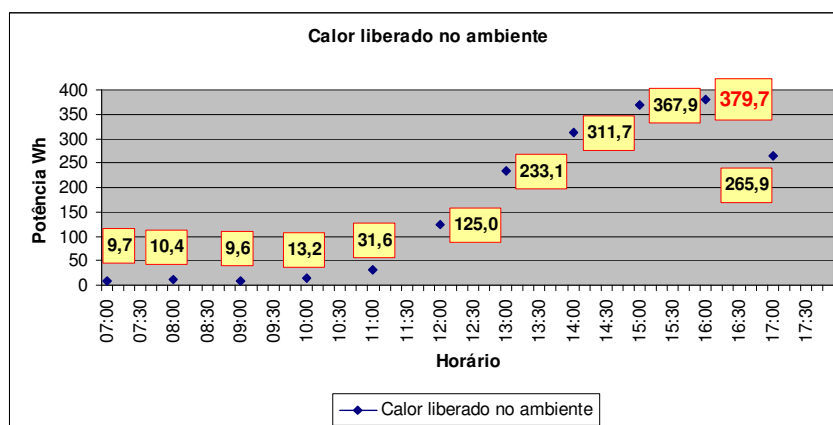


Gráfico 2 – ganhos térmicos, dia típico de inverno, configuração 1

Tabela 1 – Definição da relação S/V ideal (configuração 1) para a implantação do protótipo – carga térmica esperada nas configurações 1 e 2

Horário	Relação S/V	C01 (Wh)	CTAquec. prev.	CTAquecim.(%)	C02 (Wh)	CTAquec. prev.	CTAquecim.(%)
08:00	0,0382	9,7	30,9	2,6%	0,0	0,0	0,0%
09:00	0,0382	10,4	33,1	2,7%	0,0	0,0	0,0%
10:00	0,0382	9,6	30,7	2,5%	13,8	43,8	3,6%
11:00	0,0382	13,2	42,2	3,5%	51,9	165,2	13,7%
12:00	0,0382	31,6	100,6	8,3%	89,7	285,5	23,6%
13:00	0,0382	125,0	397,7	32,9%	127,0	404,1	33,4%
14:00	0,0382	233,1	742,1	61,4%	156,3	497,4	41,2%
15:00	0,0382	311,7	992,1	82,1%	182,2	580,1	48,0%
16:00	0,0382	367,9	1170,9	96,9%	205,3	653,5	54,1%
17:00	0,0382	379,7	1208,6	100,0%	183,5	583,9	48,3%
18:00	0,0382	265,9	846,5	70,1%	93,9	298,8	24,7%

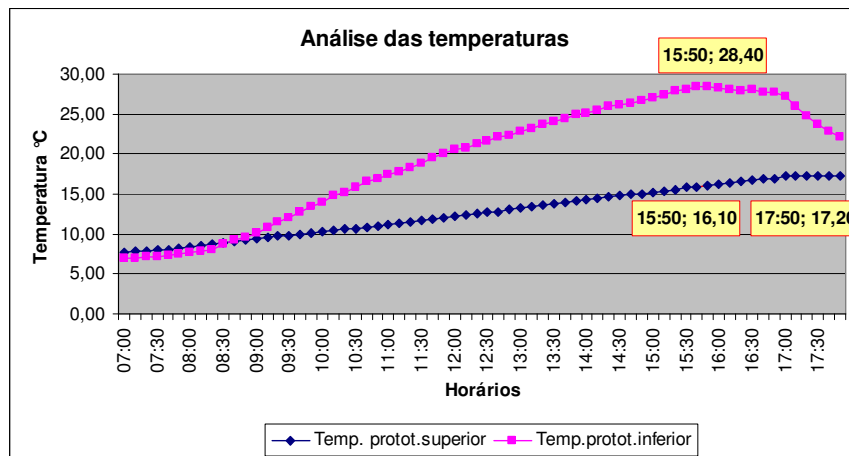


Gráfico 3 – monitoramento das temperaturas, dia típico de inverno, configuração 2

Tabela 2 – Definição da relação S/V ideal (configuração 2) para a implantação do protótipo – carga térmica esperada nas configurações 1 e 2

Horário	Relação S/V	C01 (Wh)	CTAquec. prev.	CTAquecim.(%)	C02 (Wh)	CTAquec. prev.	CTAquecim.(%)
08:00	0,0705	9,7	57,2	4,7%	0,0	0,0	0,0%
09:00	0,0705	10,4	61,3	5,1%	0,0	0,0	0,0%
10:00	0,0705	9,6	56,8	4,7%	13,8	81,1	6,7%
11:00	0,0705	13,2	78,0	6,5%	51,9	305,6	25,3%
12:00	0,0705	31,6	186,2	15,4%	89,7	528,3	43,7%
13:00	0,0705	125,0	736,0	60,9%	127,0	747,7	61,9%
14:00	0,0705	233,1	1373,2	113,6%	156,3	920,3	76,2%
15:00	0,0705	311,7	1835,8	151,9%	182,2	1073,4	88,8%
16:00	0,0705	367,9	2166,7	179,3%	205,3	1209,3	100,1%
17:00	0,0705	379,7	2236,5	185,1%	183,5	1080,5	89,4%
18:00	0,0705	265,9	1566,4	129,6%	93,9	552,9	45,8%

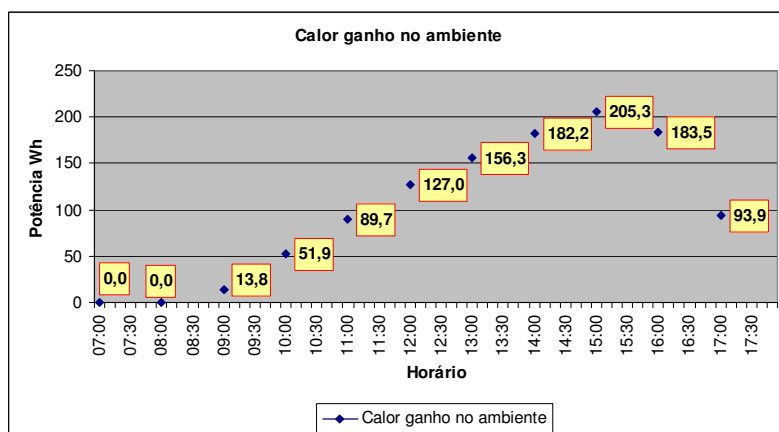


Gráfico 4 – ganhos térmicos, dia típico de inverno, configuração 2

Tabela 3 – Análise mensal do desempenho do protótipo - Relação S/V - 0,0123

Análise mensal do desempenho do protótipo - Relação S/V - 0,0123					
Rel 0,0123	Junho (kWh)	Setembro (kWh)	17°C Temp. Int.	19°C Temp. Int.	20°C Temp. Int.
Calor gerado no Protótipo 1	28,13	-	13,70%	8,30%	6,70%
Calor gerado no Protótipo 2	-	17,65	-	24%	13,30%
Calor necessário em Junho (manter temperatura interna constante)			205,35 kWh	340,13 kWh	419,72 kWh
Calor nec. Setembro (manter temperatura interna constante)			0	73,63 kWh	133 kWh

Tabela 4 – Análise mensal do desempenho do protótipo - Relação S/V - 0,0382

Análise mensal do desempenho do protótipo - Relação S/V - 0,0382					
Rel 0,0382	Junho (kWh)	Setembro (kWh)	17°C Temp. Int.	19°C Temp. Int.	20°C Temp. Int.
Calor gerado no Protótipo 1	167,86	-	81,75%	49,35%	39,99%
Calor gerado no Protótipo 2	-	105,37	-	143%	79,22%
Calor necessário em Junho (manter temperatura interna constante)			205,35	340,13	419,72
Calor nec. Setembro (manter temperatura interna constante)			0	73,63	133

Tabela 5 – Análise mensal do desempenho do protótipo - Relação S/V - 0,0705

Análise mensal do desempenho do protótipo - Relação S/V - 0,0705					
Rel 0,0705	Junho (kWh)	Setembro (kWh)	17°C Temp. Int.	19°C Temp. Int.	20°C Temp. Int.
Calor gerado no Protótipo 1	310,62	-	151,27%	91,33%	74,01%
Calor gerado no Protótipo 2	-	194,98	-	265%	146,60%
Calor necessário em Junho (manter temperatura interna constante)			205,35	340,13	419,72
Calor nec. Setembro (manter temperatura interna constante)			0	73,63	133

Porém, a grande diferença de rendimento entre o aquecimento de ciclo aberto e ciclo fechado poderá ser melhor analisada com novas medições no inverno de 2008. Um segundo ponto a ser destacado nas conclusões é a apresentação final do rendimento do protótipo para as duas configurações. Para a configuração 1, a qual apresentou maiores ganhos térmicos, verificou-se que para cada metro quadrado de superfície de acumulação foram obtidos aproximadamente 950 Wh, ou aproximadamente 820 Kcalh, configurando um termo-acumulador de 1 m² equivalente ao aquecimento gerado por um radiador convencional com 6 gomos (0,48 m x 0,50 m). Ainda caracterizando o rendimento do protótipo desenvolvido, verificou-se que para configuração 1, considerando à obtenção de 100% da carga térmica de aquecimento para às 16:00 h (horário de melhor rendimento do equipamento), é necessário que a relação S/V seja igual ou superior a 0,0382, e para a configuração 2 igual ou superior à 0,0705.

Como terceiro aspecto a ser enfatizado nas conclusões destacam-se os futuros trabalhos a serem desenvolvidos no prosseguimento da pesquisa. Inicialmente, no que diz respeito à análise experimental, conforme já destacado anteriormente, um novo estudo da configuração 2, provavelmente caracterizado por novas medições nos meses de junho e julho de 2008, deverá ser realizada. Com base na nova análise deverá ser verificada a possibilidade da utilização do equipamento com ciclo aberto e fechado ao longo do dia. A análise terá também como objetivo definir o manual de utilização do equipamento no período frio. Um outro aspecto a ser analisado é a alteração da configuração do protótipo no que diz respeito à acumulação de calor. Deverão ser testadas diferentes tipos e texturas de pedras, como também diferentes dimensões das aberturas de entrada e saída de ar. A pesquisa prevê também uma análise econômica da racionalização do consumo de energia a partir da utilização do protótipo como equipamento de calefação para habitações.

Referências Bibliográficas

- ASHRAE, Weather Data and Design Conditions. In: ASHRAE Handbook - Fundamentals, New York, cap. 24. (1993)
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-3: desempenho térmico de edificações - Parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro. (2005)
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. PNBR 02:136.01-001:2002: Desempenho de edifícios de até cinco pavimentos: parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2002.
- BROWN, G. Z. (2004) **Sol, Vento e Luz: estratégias para o projeto de arquitetura**. Tradução Alexandre Salvaterra. 2 ed. Porto Alegre: Bookman.
- CUNHA, Eduardo Grala da. (2006) et. all. **Elementos de Arquitetura de Climatização Natural buscando a eficiência energética na arquitetura**. Porto Alegre: Masquatro, 2 ed.
- DIN V 4108-6 - Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarf. Berlin: 2003.
- FANGER, O. (1970) **Thermal Comfort – Analysis and application in environmental engineering**. Copenhagen, 244 p.
- FRANDOLOSO, Marcos A. L. (2001) **Crítérios de projeto para escolas bioclimáticas**. 2001. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Curso de Pós-Graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- GIVONI, Baruch. (1969) **Man, climate and architecture**. London: Elsevier.
- GIVONI, Baruch. (1992) **Comfort, climate analysis and building design guidelines. Energy and Building**, Lausanne, v.18, p.11-23, jul.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. (1985) **ISO 7726: Thermal Environments – instruments and methods for measuring physical quantities**: Switzerland.
- REDDY, A. K. N.; GOLDEMBERG, J. (1998) **Energy for the development world**. New York: Scientific American.
- ROAF, Susan. (2006) **Ecohouse: a casa ambientalmente sustentável**. Tradução Alexandre Salvaterra. 2 ed., Porto Alegre: Bookman.

SILVANI, Marinês. **Subsídios para o projeto da ventilação natural em pavilhões industriais** . 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2005.

TREWARTHA, Glenn. (1954) **An introduction to climate**. 3. ed. New York: McGraw-Hill.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao CNPq, que apoiou a realização da pesquisa de adaptação do processo de cálculo simplificado da carga térmica de aquecimento da EnEV 2007, alemã, para o caso de Porto Alegre, com uma bolsa de estágio Pós-doutoral no departamento de Energia e Meio Ambiente, da Universidade de Kassel, Alemanha.