



ENTAC2006

A CONSTRUÇÃO DO FUTURO | XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído | 23 a 25 de agosto | Florianópolis/SC

COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE COBERTURAS CONSTITUÍDAS DE EMBALAGENS TETRA PAK COM MANTA REFLEXIVA E PLACAS DE EPS

Eduardo L. Krüger (1); Graziela Y. Suetake (2); Márcia K. O. Adriazola (3)

(1) Prof. Dr. Departamento Construção Civil, Universidade Federal Tecnológica do Paraná (UTFPR)
Av. Sete de Setembro, 3165. Curitiba, PR Fone: +(41) 3310-4725 – krueger@ppgte.cefetpr.br

(2) Mestranda, Engenharia Mecânica e de Materiais, UTFPR – grazisuetake@yahoo.com.br

(3) Mestre em Tecnologia, Doutoranda UFPR, Profª. Departamento de Construção Civil, UTFPR – mkeiko@cefetpr.br

RESUMO

Boa parte da população brasileira habita barracos ou casas de alvenaria cobertos com telhas de cimento-amianto e, como se sabe, o maior ganho térmico em edificações horizontais se dá pela cobertura. Estas telhas, especialmente em coberturas sem forro, absorvem boa parte da radiação incidente por serem escuras e transmitirem facilmente o calor para o interior da edificação devido à sua pequena espessura. Na tentativa de diminuir este desconforto, tem-se aumentado o uso de mantas isolantes como mantas reflexivas e o isopor. Uma outra opção é o reaproveitamento das embalagens Tetra Pak – devido a uma de suas faces ser aluminizada. Este estudo apresenta uma comparação do desempenho térmico de coberturas de cimento-amianto sem forro e com a utilização de mantas isolantes: constituídas de embalagens Tetra Pak abertas (com a face aluminizada voltada para cima ou para baixo); com mantas reflexivas do tipo foil; e com placas de EPS (expandable polystyrene – isopor), por meio de monitoramento térmico realizado em células-teste.

Palavras-chave: isolamento térmico; modelo em escala reduzida; desempenho térmico.

ABSTRACT

Great part of the Brazilian population lives in shacks or houses covered by cement roofs, receiving the roof in single-storied houses the bulk of the heat loads. This kind of roof material, specially when no ceiling is available, absorbs great part of solar radiation due to its dark colour and conducts heat easily, due to its reduced thickness. Attempting to reduce such discomfort, several kinds of roof insulating materials have been used, such as styropor sheets and radiant screens. Also, Tetra Pak milk packages can be used, due to the fact that one of the layers is made of aluminum sheet. The study presents comparisons of the thermal performance of cement roofs, without or with ceiling: open Tetra Pak milk packages (with the aluminum face towards the roof or towards the inside); styropor sheet and radiant screen, through measurements in test-cells.

Keywords: insulating materials; scale-model; thermal performance.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil está situado predominantemente em zona tropical, onde há predomínio de forte insolação. É sabido que a cobertura é o elemento construtivo que mais recebe insolação em edificações horizontais sendo, portanto, responsável pelo maior ganho térmico dentre os elementos de uma edificação. Dentre as coberturas utilizadas, principalmente em habitações de baixa renda, é comum o uso de coberturas em cimento-amianto do tipo “Brasilit/Eternit” devido ao seu baixo custo em relação aos outros tipos

de cobertura e também à economia de matéria-prima na estrutura do telhado. O desconforto pelas temperaturas elevadas é sentido também embaixo de telhados convencionais de telha cerâmica, porém a uma temperatura mais baixa que a irradiada por telhas de cimento-amianto.

De acordo com Güths et. al. (2004), um dos elementos que vêm se popularizando no Brasil como forma de reduzir os ganhos térmicos pela cobertura são as mantas isolantes reflexivas, como a manta reflexiva do tipo foil - próprio para a construção civil, refletindo 95% do calor irradiado com baixa emissividade ($\varepsilon=5\%$), composto por folhas de alumínio em ambas as faces – e, em especial, as formadas por caixas cartonadas Longa Vida – Tetra Pak – abertas, a partir de seu reaproveitamento.

O aproveitamento destas embalagens contribui para o desenvolvimento sustentável, o qual visa atender as necessidades do presente sem comprometer a possibilidade das gerações futuras atenderem as suas próprias. Do ponto de vista ambiental, somente no ano de 2001, mais de 53 bilhões de litros de alimentos foram usados em embalagens cartonadas Longa Vida, correspondendo a quase 89 bilhões de embalagens. No Brasil, foram 6 bilhões de embalagens distribuídas em todo o território nacional (TETRA PAK, 2001). Atualmente, este material, depois de utilizado, vai em sua quase totalidade para o lixo. De acordo com a CETESB, Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental de São Paulo, este pode levar até cem anos para ser decomposto, causando grande impacto ambiental, o que tem criado um grande problema para as municipalidades, pois a alternativa de queima é descartada, devido à liberação de gases tóxicos provenientes da combustão do plástico.

Uma outra cobertura utilizada no estudo consiste no uso de placas de isopor (Poliestireno Expandido – EPS). O EPS é uma espuma composta de células fechadas, formada a partir de derivados de petróleo, com baixo peso específico, alta resistência à compressão, baixa absorção de água e umidade, inodoro, não embolora, as propriedades mantêm-se inalteradas ao longo da vida do material e além de ser um excelente material de isolamento térmico devido ao seu processo de expansão onde o ar fica armazenado no interior de suas células.

O estudo teve como objetivo avaliar o desempenho térmico de embalagens cartonadas Longa Vida, Tetra Pak, como isolante térmico em células-teste compostas por diferentes materiais de vedação. Este artigo apresenta uma comparação do desempenho térmico de coberturas de cimento-amianto sem forro e com a utilização de mantas isolantes: constituídas de embalagens Tetra Pak abertas (com a face aluminizada voltada para cima ou para baixo); com mantas reflexivas do tipo foil; e com placas de isopor, por meio de monitoramento térmico realizado em células-teste. Desta forma, comparou-se diferentes situações: o efeito da baixa emissividade da manta aluminizada para diferentes sentidos do fluxo térmico ao efeito do uso de maior espessura em material de baixa densidade.

2 MONITORAMENTO TÉRMICO EM CÉLULAS-TESTE

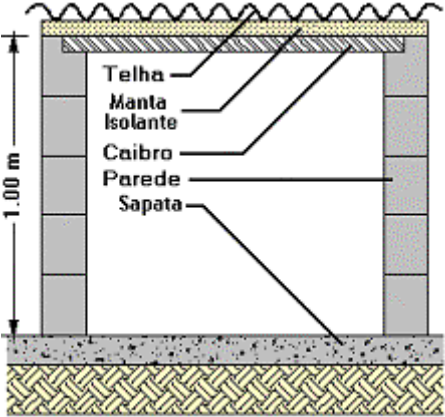
O presente estudo foi conduzido adotando-se três células-teste: de paredes em tijolo cerâmico, em blocos de concreto celular autoclavado e em blocos de concreto comum, vazados (Tabela 1). Todas têm uma base em concreto armado (sapata de 1,70×1,70m com espessura de 10 cm) e foram externamente revestidas com aragamassa de concreto (1,5cm). Para a colocação da cobertura, foi feita uma pequena estrutura com caibros de cambará com dimensões de 2×2 polegadas. Sobre esta estrutura, foram consideradas as cinco situações de cobertura em cinco seqüências de monitoramento:

1. sem isolamento térmico (entre 04 e 11 de março de 2005);
2. com manta de embalagens Tetra Pak coladas entre si e fixadas sobre o topo das paredes com a face aluminizada voltada para a telha (entre 13 e 20 de março de 2005);
3. com manta reflexiva do tipo foil (entre 22 de março e 04 de abril de 2005);
4. com manta de embalagens Tetra Pak coladas entre si e fixadas sobre o topo das paredes com a face aluminizada voltada para o interior da célula (entre 05 e 14 de abril de 2005); e,
5. com placas de 50mm de isopor (entre 16 e 25 de abril de 2005).

As células-teste estão localizadas em terreno aberto e livre de obstruções, do CEFET-PR em Curitiba (Figura 1). As células foram orientadas em função do norte verdadeiro e implantadas com espaçamento de 1,50 m entre elas, para evitar a sombra de uma sobre outra. Para conter o crescimento e plantas, colocou-se uma camada de brita com espessura de 3 cm contornando os protótipos.

Tabela 1: Características construtivas das células

Item	tijolo cerâmico	concreto celular	bloco de concreto
Espessura. paredes sem revestimento (mm)	90	150	140
Espessura argamassa (mm)	15	15	15
Área Interna (m ²)	1,46	1,32	1,35



(a)



(b)

Figura 1 - (a) Corte de uma célula-teste e (b) Células-teste

Para o monitoramento das temperaturas internas e externas, utilizou-se registradores eletrônicos da marca HOBO. Interiormente, os aparelhos foram instalados no centro geométrico das células. Os dados externos foram coletados em abrigo constituído de madeira pintada de cor clara e com ventilação permanente (Figura 2).



Figura 2: Abrigo utilizado para medição da temperatura externa

Optou-se pela construção de protótipos, também denominados células-teste, de execução simplificada, na escala 1×1×1m, que puderam ser confeccionadas com menor dispêndio financeiro. A padronização da base, das dimensões, do tipo de cobertura e revestimento externo possibilitou a obtenção de respostas térmicas especificamente relacionadas aos materiais em teste sem que os resultados tivessem a influência de variáveis que, em situação real (habitações), acarretam variações das condições ambientais devido à ação dos usuários, como alterações na taxa de ventilação, uso de equipamentos e a própria ocupação dos ambientes por parte dos usuários.

3 RESULTADOS OBTIDOS

A Tabela 2 mostra a comparação entre as temperaturas internas e externas (mínima, média e máxima) de cada célula-teste, adotando-se os 5 tipos de cobertura mencionados.

Tabela 2 – Comparação entre as temperaturas internas e externas (mínima, média e máxima) das células-teste com diferentes tipos de cobertura

Seqüências	Material de vedação	Tmín int – Tmín ext (° C)	Tmed int – Tmed ext (° C)	Tmáx int – Tmáx ext (° C)
Sem Isolamento	Tijolo cerâmico	0,54	0,63	1,80
	Concreto celular	1,86	1,71	1,79
	Bloco de concreto	1,64	2,17	3,58
Tetra Pak com a face aluminizada voltada para a telha	Tijolo cerâmico	1,77	1,87	2,16
	Concreto celular	3,68	2,65	1,19
	Bloco de concreto	2,50	2,62	2,87
Foil	Tijolo cerâmico	1,89	1,71	1,08
	Concreto celular	3,73	2,93	0,55
	Bloco de concreto	2,68	2,67	2,05
Tetra Pak com a face aluminizada voltada para o interior	Tijolo cerâmico	1,22	1,46	1,96
	Concreto celular	2,50	1,90	0,57
	Bloco de concreto	2,04	2,19	2,70
Isopor	Tijolo cerâmico	2,87	2,49	3,17
	Concreto celular	3,77	2,60	-0,02
	Bloco de concreto	2,93	2,27	1,85

Analisando-se a Figura 3, por exemplo, em relação aos materiais utilizados nas vedações das paredes, temos que dentre os materiais analisados quando os protótipos estavam sem isolamento, o concreto celular apresentou menor amplitude térmica. Quando os protótipos estavam com isolamento, observou-se que ocorreram as menores diferenças entre temperaturas máximas (interna e externa) – maior amortecimento do calor– com o uso da manta reflexiva (tabela) e maiores diferenças entre temperaturas mínimas –maior amortecimento do frio– para o caso da utilização do isopor como material isolante. Contudo, a análise torna-se complexa, uma vez que as medições não ocorreram de forma simultânea. Por esse motivo, procedeu-se à predição das temperaturas internas para uma comparação simultânea dos resultados encontrados.

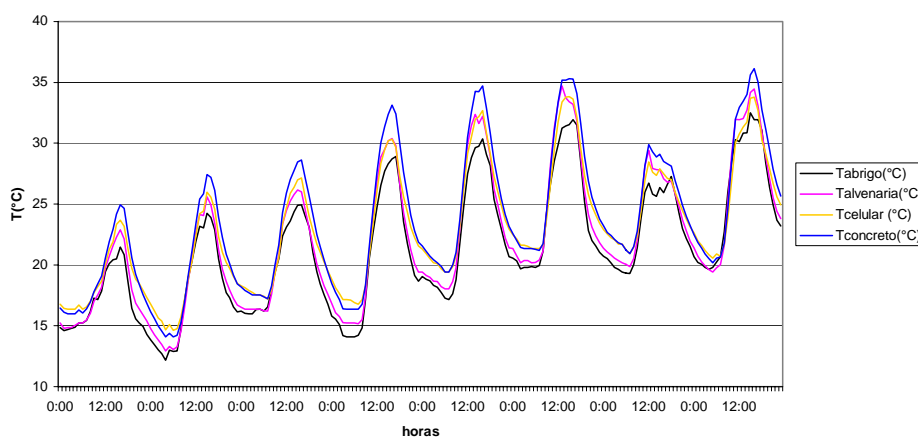


Figura 3 – Comparação entre valores medidos das temperaturas internas sem isolamento

4 PREDIÇÃO DAS TEMPERATURAS INTERNAS PARA UMA COMPARAÇÃO SIMULTÂNEA

A partir dos resultados obtidos para a primeira, a segunda, a terceira e a quarta rodada de monitoramento, procedeu-se à geração de equações preditivas para mínimas e máximas diárias e à obtenção dos fatores de oscilação horária da temperatura, conforme método descrito por Krüger e Roriz (2005). Para esse método, adotou-se os seguintes passos:

- a. Extraíu-se correlações simples entre os valores das temperaturas mínimas, médias e máximas diárias, externas e internas às células-teste, e partindo-se para regressão linear simples para geração das equações, obtidas pelo Excel. Observou-se que as relações eram diretas: as mínimas internas seguiam as mínimas externas, o mesmo ocorrendo para as máximas. As equações obtidas são apresentadas na tabela 3.

Tabela 3 – Equações obtidas para mínimas e máximas diárias

Protótipo	Equação T _{lmin}	Equação T _{lmax}
Tijolo cerâmico	$T_{lmin} = 0,927 \cdot T_{Emin} + 1,7478$	$T_{lmax} = 1,0956 \cdot T_{Emax} - 0,8451$
Concreto celular	$T_{lmin} = 0,8501 \cdot T_{Emin} + 4,344$	$T_{lmax} = 0,959 \cdot T_{Emax} + 2,9303$
Bloco de concreto	$T_{lmin} = 0,8922 \cdot T_{Emin} + 3,4215$	$T_{lmax} = 1,0391 \cdot T_{Emax} + 2,491$

- b. A partir da identificação do dia 7 de março que apresentou condições climáticas estáveis, (Figura 4), extraíu-se os fatores de oscilação horária (FTI) para cada hora. Esse fator horário representa o padrão de oscilação da temperatura interna de cada célula-teste e indica a relação entre o valor observado em cada momento do dia e a amplitude térmica diária da mesma temperatura interna, conforme a equação 1:

$$FTI(h) = (TI(h) - T_{lmin}) / dTI \quad (eq.1)$$

FTI(h): Fator de oscilação da TBS interna na hora “h”

TI(h): TBS interna na hora “h”

T_{lmin}: TBS interna mínima do dia considerado

dTI: Amplitude térmica da TBS interna no dia considerado ($dTI = T_{lmax} - T_{lmin}$)

- c. Aplicou-se a equação 1 sobre os valores horários das temperaturas internas em cada célula-teste, durante o dia estável.
- d. A partir dos fatores FTI, foram feitas projeções do comportamento previsto das temperaturas internas para a quinta rodada de monitoramento (entre 16 e 25 de abril de 2005, utilizando placas de isopor), respeitando-se, porém, o padrão de estabilidade das temperaturas externas. Em razão de instabilidades climáticas diversas, ocorridas neste último período de medições, adotou-se o dia 18 de abril para essa projeção (Figura 5).
- e. Uma vez observados os mesmos padrões de estabilidade da sequência anterior, adotou-se os valores extremos das temperaturas internas (T_{lmin} e T_{lmax}), obtidos através das equações preditivas de T_{lmin} e T_{lmax}, conforme a Tabela 3, distribuindo-se as temperaturas internas ao longo do dia, segundo a equação 2 (inverso da equação 1):

$$TI(h) = FTI(h) \cdot dTI + T_{lmin} \quad (eq.1)$$

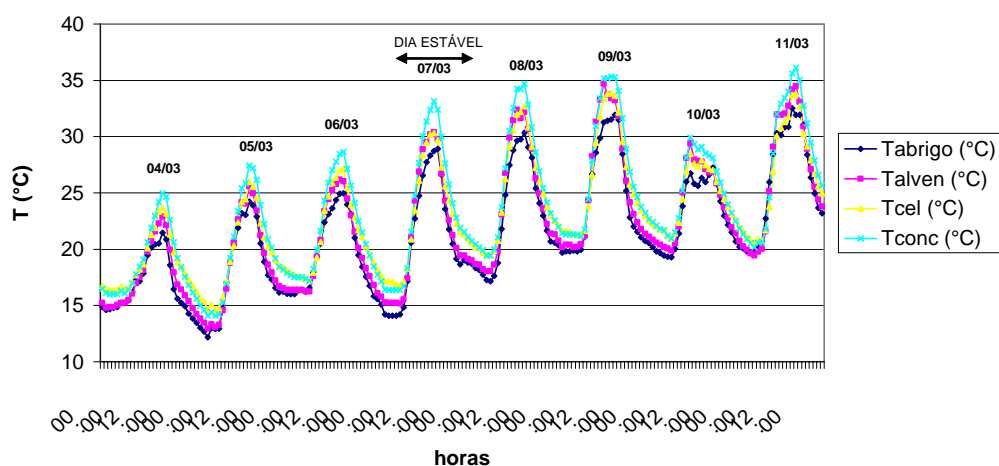


Figura 4 – Dia estável - 07/03/05 (primeira seqüência de monitoramento)

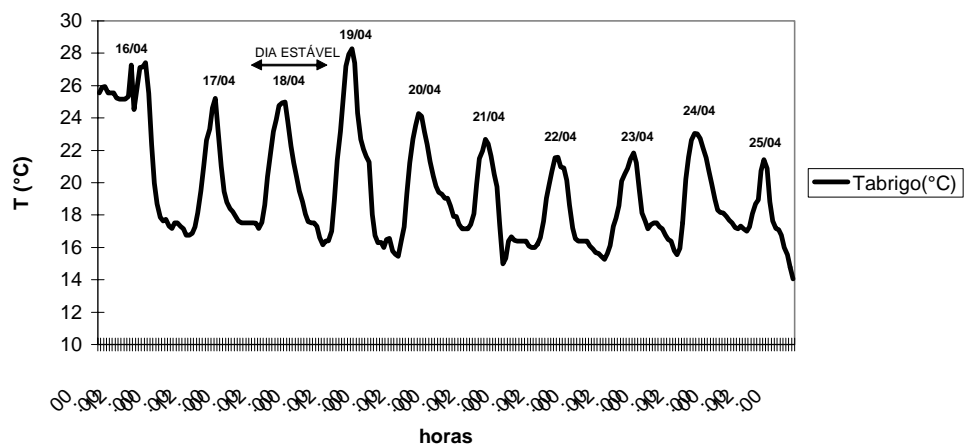


Figura 5 – Dia estável – 18/04/05 (quinta seqüência de monitoramento)

O mesmo procedimento foi adotado para que se gerassem predições a partir dos resultados da segunda a terceira e a quarta rodada de monitoramento. As comparações entre dados preditos a partir dos resultados da primeira, segunda, terceira e quarta seqüências de monitoramento e aqueles medidos no quinto período com a cobertura isolada com o isopor são apresentadas, a título de exemplo, para o protótipo de blocos de concreto celular.

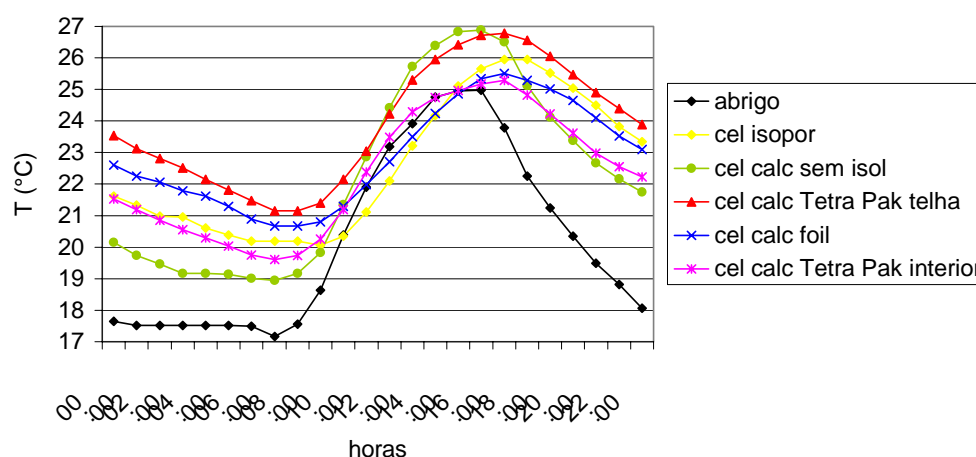


Figura 6 – Comparação entre dados medidos e estimados no protótipo de blocos de concreto celular

5 CONCLUSÕES A PARTIR DO ESTUDO REALIZADO

O estudo mostrou a possibilidade e a facilidade de se comparar monitoramentos realizados de forma não simultânea por meio de estimativas da temperatura interna. Verificou-se que o padrão das curvas obtidas na avaliação simultânea é semelhante, porém os resultados para o protótipo de concreto celular com as placas de isopor foram mais significativos no controle das temperaturas mais altas (máxima diária), havendo uma redução da temperatura interna no horário de maior insolação em conjunto com um deslocamento horário das curvas (efeito da inércia).

Em geral, nota-se que a cobertura com a manta de Tetra Pak com a face aluminizada voltada para a telha apresentou melhores resultados no controle das mínimas diárias, isto é, no amortecimento do frio. Isto se deve ao efeito da baixa emissividade da face aluminizada, associado à capacidade de isolamento térmico do próprio Tetra Pak. No caso, o calor armazenado no protótipo fica retido em seu interior.

A outra aplicação possível da manta, no caso do amortecimento das temperaturas máximas, quase que um problema geral em diversas localidades do país, consiste em seu uso com a face aluminizada voltada para o interior do protótipo. Neste caso, os resultados se aproximaram dos obtidos com a manta de “foil” dupla face. No caso, o papel do alumínio é o de emitir menos o calor obtido pela cobertura, imediatamente superior à manta, para o interior do protótipo.

Observe-se que a adoção da manta de “foil” dupla face, material industrializado e comercializado para fins de isolamento térmico, proporciona um efeito de amortecer tanto o frio como o calor, em associação ao uso adequado do alumínio como material de baixa emissividade de radiação de onda longa e de isolante térmico.

Quanto à utilização do isopor como material isolante, nota-se um desempenho mediano. O uso da manta Tetra Pak como material seletivo, definida a função da cobertura (segundo o rigor do clima local: se para amortecimento do frio ou do calor), pode ser uma alternativa de baixíssimo custo e ecologicamente saudável como medida passiva em edificações térreas.

Etapas futuras para o estudo realizado poderiam envolver: 1) medições do fluxo térmico que atravessa o isolamento adotado na cobertura, de modo a caracterizar a condutividade térmica do material utilizado em cada variante; 2) comparação entre resultados das medições *in loco* com simulações de desempenho térmico, de modo a se calibrar um modelo computacional, para a realização de estudos paramétricos comparando isolantes por reflexão (como o foil e o Tetrapak) àqueles que se utilizam do acréscimo da espessura do componente (chapas de EPS em diferentes espessuras).

REFERÊNCIAS

GÜTHS, S.; PAGHI, C. E. Um método de análise da eficiência energética de mantas isolantes reflexivas. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 10, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2004.

KRÜGER, E. L.; RORIZ, M. Previsão horária de temperaturas internas do ar: aplicação no estudo de células-teste. In: Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, 8, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: ANTAC, 2005.

TETRA PAK. **Relatório ambiental 2001**. Rio de Janeiro: Tetra Pak, A embalagem cartonada longa vida. disponível em <<http://www.furg.br/portaldeembalagens/tres/tetrapak.html>> Acesso em 22 de março de 2005.