

DESEMPENHO TÉRMICO DE COBERTURAS: UMA ANÁLISE UTILIZANDO DIFERENÇAS FINITAS

Wagner I. Simioni

Carlos A. Clezar

Universidade do Vale do Itajaí, Curso de Engenharia Civil, Cx.P. 360 – 88302-202 – Itajaí, SC,
Brasil

e-mail: w.simioni@bol.com.br

RESUMO

Através de simulações computacionais, procuramos analisar os diferentes tipos de coberturas utilizados na construção civil no que diz respeito ao desempenho térmico e consumo de energia. Com base nos resultados obtidos, pretende-se orientar os projetistas na escolha do tipo de cobertura visando conforto térmico e eficiência energética.

ABSTRACT

A computer model to estimate temperature distribution and heat flux for a wide range of roofs was developed. Using the data obtained by this study, building designers should determine the type of roof which brings the best combination of comfort and energy savings.

1. INTRODUÇÃO

O ambiente térmico é um fator importante na qualidade do ar interno e tem um forte impacto no consumo de energia de um edifício.

Muitas pessoas acreditam que o conforto térmico possa ser avaliado medindo-se somente a temperatura do ar interno (temperatura de bulbo seco). Esta crença é responsável pela falta de conforto térmico em muitos edifícios, mesmo quando dotados de climatização artificial.

Um parâmetro normalmente esquecido é a temperatura média de radiação, função das temperaturas das superfícies limites de um ambiente, que podem atingir valores extremamente elevados dadas a forte radiação solar a que estão sujeitos nossos edifícios e as baixas resistências térmicas dos fechamentos, especialmente das coberturas.

Medidas simples como a escolha da cor das telhas, podem melhorar significativamente o consumo de energia e o conforto térmico das construções.

2. MODELO COMPUTACIONAL

2.1 Transmissão de Calor

Para as simulações computacionais foi desenvolvido um programa que utiliza diferenças finitas para determinar a distribuição de temperaturas nos diferentes nós da estrutura da cobertura. A transmissão de calor unidimensional em coberturas envolve um processo combinado de radiação e convecção na face interna e externa da cobertura, bem como nas faces limites de espaços de ar. Ao passo que no interior da estrutura o calor é transmitido por condução.

A transmissão de calor por condução em regime transitório unidimensional é governada pela equação [Eq. 1], de acordo com a figura 1.

$$q_{1 \rightarrow 0} + q_{2 \rightarrow 0} = \frac{\partial U_0}{\partial t} \quad [\text{Eq. 1}]$$

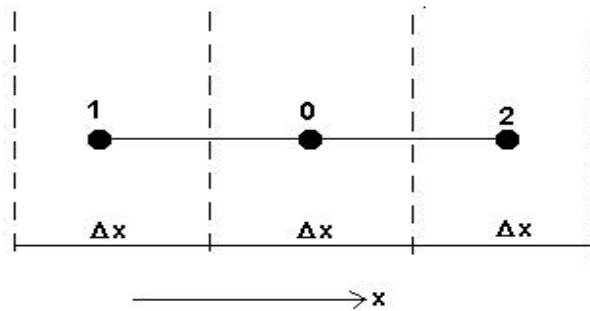


Figura 1. Disposição dos nós para análise por diferenças finitas no interior de um sólido.

O primeiro termo da equação 1. representa o fluxo de calor por condução entre os pontos 0, 1 e 2. ao passo que o segundo termo representa a energia interna armazenada no nó 0, este tratamento é dado para a análise de transmissão de calor por condução em regime transiente, para o caso de regime estacionário o armazenamento de energia interna seria zero.

A equação 1. pode ser escrita na forma de diferenças finitas na forma implícita, como mostra a equação 2.

$$\lambda A \frac{T_1^{t+\Delta t} - T_0^{t+\Delta t}}{\Delta x} + \lambda A \frac{T_2^{t+\Delta t} - T_0^{t+\Delta t}}{\Delta x} = \rho A \Delta x c \frac{T_0^{t+\Delta t} - T_0^t}{\Delta t} \quad [\text{Eq. 2}]$$

Para nós localizados em faces internas ou externas a equação é uma adaptação de [Eq. 2], contemplando as trocas de calor por radiação e convecção. Resolvendo-se o sistema linear de n equações, referente aos n nós distribuídos na estrutura da cobertura, tem-se como resultados as

temperaturas nodais para cada hora do dia. A temperatura superficial interna será utilizada na avaliação do conforto térmico do ambiente.

2.2 Avaliação do Conforto Térmico Global

Para avaliar o conforto térmico foi usada a metodologia de Fanger, que define o índice PMV (Predicted Mean Vote). A escala de PMV varia entre -3 (muito frio) e +3 (muito quente), o zero da escala corresponde a situações neutras.

Na metodologia de Fanger também é usado o parâmetro PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied), que indica a percentagem de pessoas insatisfeitas com o ambiente térmico.

O PMV e o PPD são funções de dois parâmetros relativos ao homem (resistência térmica das roupas e metabolismo) e quatro parâmetros relativos ao ambiente (temperatura do ar, velocidade relativa do ar, temperatura média radiante e pressão parcial do vapor d'água).

Esta metodologia está proposta na norma ISO 7730.

3. APLICAÇÃO DO MODELO

Para aplicação do modelo computacional imaginou-se um ambiente com os parâmetros listados abaixo:

- temperatura do ar = 25°C
- temperatura das superfícies circundantes exceto o teto = 25°C
- pressão parcial do vapor d'água = 1584,6 Pa (umidade relativa de 50%)
- velocidade relativa do ar = 0,05 m/s

Os parâmetros do ocupante são:

- resistência do vestuário = 0,55 clo (vestuário de verão)
- metabolismo = 58 W/m² (atividade leve)

A fixação destes parâmetros permite uma análise da influência do tipo cobertura utilizada.

Foram simulados 68 diferentes composições de coberturas, contemplando coberturas com e sem telhado. Com estas simulações ficou evidenciado a influência do uso de películas refletoras, espessura de isolamento térmico, disposição construtiva do material isolante e cor das telhas utilizadas. Os parâmetros termo-físicos dos materiais de construção foram consultados no Projeto de Norma 02:135.07-002.

3.1 Influência do Uso de Películas Refletoras

Foram simulados 3 casos de coberturas conforme a tabela 1.

Tipo	Composição
C1	Telha fibrocimento 6mm, Espaço de ar não ventilado 50cm, laje de concreto 10cm e reboco 2cm
C2	Telha fibrocimento 6mm, película refletora, espaço de ar não ventilado 50cm, laje de concreto 10cm e reboco 2cm
C3	Telha fibrocimento 6mm, película refletora, espaço de ar não ventilado 50cm, película refletora, laje 10cm e reboco 2cm.

Tabela 1. Coberturas simuladas para estudo da influência do uso de películas refletoras.

Percebe-se que a curva correspondente à cobertura C1, mostra uma grande amplitude de temperatura superficial interna, os valores de temperatura alcançam 36 °C, ao passo que a curva da cobertura C2 apresenta uma amplitude bem menor e os valores de temperatura superficial chegam a 28 e 28.5°C, isso se deve ao fato desta cobertura possuir película refletora em uma das faces do espaço de ar, diminuindo a taxa de calor trocado por radiação. O desempenho pode ser ligeiramente melhorado aplicando-se película nas duas faces do espaço de ar, é o caso da curva C3.

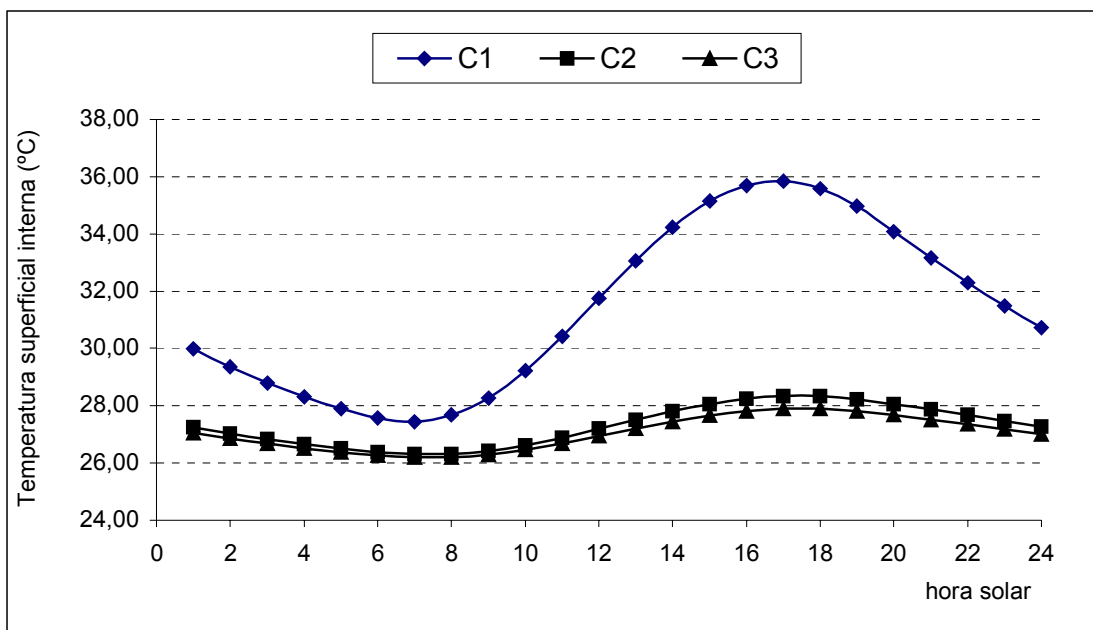


Gráfico 1. Influência do uso de película refletora em cobertura.

3.2 Influência da Espessura do Material Isolante (Poliestireno Expandido)

Foram simulados três tipos de coberturas conforme a tabela 2.

Tipo	Composição
I2	Telha fibrocimento 6mm, Espaço de ar não ventilado 50cm, contra-piso 2cm, isolamento térmico 2cm, laje de concreto 10cm e reboco 2cm
I4	Telha fibrocimento 6mm, espaço de ar não ventilado 50cm, contra-piso 2cm, isolamento térmico 4cm, laje de concreto 10cm e reboco 2cm
I6	Telha fibrocimento 6mm, espaço de ar não ventilado 50cm, contra-piso 2cm, isolamento térmico 6cm, laje 10cm e reboco 2cm.

Tabela 2. Coberturas simuladas para estudo da influência da espessura de isolamento térmico.

Para estas coberturas observou-se que com o aumento da espessura de isolamento térmico, diminui também a temperatura superficial interna bem como o ganho de calor pela cobertura, como mostra o Gráfico 2.

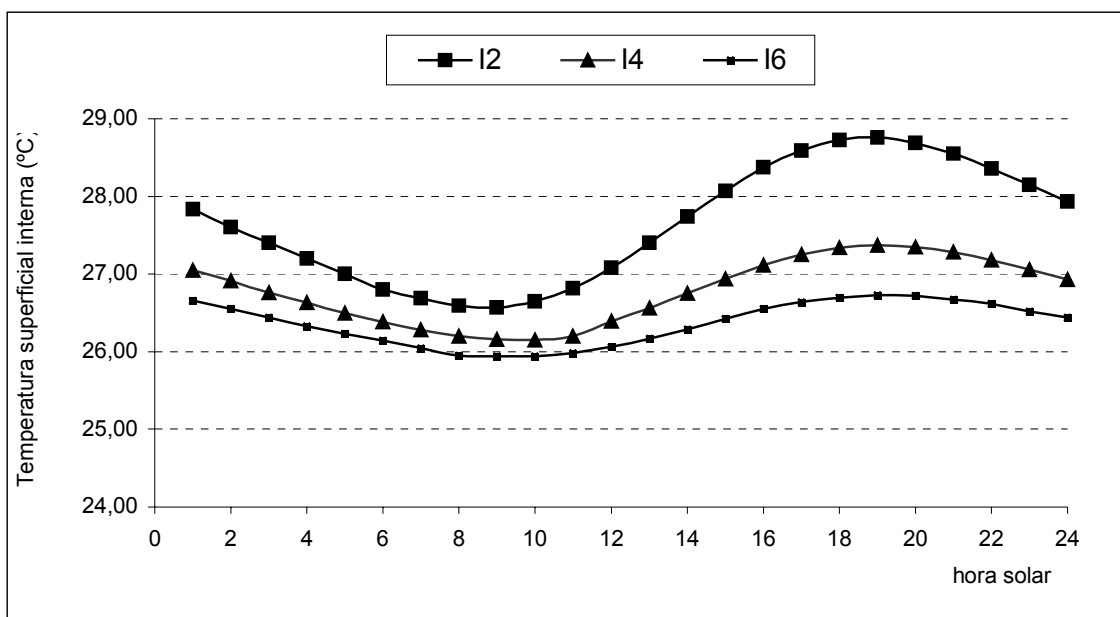


Gráfico 2. Influência da espessura do isolamento térmico em coberturas

Comparando-se os Gráficos 1 e 2, percebe-se que uma espessura de isolamento da ordem de 2cm de Poliestireno Expandido, equivale ao uso de película refletora em uma das faces de um espaço de ar, pois os mesmo apresentam uma amplitude térmica em torno de 2°C, e temperaturas superficiais entre 26,5 e 28,5°C.

3.3 Influência da Disposição Construtiva do Isolamento Térmico

Foram simulados dois tipos de coberturas conforme a tabela 3.

Tipo	Composição
I2SUP	Piso cerâmico 0,5cm, contra-piso 2cm, impermeabilizante 0,5cm, isolante térmico 2cm, laje de concreto 10cm e reboco 2cm.
I2INF	Piso cerâmico 0,5cm, contra-piso 2cm, impermeabilizante 0,5cm, laje de concreto 10cm, isolante térmico 2cm e reboco 2cm.

Tabela 3. Coberturas simuladas para estudo da influência da disposição construtiva do isolamento térmico.

Observando-se o Gráfico 3, percebe-se que a amplitude de temperaturas superficiais foi maior no caso de isolamento disposto na parte inferior da laje, bem como a temperatura superficial interna máxima. Isto se deve ao fato da laje de concreto atuar como um grande acumulador de calor. Os picos de temperatura superficiais para os dois casos ocorrem no mesmo instante, porém, com valores diferentes.

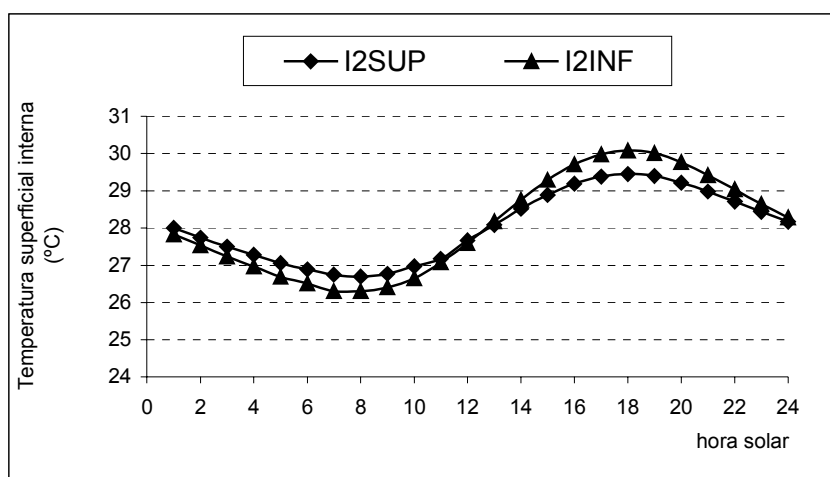


Gráfico 3. Influência da disposição construtiva do isolamento térmico

3.4 Influência da cor das Telhas

Foram simulados dois tipos de coberturas conforme a Tabela 4.

Tipo	Composição
A2	Telha de fibrocimento 6mm com $\alpha=0,20$, espaço de ar não ventilado, laje de concreto 10cm e reboco 2cm.
A8	Telha de fibrocimento 6mm com $\alpha=0,80$, espaço de ar não ventilado, laje de concreto 10cm e reboco 2cm.

Percebe-se que a opção por uma cor clara nas telhas melhora significativamente o desempenho térmico da cobertura (Gráfico 4), apresentando um desempenho semelhante a uma cobertura com $\alpha=0,80$ e película refletora em uma das faces do espaço de ar (ver Gráfico 1).

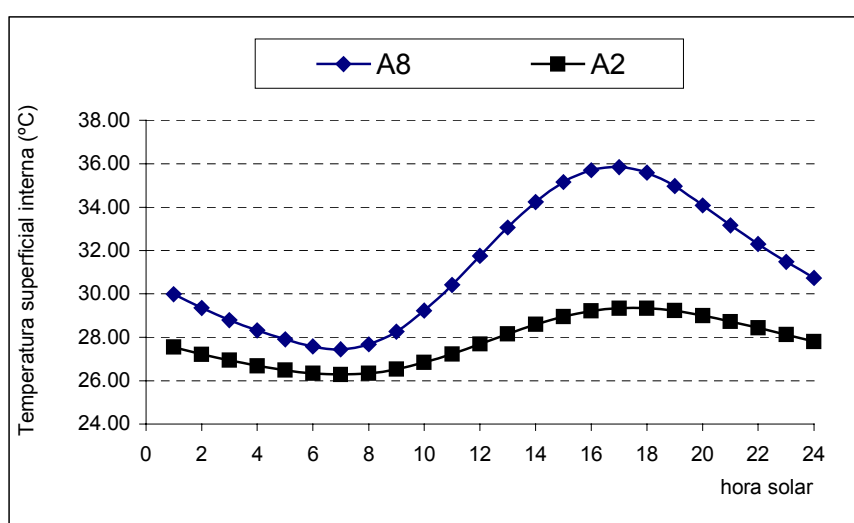


Gráfico 4. Influência da cor das telhas

3.5 Resultados Relativos ao Conforto Térmico

Para os 68 casos simulados, não foram percebidos problemas quanto ao conforto térmico, no entanto deve-se ressaltar que o ambiente interno foi imaginado a 25°C e as demais superfícies limites exceto a cobertura, foram imaginadas a 25°C. Porém em casos práticos, superfícies como paredes externas que recebem insolação, dadas as baixas resistências térmicas dos fechamentos usuais, podem atingir valores extremamente elevados, da ordem de 30 a 35°C. A elevada temperatura superficial interna do fechamento combinada com uma temperatura também elevada da superfície interna da cobertura, podem acarretar em uma Temperatura Média Radiante da ordem de 37 a 38°C facilmente, comprometendo a aceitabilidade térmica do ambiente. Além da Temperatura Média Radiante, a Assimetria de Radiação Térmica também poderia chegar a valores fora dos limites recomendados por norma.

4. CONCLUSÕES

O modelo computacional desenvolvido apresentou resultados que permitiram as seguintes conclusões:

- O uso de película refletora melhora o desempenho térmico das coberturas, e quando aplicada em uma face de espaço de ar, equivale a 2cm de isolamento com poliestireno expandido (condutividade térmica = 0.035 W/mK)
- Quando no uso de isolamento térmico, preferencialmente deve-se dispor o isolamento na face superior de uma laje de concreto, isolando-se a laje que atua como acumulador de calor.
- A opção por cores claras de telhas, apresenta-se como uma solução de baixo custo, porém é importante que haja uma manutenção e limpeza periódica nas telhas, para evitar acúmulo de pó e resíduos que possam vir a enegrecer as telhas.

5. BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1998). *Desempenho térmico de edificações – Projeto de Norma 02:135.07-002*, ABNT.

FANGER, P.O. (1970) *Thermal Comfort: analysis and application in environmental engineering*. New York: McGraw Hill.

KREITH,F. BLACK. W. Z.(1980) *Basic Heat Transfer*. New York: Harper & Row Publishers.

SIMIONI, W.I. (2002) *Software CTCI*, Itajaí.